

MONOGRAFIA NAUKOWA POD REDAKCJĄ  
**ARTURA DYCZKO**



CZAD-JSW 4.0

CHARGE	55%
RECHARGE	120 MIN
POWER EFFICIENCY	130%
STRUCTURAL INTEGRITY	65%
TEMPERATURE	1500 C
COEFFICIENT	8-4%
SYSTEM STABILITY	42%

ENERGY REACHES

100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%

Automatyzacja i monitorowanie  
procesu produkcyjnego w kopalniach podziemnych  
– polskie doświadczenia we wdrażaniu  
paradygmatu **PRZEMYSŁU 4.0**

ISBN 978-83-65593-30-6



<https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2023.4>

**Monografia naukowa pod redakcją**

**Artura DYCZKO**

**Automatyzacja i monitorowanie  
procesu produkcyjnego w kopalniach podziemnych  
- polskie doświadczenia we wdrażaniu  
paradygmatu PRZEMYSŁU 4.0**



*Monografia opublikowana na licencji [Creative Commons Uznanie autorstwa -  
- Użycie niekomercyjne 4.0 Międzynarodowe](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)*



## **Redaktor naukowy:**

Artur Dyczko – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

## **Autorzy rozdziałów:**

*Rozdz. 1÷4, 13, 14*

Artur Dyczko – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN

*Rozdz. 5÷8*

Kazimierz Miśkiewicz – Politechnika Śląska

Antoni Wojaczek – Politechnika Śląska

*Rozdz. 9*

Sławomir Bartoszek – ITG KOMAG

Jerzy Jagoda – ITG KOMAG

Dariusz Jasiulek – ITG KOMAG

Jerzy Jura – ITG KOMAG

Joanna Rogala-Rojek – ITG KOMAG

*Rozdz. 10*

Artur Dylong – Politechnika Śląska

Kazimierz Miśkiewicz – Politechnika Śląska

*Rozdz. 11*

Artur Dylong – Politechnika Śląska

*Rozdz. 12*

Adam Lurka – GIG - Państwowy Instytut Badawczy

Grzegorz Mutke – GIG - Państwowy Instytut Badawczy

Zbigniew Szreder – JSW S.A.

## **Recenzenci:**

dr hab. inż. Krzysztof Kotwica, prof. AGH – AGH w Krakowie
------------------------------------------------------------

dr hab. inż. Artur Krawczyk, prof. AGH – AGH w Krakowie
---------------------------------------------------------



## **Redakcja techniczna, skład i korekta językowa:**

Marzena Pabian-Macina

Bogna Kolasińska

## **Projekt okładki:**

NAVIGATOR OLANA PIOTR TURKOT

*Copyright by Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2023*

## **Wydawca:**

**Instytut Techniki Górniczej KOMAG, ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice**



**Ministerstwo  
Edukacji i Nauki**

---



**Doskonała  
Nauka**

*Projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa,  
przyznanych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki w ramach Programu „Doskonała nauka II”*

**ISBN 978-83-65593-30-6**







## *Spis treści*

<b>1. WPROWADZENIE</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ZARZĄDZANIE OBSZAREM INFORMATYKI I AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ, JEGO ROLA, ZNACZENIE I NADZÓR W REALIZACJI IDEI INTELIGENTNEJ KOPALNI JSW 4.0</b> .....	<b>13</b>
2.1. Historia rozwoju informatyki i automatyki przemysłowej w GK JSW .....	16
2.2. Model zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w GK JSW .....	21
2.3. Struktura zarządcza Programu wdrożenia Strategii IT/OT .....	26
2.3.1. Zmiany organizacyjne w JSW S.A.....	27
2.3.2. Aktualizacja modelu zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w GK JSW .....	29
2.4. Ocena dojrzałości procesów IT/OT w GK JSW S.A. ....	32
2.5. Ocena transformacji procesów IT/OT w GK JSW S.A. - podsumowanie działań .....	37
2.5.1. Zadania zrealizowane i przewidziane do realizacji .....	37
2.5.2. Transformacja obszaru IT/OT - Program Jakość .....	38
2.5.3. Transformacja obszaru IT/OT - Program Efektywność.....	39
2.5.4. Ocena transformacji procesów IT/OT w Strategii 2019÷2024.....	40
2.5.5. Ocena realizacji projektów strategicznych o Priorytecie Krytycznym .....	40
2.5.6. Ocena realizacji projektów strategicznych w GK JSW o Priorytecie Ważny .....	41
2.5.7. Ocena działań w zakresie automatyzacji .....	42
2.5.8. Ocena działań w zakresie zarządzania jakością.....	43
2.6. Podsumowanie kierunków strategicznych zarządzania obszarem informatyki i automatyki przemysłowej w GK JSW .....	44
<b>3. CENTRUM ZAAWANSOWANEJ ANALITYKI DANYCH (CZAD JSW 4.0) - KONCEPCJA ORGANIZACYJNO-TECHNICZNA, ROLA I ZNACZENIE W REALIZACJI IDEI INTELIGENTNEJ KOPALNI JSW 4.0</b> .....	<b>47</b>
3.1. Systemy przetwarzania danych - ich rola i znaczenie w realizacji idei Inteligentnej Kopalni JSW 4.0 .....	53
3.2. Architektura systemów przetwarzania danych w górnictwie .....	55
3.3. Centralny Serwer Danych Technologicznych JSW S.A. komponentem platformy umożliwiającej przetwarzanie ogromnych zbiorów informacji w czasie rzeczywistym.....	61
3.4. Zastosowanie inteligentnych technik przetwarzania danych w górnictwie ..	78



<b>3.5. Adaptacja kluczowych miar efektywności strategii Total Productive Maintenance (TPM) kluczem raportowania Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0.....</b>	<b>82</b>
3.5.1. Analiza istotnych uwarunkowań i funkcjonalności bieżących systemów informacyjnych w górnictwie.....	83
3.5.2. Możliwości adaptacji kluczowych miar efektywności strategii TPM .....	86
3.5.3. Podstawowe statystyki charakteryzujące przebieg procesu eksploatacji.....	89
3.5.4. Mechanizmy analizy miar efektywności wykorzystania kompleksów ścianowych .....	94
<b>3.6. Dynamiczny szacunek kosztów cyklu życia podstawowych środków produkcji, maszyn i urządzeń górniczych środkiem do zarządzania produkcją w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0.....</b>	<b>99</b>
3.6.1. Analiza kosztów cyklu życia środków produkcji jako systemowe narzędzie wsparcia procesu podejmowania decyzji w górnictwie .....	99
3.6.2. Cykl życia kompleksu ścianowego .....	102
3.6.3. Dynamiczny model kosztów cyklu życia kompleksu ścianowego .....	105
3.6.4. Kalkulacja kosztów cyklu życia pracy analizowanego kompleksu ścianowego.....	107
3.6.5. Karta miar efektywności jako narzędzie oceny efektywności i środek do optymalizacji działalności górniczej.....	111
<b>4. SYSTEM ZARZĄDZANIA CIĄGIEM PRODUKCYJNYM JSW S.A. W ASPEKTCIE STABILIZACJI I POPRAWY JAKOŚCI UROBKU ORAZ MAKSYMALIZACJI EFEKTÓW EKONOMICZNYCH OPARTY NA POPYCIE I JAKOŚCI EKSPLOATOWANEGO SUROWCA - JEGO ROLA I ZNACZENIE W REALIZACJI IDEI INTELIGENTNEJ KOPALNI JSW 4.0 .....</b>	<b>135</b>
<b>4.1. Strategia i Polityka zarządzania ciągiem produkcyjnym grupy węglowo-koksowej pod kątem badania jakości eksploatowanego złoża i produkowanego koksu.....</b>	<b>136</b>
<b>4.2. System do modelowania złoża oraz harmonogramowania produkcji w Grupie Kapitałowej JSW fundamentem heurystycznej architektury „PROGRAM JAKOŚĆ” .....</b>	<b>138</b>
<b>4.3. Architektura techniczna systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym grupy JSW S.A. w świetle doświadczeń światowych rozwoju informatyzacji sektora wydobywczego .....</b>	<b>141</b>
4.3.1. Opis architektury technicznej systemu zbudowanego w JSW S.A.....	142
4.3.2. Ustawienia instalacyjne i konfiguracyjne systemu MineScape i Deswik .....	145
<b>4.4. Integracja systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym JSW S.A. z systemami biznesowymi Grupy .....</b>	<b>147</b>
4.4.1. Integracja systemu MineScape z infrastrukturą informatyczną Grupy JSW .....	147
4.4.2. Integracja systemu Deswik z infrastrukturą informatyczną Grupy JSW .....	149
<b>4.5. Stan obecny i docelowy systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym, opartego na popycie i jakości realizowanego procesu produkcyjnego .....</b>	<b>150</b>

<b>4.6. Budowa architektury systemu zarządzania produkcją Grupy Kapitałowej JSW opartego na popycie i jakości przy wykorzystaniu paradygmatu architektury zorientowanej na usługi (SOA) .....</b>	<b>153</b>
<b>4.7. Obszar zarządzania jakością – założenia funkcjonalne .....</b>	<b>155</b>
4.7.1. System LIMS - Laboratory Information Management System .....	155
4.7.2. Centralny Rejestr Zleceń Jakościowych .....	156
4.7.3. Integrator obszaru Danych Jakościowych .....	156
4.7.4. Centralne Repozytorium Danych Jakościowych .....	157
<b>4.8. Zakres wymaganych integracji Sytemu zarządzania ciągiem produkcyjnym opartego na popycie i jakości procesu produkcyjnego.....</b>	<b>158</b>
<b>4.9. Wdrożenia poszczególnych komponentów Sytemu zarządzania ciągiem produkcyjnym opartego na popycie i jakości procesu produkcyjnego.....</b>	<b>161</b>
<b>4.10. Wykorzystanie sparametryzowanych interpolatorów w modelowaniu geometrii złóż węgla i rozkładu parametrów jakościowych realizowane w systemie JSW S.A. ....</b>	<b>164</b>
4.10.1. Określenie jakości złóż węgla projektowanego do eksploatacji na bazie cyfrowego modelu złoża węgla kamiennego.....	168
4.10.2. Zastosowanie modelu jakości kopaliny do planowania długo i krótkookresowego, w celu określenia jakości urobku .....	171
<b>4.11. Efekty wdrożenia systemu do modelowania parametrów jakościowych węgla i planowanie eksploatacji pod kątem jakości produktu w JSW S.A.....</b>	<b>174</b>
<b>5. TELEKOMUNIKACJA MOBILNA W PODZIEMNYCH KOPALNIACH WĘGLA.....</b>	<b>178</b>
<b>5.1. Uwagi ogólne .....</b>	<b>178</b>
<b>5.2. Budowa i właściwości przewodu promieniującego .....</b>	<b>182</b>
<b>5.3. Przykłady przewodów promieniujących.....</b>	<b>184</b>
<b>5.4. Organizacja kanałów radiowych i stosowane pasma częstotliwości .....</b>	<b>184</b>
5.4.1. Częstotliwości stosowane w systemach z przewodem promieniującym .....	185
5.4.2. Usługi głosowe w systemach radiotelefonicznych.....	187
<b>5.5. Systemy analogowe.....</b>	<b>187</b>
<b>5.6. Systemy cyfrowe.....</b>	<b>190</b>
<b>5.7. Rozległa sieć przewodów promieniujących.....</b>	<b>194</b>
5.7.1. Wzmacniaki.....	196
5.7.2. Rozgałęźniki.....	197
5.7.3. Terminatory .....	198
5.7.4. Sprzęgacze mocy .....	198

5.7.5.	Zasilanie wzmacniaków .....	199
5.7.6.	Stacja bazowa dla systemów analogowych .....	201
5.7.7.	Regulacja wzmocnienia wzmacniaków .....	204
<b>5.8.</b>	<b>Konwencjonalne systemy radiokomunikacyjne z przewodem promieniującym w górnictwie .....</b>	<b>206</b>
<b>5.9.</b>	<b>Cyfrowe systemy radiokomunikacji z przewodem promieniującym w górnictwie .....</b>	<b>206</b>
<b>5.10.</b>	<b>Systemy łączności radiowej z kablem promieniującym w JSW S.A.....</b>	<b>211</b>
<b>6.</b>	<b>ŚWIATŁOWODOWE SIECI TELEKOMUNIKACYJNE W PODZIEMNYCH KOPALNIACH WĘGLA.....</b>	<b>214</b>
<b>6.1.</b>	<b>Oznaczenia.....</b>	<b>214</b>
<b>6.2.</b>	<b>Wstęp .....</b>	<b>215</b>
<b>6.3.</b>	<b>Budowa przeciwwybuchowa urządzeń stosowanych w sieciach światłowodowych kopalń metanowych .....</b>	<b>216</b>
<b>6.4.</b>	<b>Kable światłowodowe dla kopalnianych sieci telekomunikacyjnych .....</b>	<b>219</b>
<b>6.5.</b>	<b>Wykorzystanie włókna światłowodowego .....</b>	<b>223</b>
<b>6.6.</b>	<b>Budowa urządzeń sieci światłowodowej w kopalniach metanowych .....</b>	<b>224</b>
6.6.1.	Urządzenia kategorii M1 .....	225
6.6.2.	Urządzenia kategorii M2.....	226
6.6.3.	Urządzenia teletransmisyjne instalowane w strefie bezpiecznej.....	228
<b>6.7.</b>	<b>Przykłady urządzeń teletransmisyjnych dla kopalń metanowych .....</b>	<b>229</b>
6.7.1.	Elementy urządzeń teletransmisyjnych .....	229
6.7.2.	Urządzenia teletransmisyjne iskrobezpieczne kategorii M1 .....	233
6.7.3.	Urządzenia w osłonie ognioszczelnej.....	237
6.7.4.	Urządzenia do zabudowy w pomieszczeniach bezpiecznych.....	237
6.7.5.	Górnnicze przełącznice światłowodowe .....	240
6.7.6.	Kamery stosowane w sieciach światłowodowych kopalń metanowych.....	241
6.7.7.	Komputery i monitory w przestrzeniach zagrożonych wybuchem .....	243
<b>6.8.</b>	<b>Systemy monitoringu wizyjnego w JSW S.A. ....</b>	<b>246</b>
<b>6.9.</b>	<b>Struktura logiczna sieci światłowodowych w kopalniach metanowych.....</b>	<b>248</b>
<b>6.10.</b>	<b>Struktura kablowa sieci światłowodowej w kopalniach podziemnych .....</b>	<b>251</b>
<b>7.</b>	<b>SYSTEMY LOKALIZACJI OSÓB I URZĄDZEŃ.....</b>	<b>255</b>
<b>7.1.</b>	<b>Wstęp .....</b>	<b>255</b>



<b>7.2. Systemy identyfikacji RFID .....</b>	<b>257</b>
<b>7.3. Możliwości wykorzystania systemów RFID w górnictwie.....</b>	<b>261</b>
7.3.1. Rejestracja czasu pracy i zjazdu na dół .....	261
7.3.2. Lokalizacja strefowa.....	264
7.3.3. Lokalizacja dokładna - systemy RTLS.....	265
7.3.4. Lokalizacja dokładna TDOA - pomiar różnicy czasów .....	268
7.3.5. Lokalizacja dokładna RSS - pomiar poziomu sygnału radiowego.....	268
<b>7.4. Realizacja lokalizacji strefowej w kopalniach .....</b>	<b>269</b>
7.4.1. Typowe miejsca instalacji bramek.....	269
7.4.2. Lampownia, nadszybia i podszybia .....	269
7.4.3. Przędki eksploatacyjne.....	270
<b>7.5. System lokalizacji strefowej ARGUS .....</b>	<b>270</b>
<b>7.6. Przykłady systemów lokalizacji dokładnej RTLS dla górnictwa.....</b>	<b>278</b>
7.6.1. System ATUT-Location .....	279
7.6.2. System PORTAS .....	281
7.6.3. System EMLOK-16 .....	285
7.6.4. System ISI .....	288
7.6.5. Wnioski z badań systemów RTLS w kopalniach JSW S.A.....	290
<b>7.7. Lokacja.....</b>	<b>291</b>
<b>7.8. Inne sposoby wykorzystania systemów identyfikacji i ewidencji w kopalniach .....</b>	<b>295</b>
7.8.1. System identyfikacji i ewidencji elementów maszyn górniczych.....	295
7.8.2. iRIS - System identyfikacji maszyn, urządzeń, środków trwałych oraz transportu .....	299
<b>8. MONITOROWANIE PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH .....</b>	<b>301</b>
<b>8.1. Wstęp .....</b>	<b>301</b>
<b>8.2. Elektryczne/elektroniczne systemy monitorowania .....</b>	<b>304</b>
<b>8.3. Minikomputerowe systemy monitorowania procesów technologicznych ..</b>	<b>307</b>
<b>8.4. Monitorowanie procesów technologicznych z wykorzystaniem komputerów PC .....</b>	<b>308</b>
8.4.1. System monitorowania ZEFIR.....	309
8.4.2. Systemy SW $\mu$ P i SP3 firmy HASO .....	310
8.4.3. Systemy monitorowania firmy SOMAR .....	313
8.4.4. System wizualizacji THOR .....	319
8.4.5. System wizualizacji SAURON.....	322
8.4.6. System wizualizacji ATVISIO2 firmy ATUT .....	323
8.4.7. Systemy wizualizacji Elgór+Hansen .....	325
8.4.8. Systemy wizualizacji FAMUR.....	329
8.4.9. System wizualizacji MonSteer-D.....	331
8.4.10. System wizualizacji Hades.....	333

<b>8.5. Infrastruktura IT/OT w JSW S.A.....</b>	<b>335</b>
8.5.1. Standardy architektury .....	335
8.5.2. Architektura infrastruktury OT – protokoły .....	338
8.5.3. Wymagania formalne dotyczące sieci IT/OT.....	340
<b>8.6. Standaryzacja infrastruktury IT .....</b>	<b>341</b>
8.6.1. Standaryzacja i dostępność infrastruktury serwerowej .....	341
8.6.2. Standaryzacja infrastruktury i interfejsów fizycznych .....	342
8.6.3. Separacja i filtrowanie dostępu do sieci wydzielonych .....	342
8.6.4. Struktura sieci IT/OT JSW .....	343
8.6.5. Definiowanie parametrów maszyn i urządzeń podlegających monitorowaniu .....	345
<b>9. MONITOROWANIE PODPORNOCI I GEOMETRII OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ.....</b>	<b>347</b>
9.1. Uzasadnienie monitorowania podporności .....	347
9.2. Cykl pracy obudowy zmechanizowanej.....	349
9.3. Monitorowanie podporności stojaków obudowy w ścianach.....	352
9.4. Proces wdrożenia monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej w JSW S.A.....	357
9.5. Zintegrowany sposób raportowania podporności obudowy zmechanizowanej...	359
9.6. Efekty wykorzystania systemów monitoringu obudowy zmechanizowanej w JSW S.A.....	362
9.7. Monitorowanie geometrii obudowy zmechanizowanej.....	364
9.8. Testy i badania ruchowe systemu SSMS.....	365
9.9. Podsumowanie.....	370
<b>10. SYSTEMY GAZOMETRYCZNE.....</b>	<b>371</b>
10.1. Wstęp .....	371
10.2. Budowa systemu gazometrycznego.....	373
10.3. Dołowe urządzenia pomiarowe.....	374
10.4. Metody pomiaru stężenia gazów .....	375
10.4.1. Metoda katalitycznego spalania .....	376
10.4.2. Metoda termokonduktometryczna .....	377
10.4.3. Metoda absorpcji promieniowania podczerwonego .....	378
10.4.4. Metoda elektrochemiczna .....	380
10.4.5. Porównanie metod pomiaru stężenia gazów .....	381

<b>10.5. Metody pomiaru prędkości powietrza .....</b>	<b>381</b>
10.5.1. Termooanemometry .....	382
10.5.2. Anemometry ultradźwiękowe .....	383
<b>10.6. Stacjonarne mierniki gazometryczne .....</b>	<b>384</b>
10.6.1. Metanomierze .....	385
10.6.2. Inne mierniki gazometryczne .....	388
<b>10.7. Stacje dołowe .....</b>	<b>392</b>
<b>10.8. Systemy gazometryczne .....</b>	<b>393</b>
10.8.1. System SMP-NT w KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice .....	394
10.8.2. System CST-40 w KWK Borynia-Zofiówka Ruch Borynia .....	396
10.8.3. Podsumowanie .....	398
<b>10.9. Możliwości rozwoju systemów gazometrycznych .....</b>	<b>399</b>
<b>11. MONITOROWANIE SIECI ODMETANOWANIA - SKUTECZNE WDROŻENIE NA PRZYKŁADZIE JSW S.A.....</b>	<b>402</b>
11.1. Wprowadzenie .....	402
11.2. Odmetanowanie .....	402
11.3. Wykorzystanie metanu w JSW S.A.....	403
11.4. Modernizacja systemu odmetanowania w JSW S.A. ....	405
11.4.1. Zasady rozliczania gazu między JSW i SEJ .....	405
11.4.2. Urządzenia i punkty pomiarowe .....	407
11.4.3. Monitoring sieci odmetanowania .....	413
11.5. Przeniesienie monitoringu sieci odmetanowania do systemu HADES .....	416
11.6. Monitoring części dołowej sieci odmetanowania.....	417
11.7. Podsumowanie.....	421
<b>12. MONITORING ZJAWISK SEJSMICZNYCH.....</b>	<b>422</b>
12.1. Wprowadzenie .....	422
12.2. Aparatura sejsmiczna używana w polskim górnictwie - Stacja Geofizyki Górnictwej.....	423
12.3. Systemy sejsmologiczne eksploatowane w polskich kopalniach .....	427
12.4. Systemy sejsmoakustyczne .....	430
12.5. System SOS .....	431



<b>12.6. Dynamika rejestracji zjawisk sejsmicznych .....</b>	<b>435</b>
<b>12.7. Interpretacja danych systemie SOS .....</b>	<b>436</b>
12.7.1. Obróbka i analiza danych w programie Seisgram.....	436
12.7.2. Analiza danych w programie Multilok.....	437
<b>12.8. Parametry źródła sejsmicznego .....</b>	<b>438</b>
<b>12.9. Podsumowanie.....</b>	<b>440</b>
<b>13. CYBERBEZPIECZEŃSTWO SYSTEMÓW IT/OT W KLUCZOWYCH OBSZARACH FUNKCJONALNYCH ZAKŁADU GÓRNICZEGO DZIAŁAJĄCEGO W OPARCIU O IDEĘ PRZEMYSŁU 4.0 .....</b>	<b>441</b>
<b>13.1. System cyberbezpieczeństwa IT/OT w kluczowych obszarach funkcjonalnych GK JSW środkiem do zapewnienia ciągłości funkcjonowania przedsiębiorstwa .....</b>	<b>443</b>
<b>13.2. Zapewnienie ciągłości funkcjonowania przedsiębiorstwa.....</b>	<b>449</b>
<b>13.3. Reagowanie na incydenty .....</b>	<b>454</b>
<b>13.4. Centrum Wymiany i Analizy w zakresie Cyberbezpieczeństwa (Information Sharing and Analysis Centre ISAC) w sektorze wydobywczo-energetycznym ....</b>	<b>456</b>
<b>13.5. Silesian CyberSecurity Hub - nowy sposób na budowanie świadomości cyfrowej oraz rozwój kompetencji w zakresie cyberbezpieczeństwa .....</b>	<b>462</b>
<b>14. PODSUMOWANIE .....</b>	<b>470</b>
<b>15. LITERATURA.....</b>	<b>478</b>
<b>STRESZCZENIE .....</b>	<b>495</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>497</b>

# 1. Wprowadzenie

*Artur Dyczko*

Jastrzębska Spółka Węglowa (JSW) S.A. jest największym europejskim producentem węgla koksowego, wpisanego przez UE na listę surowców krytycznych, niezbędnego do wytopu stali, a tym samym do produkcji materiału kluczowego dla większości gałęzi europejskiego przemysłu. Tym samym, JSW S.A. jest producentem surowca pośrednio warunkującego wzrost gospodarczy i w konsekwencji tworzenie miejsc pracy. Jednocześnie jest grupą kapitałową przechodzącą transformację, w kierunku gospodarki niskoemisyjnej, angażującą się w projekty badawcze, których celem jest oferowanie innowacyjnych produktów technologii przyszłości.

5 maja 2021 r. Komisja Europejska określiła podstawy unijnej strategii przemysłowej. Strategia miała umożliwić przeprowadzenie dwojakiej transformacji – ekologicznej i cyfrowej, uczynić przemysł UE bardziej konkurencyjnym w skali globalnej i zwiększyć otwartą autonomię strategiczną Europy. Dzień po ogłoszeniu nowej strategii przemysłowej Światowa Organizacja Zdrowia ogłosiła wybuch pandemii COVID-19 [Dyczko, 2023].

Kryzys związany z COVID-19 odcisnął silne piętno na gospodarce UE. W zależności od ekosystemu i wielkości przedsiębiorstwa jego skutki były zróżnicowane. Kryzys unaoczniał współzależność globalnych łańcuchów wartości i udowodnił, że globalnie zintegrowany i dobrze funkcjonujący jednolity rynek odgrywa kluczową rolę. Spośród sektorów konsumujących stal, sektor samochodowy najbardziej ucierpiał z powodu pandemii Covid-19. Liczba zarejestrowanych nowych samochodów w UE spadła w rekordowym tempie – w 2020 r. o blisko 24%. Jest to największy spadek liczby zarejestrowanych nowych samochodów od początku prowadzenia takiej statystyki.

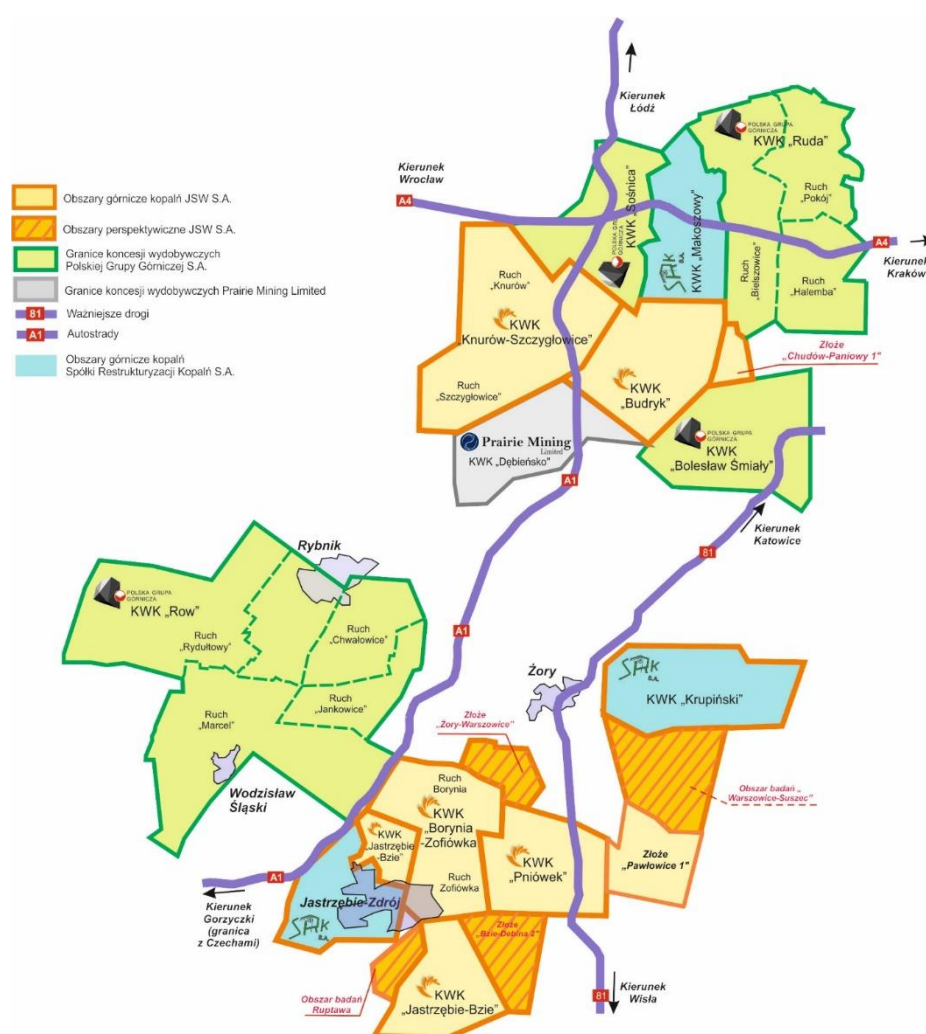
Głównym celem Nowej Strategii Przemysłowej UE pozostaje wspieranie wzrostu gospodarczego i dobrobytu w Europie. Przemysł europejski zapewnia 35 milionów miejsc pracy i odpowiada za 20% całkowitej wartości dodanej UE. Dlatego tak ważne jest utrzymanie jego konkurencyjności globalnie, czego nie uda się osiągnąć bez dostępu do surowców krytycznych z punktu widzenia rozwoju cywilizacyjnego, często zwanych również strategicznymi.

Lista Surowców Krytycznych ogłaszana jest cyklicznie co trzy lata przez UE, aktualnie obowiązujące zestawienie Komisja Europejska opublikowała 3 września 2020 roku i znajduje się na niej 30 pozycji. Pierwsza opublikowana w 2011 r. lista zawierała 14 surowców, podczas następnej oceny w 2014 r. – było już ich 20. Po przeglądzie w 2017 r. lista została rozszerzona do 27 surowców.

Największymi producentami węgla koksowego na świecie są Chiny, Australia, USA, Rosja i Indie, gdzie koncentruje się około 90% światowego wydobycia. Unia Europejska sprowadza obecnie ok. 75% zużywanego przez siebie węgla koksowego z tak odległych krajów, jak Australia, Stany Zjednoczone, Kanada, Mozambik czy Rosja. Polska (Jastrzębska Spółka Węglowa), jest aktualnie jedynym w UE producentem tego krytycznego dla Europy surowca. Aktualna produkcja węgla koksowego w Unii Europejskiej w 75% pochodzi z kopalń należących do JSW [Ozon, 2019; Dyczko, 2023].

Jastrzębska Spółka Węglowa została utworzona 1 kwietnia 1993 roku skupiając siedem podziemnych zakładów górniczych: Borynia, Jastrzębie, Krupiński, Morcinek, Moszczenica, Pniówek, Zofiówka. Szereg zmian i przekształceń organizacyjnych, których celem była optymalizacja kosztów funkcjonowania oraz podniesienie ogólnej sprawności zarządzania przedsiębiorstwem, doprowadził w ostatnim czasie do efektywnego działania czterech kopalń węgla kamiennego. Od 1 stycznia 2023 r., kiedy to nastąpiło przyporządkowanie do KWK „Borynia-Zofiówka” kopalni „Jastrzębie-Bzie” jako „Ruch Bzie” i powstanie nowej trójruchowej kopalni o nazwie „Borynia-Zofiówka-Bzie”, w strukturach JSW S.A. funkcjonują cztery podziemne zakłady górnicze:

- KWK „Borynia-Zofiówka-Bzie” w Jastrzębiu-Zdroju,
- KWK „Budryk” w Ormontowicach,
- KWK „Knurów-Szczygłowice” w Knurowie,
- KWK „Pniówek” w Pawłowicach.



Rys. 1.1. Schemat poglądowy rozlokowania obszarów górniczych kopalń JSW S.A.

Działalność wydobywcza JSW S.A. pod względem administracyjnym koncentruje się w południowej części województwa śląskiego, na terenie i w sąsiedztwie następujących miast oraz miejscowości: Jastrzębie-Zdrój, Żory, Knurów, Mikołów, Gliwice, Świerklany,

Pawłowice, Mszana, Ornontowice, Gierałtowiec oraz Czerwionka-Leszczyny obejmując ogółem obszar o powierzchni 197,21 km<sup>2</sup>. Spółka prowadzi wydobywanie w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Na rysunku 1.1 przedstawiono schemat rozlokowania obszarów górniczych kopalń JSW S.A., a także Polskiej Grupy Górniczej (PGG S.A.) i kopalń likwidowanych (przeniesionych do Spółki Restrukturyzacji Kopalń – SRK S.A.) [Ozon, 2019].

Powierzchnię południowo-zachodniej części GZW o historycznej nazwie Rybnicki Okręg Węglowy (ROW) szacuje się na około 1 300 km<sup>2</sup>. ROW posiada dobrze rozwiniętą infrastrukturę sieci drogowych oraz kolejowych. Do największych miast okręgu należą: Rybnik, Jastrzębie-Zdrój, Żory, Racibórz oraz Wodzisław Śląski.

Aktualnie w Grupie Kapitałowej JSW S.A. (GK JSW S.A.), zatrudnionych jest ponad 30 tysięcy pracowników z czego ponad 20 tysięcy to pracownicy jastrzębskich kopalń, w tym około 19,4% to pracownicy pracujący na powierzchni. Załoga posiada bardzo duże doświadczenie. W miejsce odchodzących na emerytury górnicze pracowników z największym stażem pracy zatrudniani są pracownicy posiadający kwalifikacje górnicze lub staż pracy w górnictwie oraz absolwenci szkół i uczelni kształcących w zawodach górniczych.

JSW S.A. posiada obecnie udziały i akcje w 17 spółkach prawa handlowego, w tym w 10 spółkach z ograniczoną odpowiedzialnością i siedmiu spółkach akcyjnych. W 11 spółkach JSW S.A. posiada pakiet dominujący, w tym w czterech spółkach posiada 100% kapitału zakładowego, a w siedmiu spółkach posiada ponad 50% udziału w kapitale zakładowym. Obecnie w skład Grupy Kapitałowej JSW S.A. wchodzi:

- JSW KOKS S.A.
- Jastrzębskie Zakłady Remontowe Sp. z o.o.
- Przedsiębiorstwo Budowy Szybów S.A.
- Przedsiębiorstwo Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A.
- JSW Szkolenie i Górnictwo Sp. z o.o.
- JSW IT SYSTEMS Sp. z o.o.
- Jastrzębska Spółka Kolejowa Sp. z o.o.
- JSW Logistics Sp. z o.o.
- Centralne Laboratorium Pomiarowo - Badawcze Sp. z o.o.
- JSW Nowe Projekty S.A.
- JSU Sp. z o.o.
- JSW Ochrona Sp. z o.o.
- JSW Zwałowanie i Rekultywacja Sp. z o.o.
- Dźwigi Sp. z o.o.
- ZREM-BUD Sp. z o.o.
- Carbotrans Sp. z o.o.
- BTS Sp. z o.o.

JSW S.A. zajmuje się wydobywaniem węgla kamiennego, produkcją koksu i zagospodarowaniem produktów węglowych. W ramach swojej działalności stara się ona w sposób racjonalny i zrównoważony wykorzystywać zasoby surowcowe, przy jednoczesnym uwzględnianiu wymogów, tak ochrony środowiska, jak i ochrony lokalnych i ponadlokalnych interesów społecznych. Od ponad półwiecza intensywnie eksploatuje najbogatsze w Europie złoża węgla koksującego.

W wyniku podjętych w latach 2015÷2019 działań, uzyskano nowe koncesje na złoża: Jas-Mos 1, Szczygłowice, Pniówek oraz uzyskano przedłużenie terminu obowiązywania istniejących koncesji na złoża: Budryk i Knurów. Pozwoliło to zabezpieczyć Spółkę pod względem prawnym w zakresie możliwości wydobywania węgla kamiennego do roku 2050. Aktualnie JSW S.A. posiada 11 koncesji wydobywczych, w tym najnowsze udzielone w 2019 r. koncesje wydobywcze dla złoża dotychczas nieeksploatowanego Bzie-Dębina 1-Zachód oraz trzy koncesje badawcze – tabela 1.1 [Ozon, 2019].

### Koncesje wydobywcze JSW S.A.

Tabela 1.1.

ZŁOŻA OBJĘTE KONCESJĄ (koncesje na wydobywanie węgla kamiennego i metanu jako kopaliny towarzyszącej)		NR KONCESJI	DATA UDZIELENIA KONCESJI	DATA WYGAŚNIĘCIA KONCESJI
<b>KWK BORYNIA- ZOFIÓWKA</b>	Złoże „Borynia” Obszar górniczy „Szeroka I”	7/2009	27.10.2009	31.12.2025
	Złoże „Zofiówka” Obszar górniczy „Jastrzębie Górne I”	5/2010	14.05.2010	31.12.2042
<b>KWK JASTRZĘBIE - BZIE</b>	Złoże „Bzie-Dębina 2 - Zachód” Obszar górniczy „Bzie - Dębina 2-Zachód”	15/2008	01.12.2008	31.12.2042
	Złoże „Bzie-Dębina 1 - Zachód” Obszar górniczy „Bzie - Dębina 1-Zachód”	2/2019	23.05.2019	31.12.2051
	Złoże „Jas-Mos 1” Obszar górniczy „Jastrzębie III”	1/2019	05.02.2019	31.12.2025
<b>KWK BUDRYK</b>	Złoże „Budryk” Obszar górniczy „Ornontowice I”	13/94	21.03.1994	31.12.2043
	Złoże „Chudów-Paniowy 1” Obszar górniczy „Ornontowice II”	3/2005	18.04.2005	31.12.2044
<b>KWK KNURÓW- SZCZYGLÓWICE</b>	Złoże „Szczygłowice” Obszar górniczy „Szczygłowice”	4/2019	30.08.2019 obowiązuje od 1.01.2020 r.	31.12.2040
	Złoże „Knurów” Obszar górniczy „Knurów”	60/94	21.04.1994	15.04.2044
<b>KWK PNIÓWEK</b>	Złoże „Pniówek” Obszar górniczy „Krzyżowice III”	5/2019	8.11.2019 obowiązuje od 1.01.2020 r.	31.12.2051
	Złoże „Pawłowice 1” Obszar górniczy „Pawłowice 1”	3/2012	21.06.2012	31.12.2051

Jastrzębska Spółka Węglowa wydobywa węgiel koksowy, głównie ortokoksowy typu 35 („hard”) oraz gazowo-koksowy typu 34 („semi-soft”). Jednakże o strukturze produkcji decyduje nie tylko wydobyty węgiel, ale także wzbogacenie urobku przez zakłady przeróbki mechanicznej węgla. Aktualnie spółka oferuje w sprzedaży nie tylko węgiel koksowy, składnik do produkcji bardzo dobrej jakości koksu metalurgicznego, ale także węgiel do celów energetycznych, węgiel o pewnych właściwościach koksowych, lecz o dużo większej zawartości popiołu (20÷25%) oraz niższej wartości opałowej (około 20÷24 MJ/kg). Raport eksperta ds. złóż opracowany zgodnie z Australijskim Kodeksem wykazywania zasobów (JORC Code),



klasyfikującym zasoby na resources i reserves, określił całkowitą ilość udokumentowanych zasobów węgla kamiennego na:

- bez uwzględniania okresu obowiązywania koncesji wydobywczych kopalń JSW S.A.:
  - zasoby bilansowe 7 038 024 tys. ton
  - zasoby przemysłowe 2 217 835 tys. ton
  - zasoby operatywne (potencjalne wydobywanie) 1 197 063 tys. ton
- ilość ustaloną do okresu obowiązywania koncesji wydobywczych:
  - zasoby bilansowe 7 038 024 tys. ton
  - zasoby przemysłowe 962 946 tys. ton
  - zasoby operatywne 564 630 tys. ton.

Kopalnie JSW S.A. charakteryzują się zmiennymi warunkami geologiczno-górnictwami. Eksploatowane złoża udostępnienie jest za pomocą 41 szybów, a fronty wydobywcze znajdują się na różnych głębokościach zalegania (od 560 do 1 300 m), co przy występowaniu dużej skali zagrożeń naturalnych wymaga stosowania odpowiednich działań profilaktycznych. Miąższość eksploatowanych pokładów jest zróżnicowana i mieści się w przedziale między 1,2 a 12,5 m. Duża liczba uskoków, charakterystyczna dla południowej części Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego, wymusza prowadzenie eksploatacji zgodnie z granicami wytyczanymi przez przebieg zaburzeń naturalnych. Przejawia się to w wielkościach wybiegów prowadzonych ścian, które rzadko przekraczają kilkaset metrów co w konsekwencji prowadzi do częstego ich przezbrajania. Eksploatacja węgla w kopalniach JSW S.A. odbywa się systemem ścianowym z zawalem stropu w kierunku od granic. Węgiel wydobywany jest ze ścian w pełni zmechanizowanych. Urobek ze ścian odstawiany jest za pomocą zbiorczego systemu odstawczego (przenośniki), mieszany jest ze skałą i węglem z chodników prowadzonych w obrębie pokładu węglowego.

Rocznie kopalnie JSW S.A. wydobywają blisko 30 milionów ton węgla brutto i drążą średnio około 70 km wyrobisk chodnikowych (brygadami własnymi) i około 10÷15 km firmami zewnętrznymi (są to głównie wyrobiska inwestycyjne). Mając na uwadze, że węgiel gotowy do sprzedaży w JSW S.A. stanowi około 55÷60% całego wydobycia, to ostatecznie około 15 milionów ton węgla handlowego trafia na rynek. Z tego około 10 milionów ton to węgiel do celów metalurgicznych (koksowy), a 5 milionów to węgiel energetyczny. Średniorocznie eksploatowanych jest od 22 do 26 ścian wydobywczych o wydobyciu średnio od 3,5 do 6 tysięcy ton węgla netto na dobę. To stosunkowo niskie wydobycie ze ścian w kopalniach JSW S.A. powodowane jest przede wszystkim bardzo trudnymi warunkami geologiczno-górnictwami, w których prowadzona jest eksploatacja. Najwięcej problemów sprawia zagrożenie metanowe, które zwalczane jest metodami wentylacyjnymi oraz poprzez rozbudowane systemy odmetanowania składające się z otworów wiertniczych, sieci rurociągów i powierzchniowych stacji odmetanowania.

Odmetanowanie kopalń prowadzone jest przez powierzchniowe i inżektorowe stacje odmetanowania. Ujęcie gazu z różnych źródeł umożliwia stabilizację parametrów mieszaniny metanowo – powietrznej, co skutkuje jej skuteczniejszym zagospodarowaniem. Kopalnie JSW S.A., poza KWK „Budryk” i KWK „Pniówek”, posiadają układy klimatyzacji grupowej.

KWK „Pniówek” posiada system klimatyzacji centralnej pracujący w układzie trójgeneracyjnym bazującym na chłodziarkach absorpcyjnych i energetycznym wykorzystaniu mieszanek pochodzących z odmetanowania.

Ze względu na zagrożenie tapaniami na terenie zakładów funkcjonuje wyspecjalizowana aparatura, w skład której wchodzi sejsmometry oraz sondy sejsmiczne. Zagrożenie metanowe monitorowane jest za pomocą czujników obsługiwanych przez centrale metanometryczne wchodzące w skład systemów typu SMP oraz CST, wspomagane systemem dyspozytora metanometrii SWuP-3. W kopalniach spółki zainstalowane są liczne czujniki do pomiaru tlenu węgla, czujniki dymu, różnicy ciśnień, przepływu powietrza, poziomu wody, temperatury, otwarcia tam i przepływu prądu.

Zakłady górnicze posiadają rozbudowane sieci wentylacyjne, odwadniające, klimatyzacyjne, technologiczne (sprężone powietrze, emulsja, woda technologiczna) oraz bezpieczeństwa przeciwpożarowego. W skład tych sieci wchodzi odpowiednie urządzenia energomechaniczne bądź elektryczne (wentylatory, agregaty chłodzące, pompy, agregaty sprężarkowe, urządzenia zasilające i układy sterowania) oraz instalacje (rurociągi, kable), za pomocą których rozprowadzane są poszczególne media.

Transport poziomy realizowany jest za pomocą rozbudowanych ciągów taśmowej odstawy urobku, sieci kolei górniczych, kolejek spągowych i podwieszanych. Łączna długość podziemnych dróg przewozowych wynosi w poszczególnych kopalniach od 30 do 60 km, całkowita długość odstawy taśmowej urobku wynosi do 40 km. Transport pionowy (ciągnięcie urobku, transport ludzi i materiałów) prowadzony jest przy użyciu górniczych wyciągów szybowych.

Transport urobku z przodków chodnikowych realizowany jest w oparciu o przenośniki zgrzeblowe lekkie, przenośniki taśmowe BOA i SIGMA. Ładowarki chodnikowe stosowane w kopalniach JSW S.A. to w większości urządzenia typu: Niwka B, Eimco-612, EL-160LS, DH-250, WUŁ-2, PSU-7000 oraz PSU-9000.

Kopalnie posiadają rozbudowane systemy łączności i transmisji danych, m.in.: systemy łączności telefonicznej przewodowej ogólnozakładowej typu DGT Millenium i Siemens Hi-Path, iskrobezpieczne systemy łączności dołowej systemu UTI, systemy alarmowania i łączności głośnomówiącej SAT, zintegrowane systemy bezpieczeństwa typu SMP i CST, systemy komunikacji radiowej, systemy łączności dla akcji ratowniczych, telemetryczne systemy bezpieczeństwa, systemy nadzoru technologicznego i telewizji przemysłowej, przewodowe systemy sterowania i sygnalizacji, systemy ewidencji oraz identyfikacji osób i urządzeń. Iskrobezpieczne urządzenia telekomunikacyjne oraz systemy alarmowania posiadają nowoczesne siłownie telekomunikacyjne wspomagane spalinowymi lokalnymi zespołami prądowtórzymi zapewniającymi zasilanie gwarantowane (w przeważającej mierze bezprzerwowe) przez min. 12 godzin. Poszczególne jednostki organizacyjne spółki połączone są za pośrednictwem zintegrowanej sieci teleinformatycznej WAN posiadającej strukturę pierścieniową, zapewniającą wysoką redundancję.

Na terenie zakładów funkcjonują rozbudowane przemysłowe sieci teleinformatyczne oraz systemy transmisji wielokrotnej typu FOD-900. Dyspozytornie wyposażone są w nowoczesne

telefony systemowe, tablice synoptyczne, systemy SCADA, które umożliwiają monitoring parametrów bezpieczeństwa i produkcji oraz wizualizację przebiegu realizowanych procesów technologicznych. Dostępne wyposażenie w znacznym stopniu wspomaga utrzymanie ruchu oraz wpływa na podniesienie bezpieczeństwa pracy załogi.

Magistralne sieci teletransmisyjne zbudowane są w większości z wykorzystaniem symetrycznych telekomunikacyjnych kabli miejscowych (typu TKM) na powierzchni i telekomunikacyjnych kabli górniczych (TKG) na powierzchni i na dole. Regularnie rozbudowywana jest sieć światłowodowa z wykorzystaniem kabli jednomodowych typu YOTKGtsFoy (szybowy) oraz typu YOTKGtsFtlyn (chodnikowy).

Nowoczesne, mikroprocesorowe systemy automatyzacji obejmują większość podstawowych maszyn energomechanicznych i urządzeń rozdzielczych. Połączone z nimi systemy wizualizacji danych wspierają utrzymanie ruchu, umożliwiając zdalną diagnostykę stanu urządzeń oraz kontrolę podstawowych parametrów bezpieczeństwa. System monitoringu wizyjnego jest wyposażony w nowoczesne stacje telewizji przemysłowej oraz kamery IP.

Od 2011 roku w KWK „Pniówek” funkcjonuje system strefowej lokalizacji załogi obejmujący swym zasięgiem całą kopalnię. Obecnie na dwóch poziomach eksploatacyjnych (850 i 1030) czynnych jest około 100 bramek przeznaczonych dla lokalizacji strefowej. W lampach zainstalowanych jest około 5000 identyfikatorów. System rejestruje liczby osób przebywających w poszczególnych strefach. Istniejąca infrastruktura systemu lokalizacji załogi w kopalni została również wykorzystana do uruchomienia systemu logistyki materiałowej (KAJTO). W systemie KAJTO eksploatowanych jest obecnie około 2500 identyfikatorów bateryjnych zamontowanych do wozów i kontenerów transportowych.

W roku 2017 Zarząd JSW S.A. analizując przesłanki do weryfikacji przygotowywanej właśnie Strategii biznesowej Grupy Kapitałowej, dostrzegł grupę uwarunkowań i ograniczeń - ze szczególnym uwzględnieniem bazy zasobowej, mogących wpłynąć na realizację Strategii JSW S.A. w perspektywie do roku 2030. Jak stwierdzono w prowadzonych analizach bardzo dużym ograniczeniem osiągnięcia zakładanych zdolności produkcyjnych do roku 2030 będą pogarszające się warunki geologiczne i górnicze procesu wydobywania w tym:

- średnia głębokość eksploatacji w kopalniach JSW S.A. zwiększy się z 880 m w 2018 do 1035 m w roku 2031, czyli będzie się zwiększała o 11 m rocznie,
- wzrost temperatury pierwotnej górotworu z 40°C w 2018 do 45°C w roku 2031, który będzie konsekwencją wzrostu głębokości,
- zagrożenie metanowe, które w ostatnich latach wyraźnie wzrasta, utrzyma tę tendencję w kolejnych latach działalności Spółki,
- w latach 2010÷2031 średnia długość odstawy, jak i czas dojścia/dojazdu załogi do ściany, zwiększą się o ponad 30%,
- kolejne lata projektowanej eksploatacji pokazują coraz dalszą lokalizację pól ścianowych od szybów, co ma niebagatelny wpływ na koszty eksploatacji w kopalniach Spółki,
- analiza trendu wskaźnika pozwala stwierdzić, że ryzyko eksploatacji wynikające z uciążliwości warunków geologiczno-górniczych będzie wzrastać, a tym samym ograniczać projektowane zdolności wydobywcze ścian,

- analiza struktury produkcji węgla handlowego w okresie żywotności kopalń pokazuje, że stabilne utrzymanie takiej struktury produkcji będzie bardzo trudne.

Powyższe uwarunkowania mogące docelowo wpłynąć na utrzymanie przez JSW S.A. statusu największego producenta wysokiej jakości węgla koksowego typu 35 hard w Europie spowodowały, iż Zarząd Spółki w latach 2017÷2020 postanowił rozwój Spółki oprzeć o dywersyfikację techniczną i technologiczną realizowanego procesu produkcyjnego opartą na wiedzy, innowacjach, projektach badawczych i współpracy z branżowymi liderami. W działaniu tym Zarząd Spółki upatrywał również niepowtarzalną szansę szybkiej przemiany polskiej spółki węglowej z siedzibą w Jastrzębiu Zdroju w Nowoczesny Europejski Koncern Surowcowy z ambicjami 4.0.

To, dlatego kierując się właściwie rozumianą potrzebą rozwoju Spółki, zwłaszcza w obszarze techniczno-operacyjnym, w okresie 2017÷2020 postanowiono zaangażować wszystkie dostępne środki i zasoby dla oceny możliwości zaadaptowania najlepszych, stosowanych w światowym przemyśle wydobywczym technologii, w celu podniesienia efektywności realizowanego procesu produkcyjnego oraz wzrost udziału węgla koksowego w strukturze produkcji JSW S.A. W tym celu powołano do życia Program JSW 4.0, który zakładał opracowanie, przetestowanie i wdrożenie w jastrzębskich kopalniach najnowszych technik i technologii [Ozon, 2019].

Formułą współpracy JSW S.A. i dostawców wymienionej technologii był dialog technologiczny, którego celem było zidentyfikowanie najlepszych rozwiązań w ujęciu systemowym w zakresie monitoringu procesu produkcyjnego i bezpieczeństwa załóg górniczych, w tym: łączności, lokalizacji pracowników w strefach szczególnego zagrożenia oraz wykorzystania metod zaawansowanej analityki danych.

Pierwszym krokiem do umożliwienia dialogu technologicznego było zorganizowanie przez JSW S.A. międzynarodowej konferencji o nazwie International Mining Forum 2017, na którą zaproszono przedstawicieli wiodących dostawców nowoczesnych systemów technologicznych dla górnictwa, krajowych i międzynarodowych instytutów badawczych oraz wiodących spółek surowcowych w Polsce. Działania te składały się na przyjętą przez Zarząd JSW S.A. w grudniu 2017 Strategię JSW S.A. w obszarze B+R+I, i korespondowały ściśle z opracowaną i przyjętą w 2018 roku przez Radę Nadzorczą JSW S.A. Strategią Grupy Kapitałowej do roku 2030, odwołującą się do wizji gospodarki opartej na wiedzy, czyli na inwestowaniu w obszar B+R+I. W trakcie sesji konferencyjnych International Mining Forum 2017 nawiązano szereg ważnych relacji na linii przemysł-nauka-dostawcy technologii, które w kolejnych kwartałach przerodziły się w realne projekty.

Narzędziem do realizacji celów Strategii B+R+I był wyodrębniony w GK podmiot, który powołano w połowie 2017 roku (symbolicznie podczas IMF 2017) – Spółka JSW Innowacje S.A., powstała z przekształcenia spółki Polski Koks S.A. Spółka miała pełnić rolę Centrum Badań, Innowacji i Wynalazczości w GK oraz miała zostać zapleczem dla realizacji projektów badawczo-rozwojowych, zarówno w obszarze działalności głównej JSW S.A., jak i segmentów pozostałych (koksownictwo i węglopochodne, serwis i produkcja maszyn górniczych JZR, IT, logistyka, itd.).

Rolą nowej Spółki (JSW Innowacje) stało się dostarczenie nowych technologii w formie projektów badawczych – najpierw jako prototypów, opracowanych na potrzeby Spółki, później testu tzw. *proof of concept* realizowanego w warunkach rzeczywistych jednej z kopalń JSW S.A. i dalej w momencie osiągnięcia oczekiwanych rezultatów walidacji rozwiązania na pozostałe zakłady JSW S.A.

Niniejsza monografia tłumaczy, opisuje i dokumentuje TRANSFORMACJĘ CYFROWĄ, jaka dokonała się w jastrzębskich kopalniach w latach 2016÷2020. Książka swoim zakresem obejmuje procesy związane z dołową łącznością bezprzewodową, monitorowaniem warunków bezpieczeństwa pracy, automatyzacją całych procesów i wykorzystaniem zaawansowanej analityki danych kluczowych parametrów produkcji kopalń Jastrzębskiej Spółki Węglowej, prezentuje zdobyte podczas realizowanych przez blisko cztery lata strategicznych projektów doświadczenia całych zespołów badawczych, dokumentując największy przełom technologiczny w polskim górnictwie od lat.

Monografia składa się z 14 rozdziałów i spisu podstawowej literatury wykorzystanej w tej publikacji. We wprowadzeniu (rozdział pierwszy), oprócz krótkiego omówienia treści poszczególnych rozdziałów przedstawiono podstawowe informacje o strukturze Grupy Kapitałowej JSW, a w szczególności o zakładach górniczych wchodzących w jej skład.

W drugim rozdziale przedstawiono ideę wdrożenia zasadniczego programu nowej koncepcji rozwoju JSW S.A. do roku 2030, czyli „**Inteligentnej Kopalni JSW 4.0**”. Program ten był elementem transformacji cyfrowej spółki w kierunku przemysłu 4.0., w związku z tym, iż prawdziwym przełomem w strategii biznesowej Grupy Kapitałowej JSW S.A. na lata 2018÷2030 było wykreowanie nowego podejścia do informatyzacji całych procesów biznesowych i powierzenie jej realizacji spółce JSW IT Systems Sp. z o.o. W książce zaprezentowano szerzej nową rolę, a co za tym idzie, również nową logikę funkcjonowania spółki odpowiedzialnej za IT/OT (*Information Technology/Operational Technology*) w GK JSW. Przedstawiono główne założenia nowej strategii rozwoju IT, a zwłaszcza OT dla całej grupy kapitałowej, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu uporządkowania i standaryzacji prowadzonej polityki zarządzania architekturą i infrastrukturą techniczną systemów IT/OT.

W rozdziale trzecim monografii zaprezentowano genezę budowy pierwszego w polskim górnictwie **Centrum Zaawansowanej Analityki Danych (CZAD)**. Omówiono stosowane mechanizmy prowadzonych w JSW S.A. analiz, dokonano oceny potencjału zawartego w eksploracji wielowymiarowych struktur danych, uczeniu maszynowym wraz z wykorzystywaniem *Big Data*.

W rozdziale czwartym monografii przedstawiono koncepcję budowy i proces wdrożenia w kopalniach JSW S.A. Systemu Zarządzania Produkcją opartego na popycie i jakości eksploatowanego surowca, szeroko opisane na kartach niniejszej monografii rozwiązania pozwalają na realne zwiększenie efektywności zarządzania jakością tak wybieranego złoża, jak i oferowanego klientom końcowym produktu handlowego. Zaproponowana przez autora heurystyczna architektura techniczna systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym JSW S.A. pozwala analizować rentowność procesu produkcji w układzie rachunku ciągnionego w obszarze kopalń, zakładów przerobczych i koksowni, ostatecznie zwiększając efektywność produkcji nawet o 20%. System stanowi fundament całego procesu kontroli produkcji górniczej



realizowanego w czasie rzeczywistym przez specjalnie do tego celu powołane przy Zarządzie Spółki: Biuro Jakości oraz Centrum Zawansowanej Analityki Danych.

Rozdział piąty monografii dotyczy telekomunikacji mobilnej, łączności fonicznej z tzw. ruchomymi stanowiskami pracy, do których zaliczają się operatorzy kolejek podwieszanych czy spągowych a także maszyniści lokomotyw trakcyjnych. W tym celu Zarząd JSW S.A. podjął decyzję o dużej rozbudowie sieci przewodów promieniujących (o ponad 150 km) dla budowy nowoczesnego cyfrowego systemu łączności radiowej. Łączność radiowa z przewodem promieniującym tworzy nie tylko możliwość porozumiewania się z wszystkimi operatorami kolejek i transportu szynowego, lecz umożliwia także transmisję danych technologicznych z tych maszyn, co jest istotne w kreowaniu polityki bezpieczeństwa załóg górniczych oraz systemów wspomagania zarządzania podziemnym zakładem górniczym. Telekomunikacja mobilna z wykorzystaniem przewodu promieniującego jest także istotnym elementem Inteligentnej Kopalni JSW 4.0.

Rozdział szósty prezentuje rozwój światłowodowych sieci telekomunikacyjnych w kopalniach JSW S.A. będących podstawowym medium transmisji danych technologicznych do centrów nadzoru dyspozytorskiego. Szczególnie dużo miejsca poświęcono budowie urządzeń przeciwwybuchowych stosowanych w sieciach światłowodowych kopalń metanowych JSW S.A. oraz infrastrukturze światłowodowej (dołowej i powierzchniowej) jako głównego elementu kopalnianych sieci telekomunikacyjnych. Zaprezentowano również architekturę systemu monitoringu wizyjnego w poszczególnych kopalniach JSW S.A. wraz z opisem stosowanych w tych sieciach: kamer, komputerów, monitorów i urządzeń im towarzyszących instalowanych jako dołowe punkty dostępowe w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Całość problematyki omówiono w kontekście przyjętego w JSW S.A. standardu komunikacyjnego, mającego w przyszłości stanowić podstawę programu „**Inteligentna Kopalnia JSW 4.0**”.

W rozdziale siódmym monografii przeanalizowano systemy lokalizacji osób i urządzeń stosowane w kopalniach JSW S.A., omówiono szczegółowo aktualny stan stosowanych systemów kontroli dostępu (ewidencji czasu pracy i zjazdów) oraz identyfikacji strefowej osób i urządzeń górniczych. Radiokomunikacyjne systemy identyfikacji i lokalizacji (lokacji) osób w wyrobiskach podziemnych zaliczane są do systemów bezpieczeństwa. Scharakteryzowano wszystkie dostępne na rynku radiowe systemy lokalizacji strefowej (RFID), jak i pierwsze doświadczenia ruchowe z prób dołowych (w szczególnie zagrożonych rejonach wyrobisk) czterech iskrobezpiecznych systemów tzw. lokalizacji dokładnej (RTLS), które były prowadzone w kilku kopalniach JSW S.A.

Systemy monitorowania procesów technologicznych w kopalniach podziemnych przedstawiono w sposób kompleksowy w rozdziale ósmym. Omówiono klasyczne dyspozytorskie systemy monitorowania (tablice synoptyczne będące jeszcze w eksploatacji w dyspozytorniach zakładowych kopalń JSW S.A.), aż po nowoczesne dynamiczne dyspozytorskie systemy wizualizacji powstałe w oparciu o oprogramowanie typu SCADA, których zadaniem jest wizualizacja stanu pracy wielu różnych urządzeń i systemów technologicznych (transmisja danych z pojedynczych kombajnów czy całych kompleksów ścianowych i systemów transportu ciągłego), aż po wizualizację danych różnych systemów

bezpieczeństwa (np. gazometria, stan tam, wentylatorów) a także w określonych przypadkach również sterowanie polami rozdzielczymi w sieciach elektroenergetycznych. Przedstawiono najnowszy system wizualizacji typu HADES opracowany w JSW ITS w ostatnim okresie, który będzie zastosowany w dyspozytorniach wszystkich kopalń JSW S.A. Całość problematyki pokazana jest na tle zaproponowanej przez JSW S.A. nowej architektury opierającej się na wypracowanym przez kopalnie standardzie wymiany danych w infrastrukturze IT/OT, stanowiącym istotę przyjętej przez Zarząd JSW S.A., w październiku 2020 roku, „Polityki Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. w zakresie zarządzania architekturą i infrastrukturą techniczną systemów IT/OT”.

Rozdział dziewiąty poświęcono monitoringowi podporności obudowy zmechanizowanej, a w zasadzie budowie przez JSW S.A. – Centrum Zaawansowanej Analityk Danych, systemu klasy *data historian*, w którym dane generowane przez lokalne systemy monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej podlegają automatycznej agregacji, przetworzeniu i przygotowaniu złożonych analiz w systemie analitycznym. W roku 2018 Zarząd JSW S.A. podjął decyzję, że system monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej będzie sukcesywnie rozbudowywany tak, aby w niedalekiej przyszłości swoim działaniem objąć wszystkie kompleksy ścianowe kopalń Spółki. W roku 2022 na około 22 czynne ściany w kopalniach JSW S.A., 17 kompleksów ścianowych wyposażonych było w system monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej.

W rozdziale dziesiątym omówiono stosowane w kopalniach JSW S.A. typowe systemy gazometryczne. Przedstawiono sposoby ciągłej akwizycji, przetwarzania, wizualizacji i archiwizacji sygnałów z czujników pomiarowych i innych urządzeń końcowych (np. czujników otwarcia tam) pracujących w strefach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego. Krótko scharakteryzowano zasady pomiaru metanu oraz innych gazów i parametrów atmosfery kopalnianej typowego systemu gazometrycznego. Omówiono systemy gazometryczne eksploatowane obecnie w poszczególnych kopalniach JSW S.A., zwracając szczególną uwagę na stosowane obecnie czujniki (mierniki parametrów atmosfery kopalnianej) i inne elementy tych systemów (np. analogowe i dwustanowe centralki tych systemów).

Rozdział jedenasty charakteryzuje stosowane w poszczególnych kopalniach JSW S.A. sieci systemów odmetanowania, wybrane elementy tych sieci i wdrożony tam unikalny system informatyczny wykorzystywany do monitorowania stężeń, ujmowanego w wyrobiskach górniczych, metanu, jego w pełni zautomatyzowanej pracy oraz integracji z systemami dyspozytorskimi.

W rozdziale dwunastym przedstawiono ogólny obraz stosowanych w kopalniach JSW S.A. systemów bezpieczeństwa dedykowanych do monitorowania zjawisk sejsmicznych. W skondensowanej formie zaprezentowano charakterystyki stosowanych systemów monitorowania, analizy mechanizmów ognisk wstrząsów i parametrów ich źródła w aspekcie oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach. Przekrojowo omówiono stosowaną w kopalniach wybraną aparaturę sejsmologiczną oraz sposób doboru parametrów do wyznaczania energii sejsmicznej w sieciach kopalnianych. Całość rozważań prezentowana jest w świetle oceny stanu zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciem w wyrobiskach górniczych z wykorzystaniem kryteriów sejsmologicznych ostatnich doświadczeń kopalń JSW S.A.

Zagadnienie cyberbezpieczeństwa sektora wydobywczo-energetycznego omówiono w rozdziale trzynastym, szczególnie dużo miejsca poświęcając zagadnieniom związanym z zarządzaniem ciągłością działania zakładów górniczych, zwiększeniem odporności tych organizacji na zakłócenia biznesowe i minimalizacji ich skutków. Przedstawiono historie powstania i zakres działania jednego z pierwszych w kraju branżowych Centrów Wymiany i Analizy Informacji dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa (ISAC) utworzonego w 2022 roku przy Głównym Instytucie Górnictwa (GIG). Na koniec zaprezentowano główne założenia strategii „Bezpieczny Cyfrowy Śląsk 2030”, obejmującej powołanie do życia Silesian CyberSecurity Hub jako elementu Śląskiej Chmury Obliczeniowej, będącej częścią Rządowej Chmury Obliczeniowej, w obszarze monitoringu transformacji polskiego sektora wydobywczo-energetycznego. Całość rozważań zamknięto omówieniem zakresu działania CENTRUM KOMPETENCJI W ZAKRESIE BEZPIECZEŃSTWA, ANALITYKI OPERACYJNEJ I ZARZĄDZANIA SYTUACJAMI NIEBEZPIECZNYMI W PRZEMYSŁE, będącego owocem sojuszu Politechniki Śląskiej i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk na rzecz budowy GOSPODARKI CYFROWEJ, jako czynnik rozwoju technologicznego sektora surowców mineralnych i sprawiedliwej transformacji energetycznej Śląska.

Rozdział czternasty monografii stanowi podsumowanie, w którym syntetycznie zebrano argumenty dowodzące, że wypracowane i wdrożone w latach 2017÷2021 przez Zarząd JSW S.A. główne postulaty programu Inteligentna Kopalnia JSW 4.0 pozwoliły na zbudowanie efektywnego i nowoczesnego modelu działania kopalń JSW S.A., który aktywnie wpływa na wzrost wartości, efektywności i bezpieczeństwa pracy poprzez zwiększoną integrację i automatyzację procesów oraz innowacyjne rozwiązania IT/OT w całym cyklu produkcyjnym i handlowym.

Szanowni Państwo podejmując decyzję o realizacji wdrożenia w polskich warunkach projektu Inteligentna Kopalnia JSW 4.0, obejmującego swoim zakresem m.in. budowę mobilnej i światłowodowej infrastruktury dla potrzeb monitoringu produkcji, lokalizację załogi oraz uruchomienie pierwszego górniczego Centrum CZAD chcieliśmy udowodnić, iż wdrażanie paradygmatu **Przemysłu 4.0** polskich kopalniach to nie problem, to szansa rozwoju! Projekt był i jest odpowiedzią na wyzwania czekające całe polskie górnictwo w najbliższych latach i stanowić winien cenną inspirację w zakresie dalszego jego rozwoju.

## 2. Zarządzanie obszarem informatyki i automatyki przemysłowej, jego rola, znaczenie i nadzór w realizacji idei INTELIGENTNEJ KOPALNI JSW 4.0

*Artur Dyczko*

Rynek surowców mineralnych, a w szczególności węgla kamiennego w ostatnim czasie stał się bardzo nieprzewidywalny. Sytuacja w energetyce staje się problematyczna dla przedsiębiorców, którzy muszą w sposób elastyczny dopasowywać swoje firmy do zmiennych warunków rynkowych, aby utrzymać tzw. „*biznesowość*” swoich projektów górniczych. W Grupie Kapitałowej JSW S.A., zajmującej się wydobywaniem węgla kamiennego i produkującej węgiel koksowy, zysk generowany jest na szczeblu całej Grupy, gdzie kopalnie są istotnym, początkowym ogniwem cyklu produkcyjnego, o określonych kosztach produkcji. Występują tu dwie ścieżki kształtowania kosztów wydobycia:

- pragmatyczna, polegająca na racjonalizacji kosztów w miejscach ich powstawania (działania oszczędnościowe),
- wybieranie złoża według jakości (sterowanie alokacją wydobycia).

Skuteczna realizacja powyższych działań wymaga precyzyjnych instrumentów oceny na szczeblu kopalni, rejonów, oddziałów i przodków produkcyjnych. Instrumentami tymi są parametry złożowe, technologiczne i ekonomiczne, które wraz z marginesami bezpieczeństwa określającymi procentowy poziom rezerw każdego z parametrów kształtują rentowność podejmowanych przedsięwzięć. Prowadzona od ponad półwiecza intensywna eksploatacja złoża węgla przez jastrzębskie kopalnie doprowadziła do znaczącego szcerpania zasobów, co oznacza konieczność sięgania po coraz trudniejsze w eksploatacji i uboższe jakościowo części złoża położone na obrzeżach obecnych obszarów górniczych. Ponieważ dalsze istnienie wszystkich kopalń JSW uzależnione jest od prowadzenia eksploatacji właśnie w takich rejonach, coraz zasadniejszym staje się postawienie pytań:

*„Czy eksploatacja gorszych jakościowo i technicznie trudniej eksploatowanych części złoża jest ekonomicznie opłacalna?”, „Jak umiejętnie sterować prowadzoną eksploatacją by w sposób optymalny, tak ekonomicznie jak i technicznie, pozyskiwać surowiec jak najdłużej?”.*

Odpowiedzi na postawione powyżej pytania Zarząd JSW S.A. postanowił udzielić przygotowując opracowanie pt. Strategia Spółki na lata 2018÷2030.

Równoległe do budowanej strategii w JSW S.A. toczyły się intensywne procesy restrukturyzacyjne, rozpoczęte już w połowie 2016 roku, mające za zadanie zabezpieczyć stabilność i ciągłość produkcji GK JSW S.A. w okresach przyszłych dekonjunktur. Żeby działania te były skuteczne, ustalono, że główną linią obrony GK będzie zdefiniowany na nowo model zarządzania obszarem informatyki i inwestycji Spółki. W tym celu główny wysiłek skierowano na uporządkowanie i ujednoczenie procedur, strategicznych projektów zorientowanych na: wzrost wartości Spółki, wydajność pracy, poprawę stanu środowiska naturalnego, poprawę bezpieczeństwa i warunków pracy. Ostatecznie przyjęta w 2018 roku Strategia GK JSW S.A. zdefiniowała cele dla kluczowych obszarów odpowiedzialności, tak by z jednej strony ograniczyć ryzyka i wyzwania biznesowe z nimi związane, z drugiej zaś by

maksymalizować szanse, wynikające ze zmian społeczno-gospodarczych i rewolucji technologicznej, wśród których wymienić należy:

- zarządzanie gospodarką złożem - obejmujące program długofalowego rozwoju kopalń JSW S.A. oparty o modelowanie złoża 3D, optymalizację produkcji w tym analizę parametrów jakościowych urobku w trybie on-line (systemy Minescape oraz Deswik),
- standaryzację i automatyzację procesu planowania, harmonogramowania oraz optymalizacji produkcji - obejmującą wydobycie i przeróbkę urobku wraz z zarządzaniem środkami produkcji wpływającym na wzrost efektywności procesu produkcyjnego (systemy HBŚ i HRK, Ewidencja EX),
- zarządzanie bezpieczeństwem załóg górniczych – obejmujące szereg inicjatyw umożliwiających lokalizację pracowników pod ziemią, zwłaszcza w strefach szczególnego zagrożenia wraz z analizą świadomości sytuacyjnej frontu eksploatacyjnego zamkniętego w pętli decyzyjnej centrum dyspozytorskiego,
- budowę Centrum Zaawansowanej Analityki Danych – porządkującego i standaryzującego sposób komunikacji sensorycznej infrastruktury produkcyjnej kopalń JSW w zakresie łączności i transmisji danych umożliwiających monitorowanie, sterowanie i nadzór nad bezawaryjną pracą maszyn i urządzeń w warunkach występowania skojarzonych zagrożeń górniczych wraz z automatyzacją: gromadzenia, przetwarzania i analizy olbrzymiej ilości danych procesowych (system MIS dashboardów zarządczych, PI System, monitoring podporności sekcji obudowy, SCADA HADES),
- cyfrową transformację procesów inwestycyjnych i wsparcia produkcji - polegającą na wdrożeniu Systemu Zarządzania Programami i Projektami w GK, uruchomieniu nowoczesnej platformy zakupowej oraz budowie systemu elektronicznego obiegu dokumentów w tym obsługi wniosków inwestycyjnych (systemy: IPMA, EOD, EPM, Logintrade.pl.),
- cyberbezpieczeństwo przestrzeni przetwarzania informacji oraz zachodzących interakcji w sieciach teleinformatycznych spółek GK JSW S.A. będących fundamentem rozwiązań z zakresu przemysłu 4.0, Internetu rzeczy, inteligentnej kopalni i gospodarki obiegu zamkniętego (system SIEM).

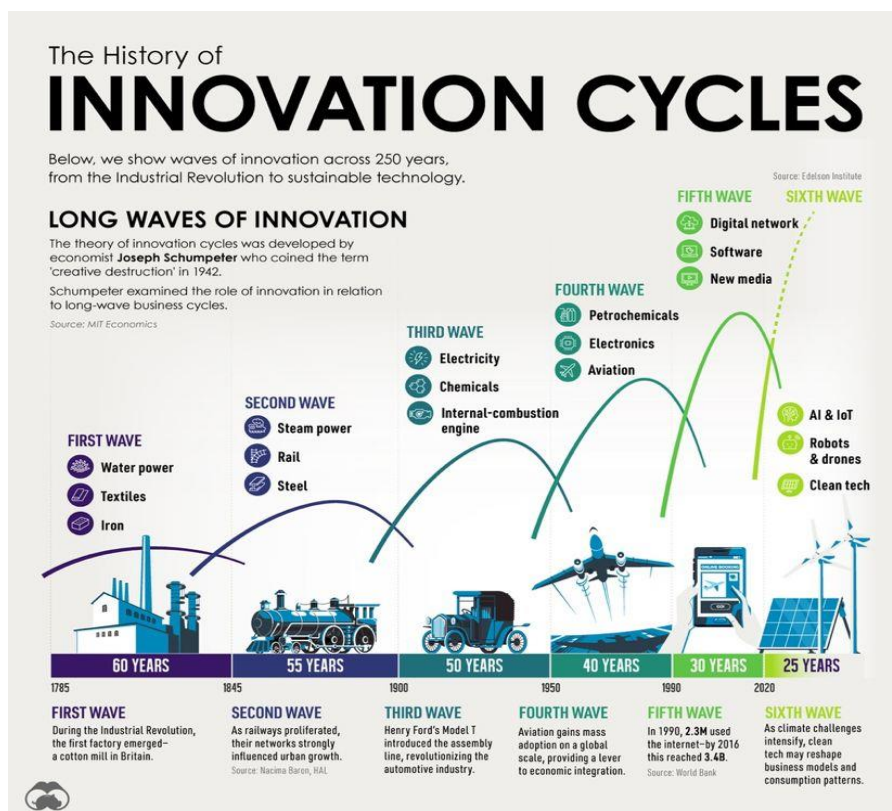
Tak zdefiniowane cele wpłynęły bezpośrednio na zogniskowanie kluczowych inicjatyw nowej Strategii wokół czterech dźwigni wartości JSW, tj.: poprawy efektywności operacyjnej, efektywności kosztowej, efektywności inwestycyjnej oraz poprawy bezpieczeństwa załóg górniczych, stanowiących istotę powołanego do życia programu **Inteligentna Kopalnia JSW 4.0** mającego na celu transformację Spółki w kierunku Przemysłu 4.0 [Ozon, 2017].

Zarząd Spółki zdawał sobie sprawę z faktu, iż aby móc myśleć realnie o transformacji GK JSW w kierunku paradygmatu przemysłu 4.0 i gospodarki obiegu zamkniętego musi zmienić postrzeganie realizowanego procesu produkcyjnego tak wśród pracowników, jak i kooperantów. W tym celu po raz pierwszy w historii JSW S.A. pełną koordynację, a w dużej mierze również realizację kluczowych inicjatyw Strategii JSW do roku 2030. powierzono Spółce JSW IT SYSTEMS (JSW ITS), która miała opracować, przetestować i wdrożyć w GK JSW rozwiązania łączące górnicze maszyny produkcyjne z nowoczesnymi technologiami informacyjnymi, umożliwiającymi analizę operacyjną, obejmującą cały łańcuch wartości GK

JSW – od rozpoznania złoża, wykonania harmonogramu, poprzez złożenie zamówienia i dostarczenia komponentów dla trwającej produkcji, aż do wysyłki towaru do klientów pociągami lub statkami – podejście to realizowano pod hasłem „**JSW 4.0 - Jakość Produkcji od Złoża do Morza**”.

JSW ITS wdrażając główne postulaty programu Inteligentna Kopalnia JSW 4.0, ujednoliciło standardy komunikacji w zakładach górniczych, uporządkowało procedury dotyczące transmisji, przechowywania i ochronnych danych OT, zaproponowało zupełnie nowy model rozwoju IT wewnątrz GK JSW, angażujący w jego realizację całe zespoły inżynierów w kopalniach oraz spółkach grupy JSW. Słowem rozpoczęło zmianę postrzegania informatyki w całej GK JSW, za który to proces w Zarządzie odpowiadał bezpośrednio Zastępca Prezesa Zarządu JSW ds. Strategii, Inwestycji i Rozwoju. Bez wątplenia realizowany w latach 2016÷2021 proces informatyzacji GK JSW, którego fundamentalnym otwarciem były zmiany organizacyjne w JSW ITS i przejście 100% kontroli nad informatyzacją JSW, wpisywał się w kolejny cykl wzrostu innowacyjności polskiego górnictwa, wytyczając nowy, oby na trwałe, kierunek rozwoju branży surowcowej, w której twórcza destrukcja zawsze odgrywała i wciąż odgrywa kluczową rolę w stymulowaniu przedsiębiorczości gospodarki nie tylko w Polsce, ale i za granicą.

Stworzona w 1942 roku przez ekonomistę Josepha Schumpetera teoria „twórczej destrukcji” sugeruje, że cykle koniunkturalne działają pod wpływem długich fal innowacji. W szczególności, gdy rynki są zakłócone, kluczowe klastry branż wywierają ogromny wpływ na całą gospodarkę światową – rysunek 2.1.



Rys. 2.1. Cykle innowacji gospodarki świata od 1785 roku [Majchrzyk, 2021]

Od pierwszej fali rozwoju przemysłu tekstylnego i energetyki wodnej w rewolucji przemysłowej po Internet w latach 90. ludzkość przeszła sześć fal innowacji i rozwiązywała problemy związane z ich kluczowymi przełomami. **Podczas pierwszej fali rewolucji przemysłowej** energia wodna odegrała kluczową rolę w produkcji papieru, tekstyliów i wyrobów żelaznych. W przeciwieństwie do młynów z przeszłości, pełnowymiarowe tamy zasilały turbiny za pomocą skomplikowanych systemów taśmowych. Postępy w przemyśle tekstylnym przyniosły pierwszą fabrykę, a wokół nich rozrosły się miasta. Wraz z **drugą falą**, między około 1845 a 1900 rokiem, nastąpił znaczny postęp w transporcie kolejowym, parowym i stalowym. Sam przemysł kolejowy wpłynął na niezliczone gałęzie przemysłu, od żelaza i ropy, po stal i miedź. To przyczyniło się do powstania wielkich monopolii kolejowych. Pojawienie się elektryczności zasilającej światło i komunikację telefoniczną podczas **trzeciej fali** zdominowało pierwszą połowę XX wieku. Henry Ford wprowadził Model T, a linia montażowa zmieniła branżę motoryzacyjną. Samochody ściśle wiązały się z ekspansją amerykańskiej metropolii. Później, w **czwartej fali**, lotnictwo zrewolucjonizowało podróże i branżę turystyczną. Po pojawieniu się Internetu na początku lat 90. całkowicie zniknęły bariery związane z dostępem do informacji. Nowe media zmieniły dyskurs polityczny, cykle informacyjne i komunikację w **piątej fali**. Internet wyznaczył nową granicę globalizacji, pozbawiony granic krajobraz przepływów informacji cyfrowych. **Szósta fala**, naznaczona sztuczną inteligencją i cyfryzacją przedmiotów codziennego użytku (IoT), robotyce i dronach, nakreśla obecnie zupełnie nowy obraz świata i gospodarki [Majchrzyk, 2021].

Mając pełną świadomość zachodzących zmian, a zwłaszcza tempo transformującej się gospodarki Zarząd JSW w Strategii Spółki na lata 2018÷2030 zauważył, iż tocząca się na naszych oczach cyfryzacja światowego sektora wydobywczego jako element rewolucji przemysłowej w górnictwie stanowi wyjątkową okazję, dla GK JSW aby zwiększyć odporność krajowych łańcuchów dostaw przemysłowych, poprawić efektywność środowiskową sektora surowców mineralnych oraz zwiększyć przejrzystość i dialog z obywatelami i społecznościami, którzy odczuwają skutki działalności wydobywczej.

## 2.1. Historia rozwoju informatyki i automatyki przemysłowej w GK JSW

Początek zorganizowanej informatyki w jastrzębskich kopalniach wiąże się z powołaniem do życia 1.11.1998 r. Centrum Informatyki ROW Sp. z o.o. (CIROW). Firma powstała na bazie służb informatycznych kopalń w wyniku restrukturyzacji polskiego górnictwa, a jej współnikami były osoby fizyczne – pracownicy Działów Informatyki JSW i Centralnego Ośrodka Informatyki Górnictwa (COIG) oddział nr 6 w Rybniku, oraz osoby prawne tj.: JSW i COIG.

Podstawowymi zadaniami spółki od początku działalności było świadczenie kompleksowej obsługi informatycznej zakładów i spółek grupy kapitałowej JSW. CIROW nie posiadał oddziałów, gdyż charakter prowadzonej działalności powodował konieczność realizacji części zadań bezpośrednio w siedzibach klientów. Struktura organizacyjna spółki odzwierciedla realizowany model świadczenia usług w zakresie bezpośredniej obsługi informatycznej, organizując pracę w 11 lokalizacjach. W związku z przejmowaniem obsługi IT w poszczególnych zakładach i spółkach GK JSW tworzone były zespoły obsługujące klientów zgodnie z podziałem geograficznym. Taki sposób działania powodował dublowanie wielu



funkcji oraz przenikanie się odpowiedzialności za poszczególne obszary, zaś model wsparcia opierał się głównie na lokalnych zespołach co generowało zbyt duże koszty, taki stan rzeczy doprowadził do podjęcia decyzji o dalszej integracji informatyki w ramach GK JSW.

Kolejnym etapem integracji obszaru informatyki był rok 2009, kiedy to JSW S.A. stała się większościowym właścicielem CIROW w drodze zakupu udziałów od osób fizycznych. W początkowym okresie działalności CIROW, zakres wsparcia zakładów JSW S.A. koncentrował się głównie na działaniach w obszarze infrastruktury i systemów informatycznych wspierających działalność administracyjno-biurową (IT), praktycznie nie obejmując wsparcia obszarów operacyjno-produkcyjnych (OT). W roku 2011, kiedy to JSW S.A. debiutowała na Giełdzie Papierów Wartościowych dokonano zmiany nazwy spółki na Advicom Sp. z o.o.

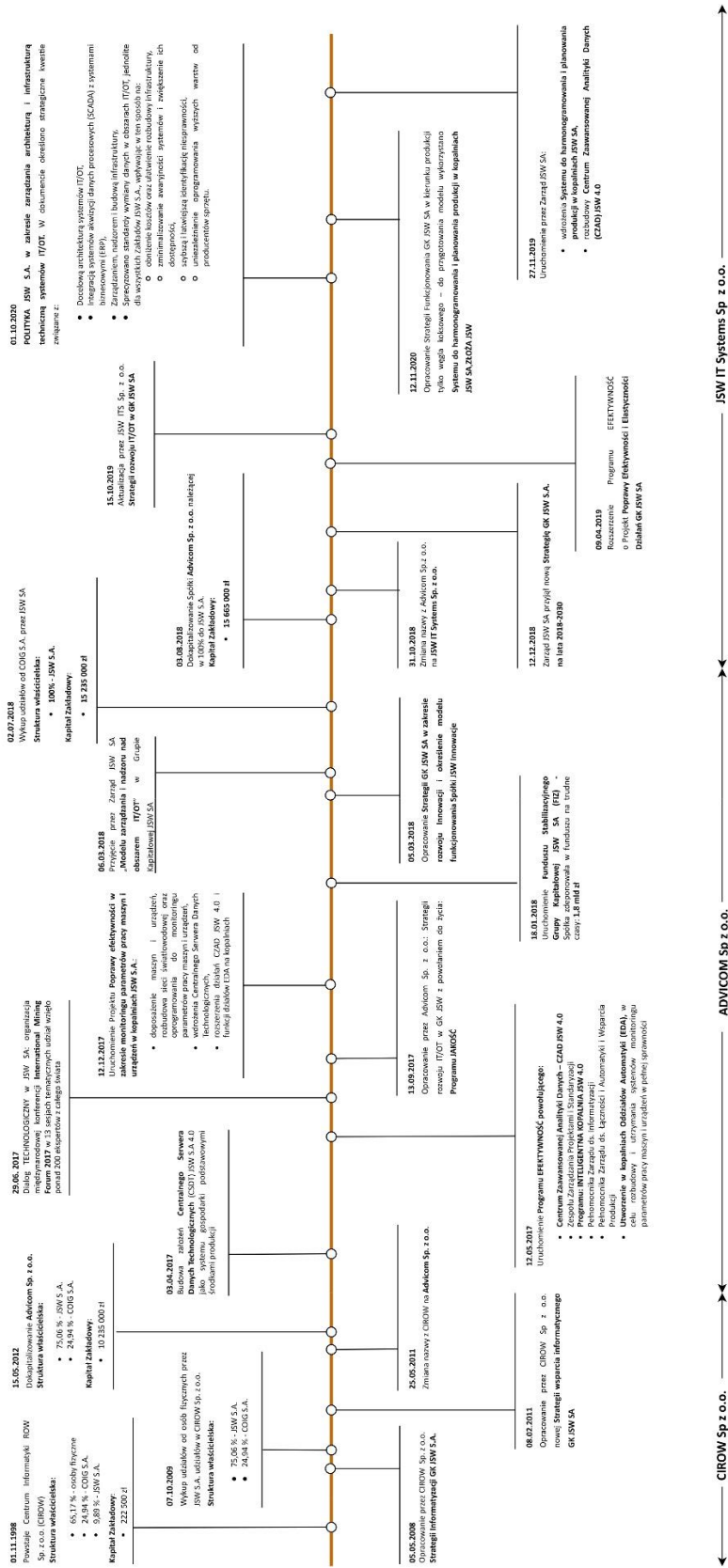
Wejście GK JSW na Giełdę przyspieszyło zdecydowanie proces budowy i konsolidacji Grupy, co sprzyjało w obszarze informatyki na standaryzacji i centralizacji infrastruktury biurowej, oraz rozwoju systemów wspomagających rozliczanie transakcji w wymiarze finansowym (ERP) w tym okresie poszczególne spółki wchodzące w skład GK JSW posiadały jeszcze własne samodzielne organizacje IT. Dlatego dążąc do konsolidacji korporacyjnej GK JSW rozpoczęto wprowadzać jeden standard zakresu obsługi IT w GK umożliwiając efektywne świadczenie usługi informatycznej. W tym celu w 2011 roku opracowano oraz przyjęto przez Zarząd „Strategię GK JSW w zakresie wsparcia informatycznego dla GK JSW na lata 2011÷2015”, w której skupiono się głównie na centralizacji i konsolidacji funkcji IT w Grupie, które miały zapewnić ujednoczenie oraz podniesienie jakości usług IT dla kluczowych procesów gospodarczych realizowanych w całej GK JSW.

Kontekst historyczny zaangażowania spółek informatycznych CIROW, Advicom i JSW IT System w rozwoju GK JSW wraz ze zmianą struktury udziałów Spółki w okresie od 1998 do 2021, przedstawiono na rysunku 2.2.

Centralizacja działań w zakresie informatyzacji GK JSW pozwoliła na zbudowanie kompetencji i skonsolidowanych procesów wsparcia dla najważniejszych obszarów biznesowych oraz podniesienia zakresu i jakości obsługi informatycznej. Dodatkowo, wprowadzono jednolite standardy technologiczne oraz jednolite procesy obsługi (Centralny Helpdesk IT), prowadząc tym samym do podniesienia stabilności, jakości oraz bezpieczeństwa środowiska informatycznego w całej Grupie.

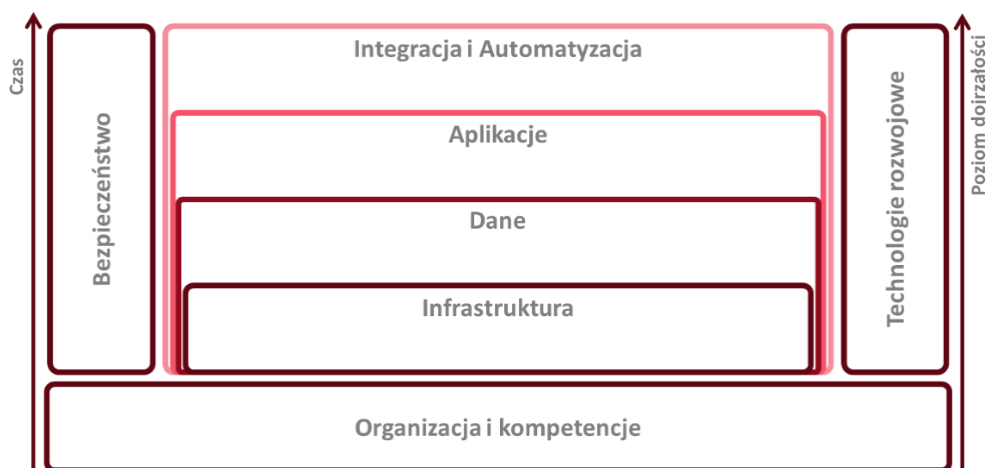
Co istotne i fundamentalne dla podejmowanych inicjatyw, to fakt, iż Strategia z roku 2011, która zaktualizowana została w roku 2014, wprowadziła w Grupie model usługowy, w którym zawarto pierwsze umowy typu SLA (Service Level Agreement) oraz wdrożono Zintegrowany System Zarządzania, oparty o normy PN-ISO/IEC 27001 oraz PN-ISO/IEC 20000.

Kolejnym przełomem w informatyzacji GK JSW S.A. był rok 2015, kiedy to spółka Advicom przeprowadziła transformację organizacyjną uruchamiając nowy model funkcjonalny działania pozwalający w sposób efektywny i stabilny jakościowo świadczyć szeroki katalog usług IT dla całej Grupy Kapitałowej JSW S.A.



Rys. 2.2. Kontekst historyczny zaangażowania spółek informatycznych CIROW/Advicom/JSW IT System, w rozwoju GK JSW S.A., na przestrzeni lat 1998÷2020

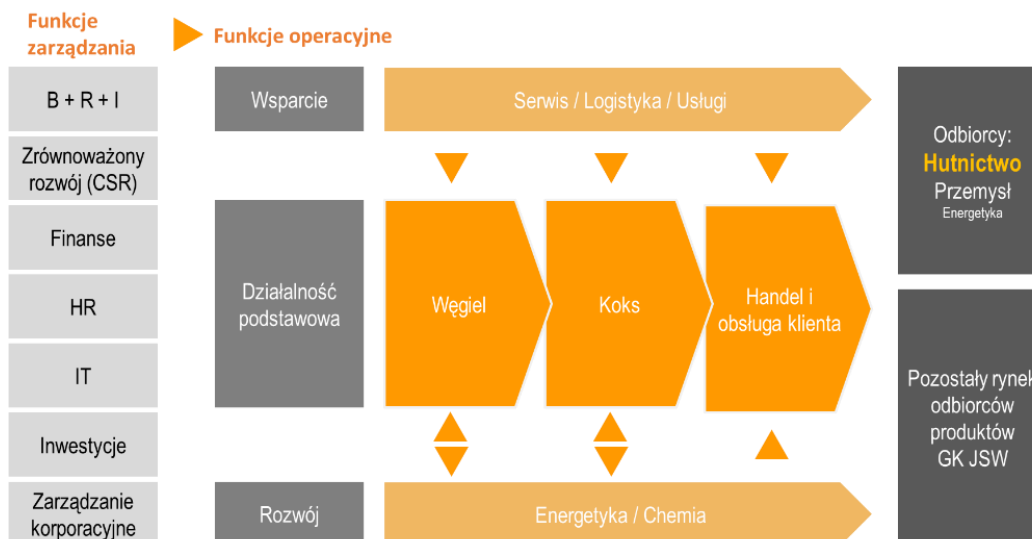
Model ten zmieniono w roku 2017 wprowadzając funkcjonalne zarządzanie i nadzór nad obszarem informatyzacji GK JSW nie tylko w tradycyjnie rozumianym IT, ale przede wszystkim w kierunku rozwoju informatyki przemysłowej OT wspierającej wydobywanie i przeróbkę węgla oraz produkcję koksu [Ozon, 2017; Ozon, 2019]. W trakcie przygotowywania do tego modelu zidentyfikowano i uruchomiono ponad 90 projektów z obszaru: Data Governance (*pol.: zarządzanie danymi*), poprawy infrastruktury sieci informatycznej i zmiany systemu zarządzania wiedzą. Wyznaczono nowe kierunki inwestycji, zmieniono organizację głównych procesów biznesowych - również po stronie zakładów górniczych, przeprowadzono zmianę zakresu funkcjonalnego i wymaganych kompetencji całych zespołów ludzkich, uporządkowano i zestandaryzowano politykę zarządzania architekturą i infrastrukturą techniczną systemów IT/OT – rysunek 2.3. [Ozon, 2017; Ozon, 2019]. Ostatecznie nowy model zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w GK JSW został zatwierdzony 06 marca 2018 r. przez Zarząd JSW i stanowi obecnie fundament realizowanych procesów biznesowych całej Grupy.



Rys. 2.3. Nowy model architektury IT/OT w GK JSW S.A. [Ozon, 2019]

Kolejnym kamieniem milowym toczącej się w GK JSW S.A. transformacji techniczno-organizacyjnej było przyjęcie w grudniu 2018 roku przez Radę Nadzorczą JSW S.A. nowej strategii biznesowej JSW S.A. na lata 2018÷2030, w której po raz pierwszy w historii nadrzędnym celem strategicznym poza wzrostem wartości Grupy Kapitałowej **uczyniono uzyskanie niezależności działalności podstawowej od cykli koniunkturalnych i zmian cen węgla.**

Aktualny model biznesowy GK JSW na lata 2018÷2030 prezentuje rysunek 2.4.



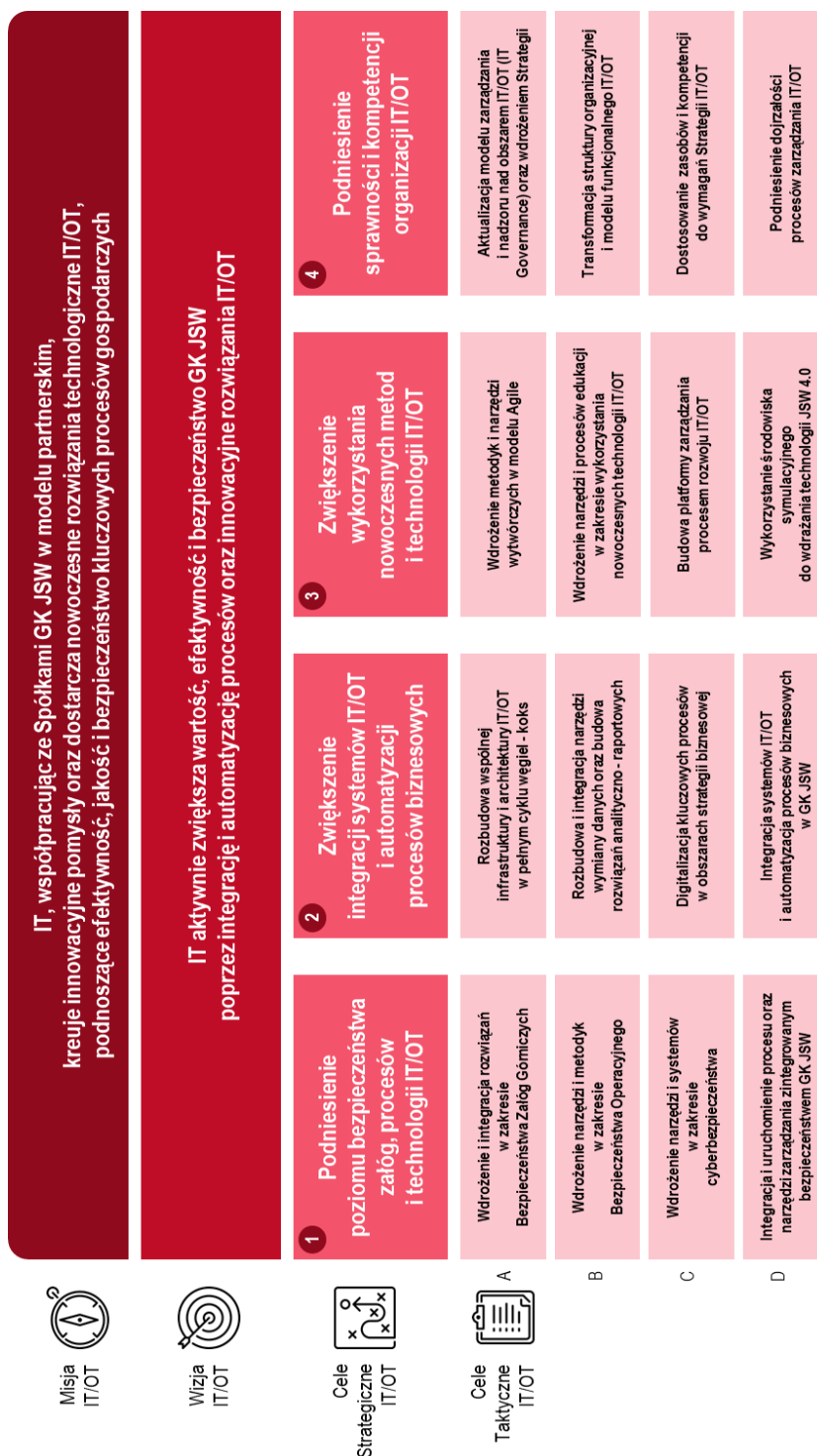
Rys. 2.4. Model biznesowy GK JSW zaprezentowany w strategii na lata 2018÷2030 [Ozon, 2017]

Nowa strategia biznesowa JSW S.A. na lata 2018÷2030 wymusiła fundamentalną zmianę podejścia do zarządzania informatyką w całej grupie węglowo-koksowej, co swoje odzwierciedlenie znalazło już w październiku 2019 roku w nowej strategii rozwoju IT/OT w GK JSW, gdzie ściśle zdefiniowano nowe zadania związane z utrzymaniem i rozwojem informatyki w obszarach telekomunikacyjnych oraz automatyki przemysłowej całej GK JSW. W strategii biorąc pod uwagę docelowy **model referencyjny** architektury IT/OT, w ramach poszczególnych **filarów strategicznych** oraz **celów strategicznych i taktycznych** zdefiniowano łącznie 33 **projekty techniczne strategiczne** zgrupowane w 4 **filarach strategicznych** obejmujących łącznie 61 **projektów cząstkowych** – rysunek 2.5.



Rys. 2.5. Model referencyjny architektury IT/OT – **cele strategiczne** [Podsumowanie zarządcze, 2017]

Kluczowym elementem wynikającym z analizy kontekstu biznesowego Strategii JSW S.A. na lata 2018÷2030 jest rola obszaru IT/OT w bezpośrednim lub pośrednim wspieraniu kluczowych obszarów łańcucha wartości całej GK JSW S.A. Jednym z podstawowych narzędzi do realizacji celów strategicznych w strategii biznesowej uczyniono program **Efektywność i Inteligentna Kopalnia JSW 4.0**, koncentrujące się na cyfryzacji i automatyzacji kluczowych procesów gospodarczych GK JSW – rysunek 2.6.



Rys. 2.6. Model referencyjny architektury IT/OT– cele taktyczne [Ozon, 2019]

## 2.2. Model zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w GK JSW

Kluczowym elementem podczas aktualizacji Strategii IT/OT w GK JSW, determinującym założenia i cele strategiczne była identyfikacja potrzeb, wyzwań i oczekiwań GK JSW wobec IT, zarówno w sferze biznesowej jak również innych pozostałych sferach, a w szczególności określenie Filarów budowy Strategii biznesowej przez IT [Ozon, 2019].

Dotychczasowe Filary budowy strategii biznesowej przez IT skupiały się na zwiększeniu Efektywności organizacji produkcji, Efektywności procesów (w obszarach wsparcia, rozwoju oraz procesów zarządczych) oraz Efektywności podejmowania decyzji, dając narzędzia umożliwiające osiągnięcie wymienionych celów. Jako fundament tych działań wskazano Innowacyjność, która ma być podstawą podejścia oraz zastosowanych rozwiązań – rysunek 2.7.



Rys. 2.7. Dotychczasowe Filary budowy Strategii biznesowej GK JSW przez IT [Ozon, 2019]

Strategia biznesowa GK JSW określała wizję GK JSW jako kluczowego dostawcy strategicznego surowca dla przemysłu hutniczego, stąd podstawową działalnością GK JSW było i jest wydobywanie i przetwarzanie węgla koksującego. W wizji GK JSW określona została także nowa rola IT w szczególności automatyzacji i informatyzacji ciągu produkcyjnego, jako jednego z elementów wspierających umocnienie pozycji wiodącego i innowacyjnego producenta węgla koksowego i czołowego dostawcy koksu na rynku europejskim. Pozostałymi obszarami wpływającymi na umocnienie pozycji lidera rynku uczyniono jakość oferowanych produktów, innowacje, bezpieczeństwo pracy oraz ochronę środowiska.

Model biznesowy działalności podstawowej GK JSW obejmował pełen cykl wydobywania węgla i produkcji koksu (wraz z handlem i obsługą klienta końcowego). Dodatkowo wzmocniono obszary rozwojowe, w szczególności w obszarze energetyki i chemii, w których zidentyfikowano duży potencjał optymalizacji w obszarach B+R. Podstawowe funkcje wsparcia (serwis, logistyka, usługi) oraz funkcje zarządzania GK miały za zadanie aktywnie wspierać podstawowy obszar działalności GK JSW.

Jak już wspomniano JSW działa w trudnym, szybko zmieniającym się otoczeniu biznesowym, które nakłada na spółkę szereg uwarunkowań i wymogów w stosunku do katalogu oczekiwań wynikających wprost z realizowanej strategii biznesowej. Opracowana strategia na lata 2018÷2030 wskazała, że kluczowe biznesowe oczekiwania poza strategiczne względem IT wynikają zarówno ze wzrostu oczekiwań związanych z podniesieniem poziomu bezpieczeństwa Spółki (potwierdzone katastrofą w Ruchu Zofiówka), jak i zmian strukturalnych GK JSW związanych z przejmowaniem i integrowaniem nowych podmiotów

gospodarczych (przejęcie PBSz), jak również z podnoszeniem sprawności i efektywności działania oraz poziomu dojrzałości procesów zarządzania IT i dostosowywania skali i kompetencji zespołu IT do realizacji projektów strategicznych – rysunek 2.8.



Rys. 2.8. Zaktualizowane filary budowy strategii biznesowej GK JSW przez IT [Ozon, 2019]

Wypracowana nowa lista wyzwań i oczekiwań wobec IT składała się z ośmiu wyzwań IT wynikających ze Strategii GK JSW oraz pięciu oczekiwań biznesowych, innych niż strategiczne (poza strategicznych). W trakcie przygotowywania nowej strategii dokonano weryfikacji dotychczasowych wyzwań i oczekiwań w podziale na strategiczne oraz poza strategiczne, w szczególności wynikających ze spodziewanych wyzwań lat 2018÷2030, w tym:

- stabilizacji produkcji i sprzedaży koksu oraz modernizacji zakładów przerobczych, w zakresie wsparcia informatyzacji i digitalizacji poszczególnych elementów infrastruktury w kluczowych procesach biznesowych (produkcji), optymalizacji procesu monitorowania tych procesów oraz wsparcia realizacji PROGRAMU JAKOŚĆ;
- wzrost bezpieczeństwa załóg górniczych, pozostający bez zmian priorytetów dla GK JSW. Bezpieczeństwo zawsze odgrywało i nadal odgrywa dużą rolę i wszelkie działania w obszarze IT/OT, które mogą wpływać na zwiększenie bezpieczeństwa, zarówno załóg jak i danych w systemach stanowiąc będą priorytet w zakresie realizacji Strategii IT/OT;
- zapewnienia infrastruktury IT/OT dla istniejących zakładów, jak i nowych pól eksploatacyjnych (wyposażenie nowych kopalni);
- zapewnienia standaryzacji i spójności architektury IT/OT dla przedsiębiorstw nabywanych przez GK JSW celem rozszerzenia portfela produktów i usług świadczonych przez JSW;
- zapewnienia wzrostu efektywności działalności podstawowej, jak i pomocniczej JSW, które jak ustalono, bez wsparcia ze strony IT/OT nie będą możliwe osiągnięcia;
- stymulacji innowacyjności GK JSW, która nadal zostaje priorytetem dla biznesu i elementem, który bezpośrednio wpływa na przewagę konkurencyjną JSW S.A. na rynku.

Opracowane nowe FILARY Strategii GK JSW w obszarze IT/OT na nowo zdefiniowały listę kluczowych oczekiwań biznesowych oraz zmian strukturalno-organizacyjnych, w tym:



- Podniesienie poziomu bezpieczeństwa, biorąc pod uwagę katastrofę w Ruchu Zofiówka. Wymaganie to dotyczy zarówno wsparcia IT w zakresie bezpieczeństwa załóg, bezpieczeństwa operacyjnego oraz cyberbezpieczeństwa;
- Wzrost innowacyjności w zakresie stosowanych technologii i rozwiązań zarówno w zakresie działalności podstawowej, obszarów rozwojowych np. projektów energetycznych i chemicznych (np. optymalizacja zużycia energii, optymalizacja procesów wentylacji i odmetanowania, optymalizacja procesów produkcyjnych w obszarze chemicznym, etc.) oraz procesów i funkcji zarządzania i wsparcia GK JSW;
- Rozbudowa i dostosowanie kompetencji IT oraz zdolności realizacyjnych, w szczególności w zakresie integracji oraz automatyzacji systemów IT oraz OT, rozwoju oprogramowania oraz cyberbezpieczeństwa. Odpowiednie zarządzanie zasobami i kompetencjami powinno pozwalać na wsparcie realizacji Strategii IT/OT, urzeczywistnienie strategicznych projektów rozwojowych związanych np. z projektowaniem, przygotowaniem oraz realizacją projektów związanych z budową nowych kopalń, np. dla kopalni Bzie-Dębina czy wsparcia projektów związanych z realizowanymi transakcjami zakupu i integracji przejmowanych firm {projekty typu Post Merger Integration (*Integracja po fuzji*), np. PBSz}, tj. działań związanych z przeprowadzeniem projektów integracyjnych w sferze architektury oraz zapewnieniem odpowiednio wsparcia IT;
- Optymalizacja zarządzania architekturą oraz optymalizacja kosztów rozwoju i eksploatacji/utrzymania środowiska IT/OT w GK JSW;
- Zapewnienie zdolności realizacyjnych oraz podniesienie jakości i efektywności procesów związanych ze świadczeniem wymaganego portfela usług IT.

Kluczowym założeniem przyjętym podczas tworzenia nowej Strategii IT/OT było to, że poszczególne zdefiniowane działania strategiczne IT/OT muszą wspierać kluczowe filary budowy Strategii biznesowej GK JSW. Dlatego podstawą do opracowania nowej Strategii IT/OT było zdefiniowanie kluczowych Filarów budowy Strategii biznesowej GK JSW przez IT. Każdy z Filarów określał obszar, w którym IT, realizując Strategię IT/OT dla GK JSW, powinien tworzyć wartość dodaną dla całości Grupy [Ozon 2019].

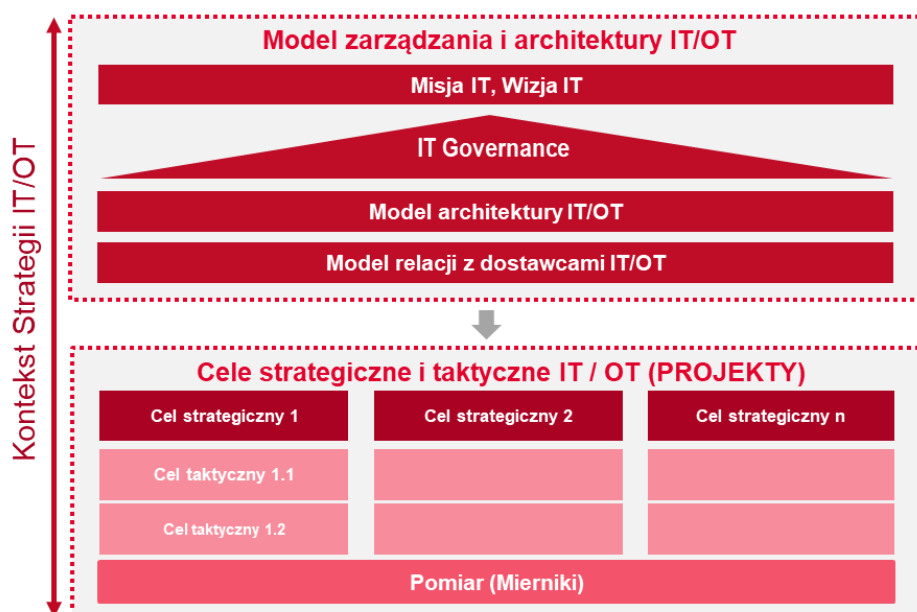
Jak już wspomniano powyżej, dotychczasowe Filary budowy strategii biznesowej GK przez IT skupiały się na zwiększeniu efektywności organizacji produkcji, efektywności procesów (w obszarach wsparcia, rozwoju oraz procesów zarządczych) oraz efektywności podejmowania decyzji, dając narzędzia umożliwiające osiągnięcie wymienionych celów. Jako fundament nowych działań wskazano Innowacyjność, która miała być podstawą podejścia oraz zastosowanych rozwiązań.

Fundamentem nowej strategii była sprawna organizacja IT, wyposażona w odpowiedni zestaw kompetencji, na którym budowany był zestaw zintegrowanych i zautomatyzowanych rozwiązań informatycznych, wspierających efektywności realizowanej produkcji, i procesów zarządzania oraz podejmowania decyzji, wspieranych przez nowe technologie. Zgodnie przyjętą koncepcją za kluczowe działania strategiczne w zaktualizowanej Strategii IT/OT Grupy JSW uznano następujące obszary strategiczne: bezpieczeństwo, integrację i automatyzację, technologie rozwojowe, organizację i kompetencje.

Zaktualizowane oczekiwania strategiczne oraz poza strategiczne definiujące oczekiwania względem IT oraz główne filary budowy Strategii biznesowej GK JSW stanowiły podstawę do redefinicji Misji i Wizji IT w GK JSW oraz ustalenia docelowego:

- modelu zarządczego IT Governance (*IT Zarządzanie*),
- modelu architektury IT/OT,
- modelu relacji z dostawcami usług i infrastruktury IT/OT,

jednym słowem do aktualizacji Strategii IT/OT w GK JSW S.A., która przekłada się na zaktualizowane Cele strategiczne i taktyczne oraz Portfel projektów strategicznych. Na rysunku 2.9. przedstawiono schematyczne powiązania poszczególnych elementów Strategii IT/OT.



Rys. 2.9. Kontekst Strategii IT/OT [Podsumowanie zarządca, 2017]

Dotychczasowa Misja obszaru IT/OT zakładała, że IT jest dostawcą usług najwyższej jakości, zgodnie z potrzebami i w bliskiej współpracy ze Spółkami GK JSW, w sposób efektywny kosztowo i z dążeniem do ciągłego doskonalenia funkcji IT.

Biorąc pod uwagę wzrastający poziom zawansowania technologicznego oraz dotychczasowych działań w obszarach IT/OT niezbędne stało się rozszerzenie Misji IT, gdyż stwierdzono, iż IT powinno przechodzić z roli usługowej do roli partnerskiej w kreowaniu pomysłów oraz wdrażaniu rozwiązań, służących do budowy wartości GK JSW, w związku z czym zaktualizowaną Misję IT GK JSW zdefiniowano tak [Ozon, 2019]: IT, współpracując ze Spółkami GK JSW, w modelu partnerskim, kreuje innowacyjne pomysły oraz dostarcza nowoczesne rozwiązania technologiczne IT/OT, podnoszące efektywność, jakość i bezpieczeństwo kluczowych procesów gospodarczych.

Dotychczasowa wizja IT/OT skupiona była na wsparciu obszarów biznesowych przez IT i wykorzystaniu innowacji zakładając, że IT aktywnie zwiększa wartość i efektywność GK JSW oraz zapewnia platformę i współtworzy innowacje. Biorąc jednak pod uwagę zmieniające się potrzeby biznesowe, postęp technologiczny oraz podnoszenie dojrzałości procesowej,

organizacyjnej oraz architektury IT/OT, zarówno po stronie biznesowej w GK JSW, jak i po stronie JSW ITS, niezbędne stało się zaktualizowanie również wizji IT/OT w GK JSW. W trakcie prowadzonych analiz zidentyfikowano bowiem, że wizja IT/OT powinna odnosić się w szerszym zakresie do kwestii zwiększenia integracji i wykorzystania danych telekomunikacyjnych (OT) do optymalizacji oraz automatyzacji całych procesów biznesowych w pełnym cyklu produkcji węgla i koks pomiędzy Spółkami w ramach GK JSW.

W związku z powyższym nową wizję IT i OT w GK JSW zdefiniowano w następujący sposób: IT aktywnie zwiększa wartość, efektywność i bezpieczeństwo GK JSW poprzez integrację i automatyzację procesów oraz innowacyjne rozwiązania IT/OT [Ozon, 2019].

Dotychczasowa Strategia IT/OT zakładała powołanie Biura CIO na poziomie JSW w celu scentralizowania zarządzania wszystkimi obszarami IT oraz projektem Strategii IT/OT. W ramach operacjonalizacji nowej Strategii IT/OT opracowano i wdrożono „Model zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w GK JSW”. Przyjęty 06 marca 2018 r. model zakładał powołanie Zespołu Informatyzacji w ramach Biura Inwestycji i Informatyzacji w JSW oraz Pełnomocnika ds. IT w GK JSW będącego jednocześnie Prezesem Zarządu JSW ITS (zaproponowana unia personalna pozwoliła uporządkować obszar IT i OT w GK JSW, poprzez przeniesienie kluczowych funkcji Biura CIO z poziomu JSW do JSW ITS co znacząco przyspieszyło proces decyzyjny) oraz współpracującego z Pełnomocnikiem ds. IT – Pełnomocnika ds. Łączności i Automatyki. Zaproponowany model pozwolił scentralizować i uporządkować podział kompetencji w ramach poszczególnych struktur w zakresie odpowiedzialności za realizację Strategii IT/OT. W celu koordynacji wszystkich działań związanych z realizacją nowej Strategii IT/OT uruchomiono Program Wdrożenia Strategii IT/OT, który zgodnie z założeniami Strategii IT/OT objął:

- pełen zakres zadań biznesowych w cyklu węgiel – koks (obejmujący zarówno procesy w obszarze górniczym oraz obszarze koksowniczym, jak również istotne procesy rozwojowe np. chemia, energetyka oraz odpowiednio procesy zarządcze i wsparcia),
- integrację rozwiązań z zakresu IT oraz OT,
- synergię rozwiązań w warstwie aplikacyjnej, wykorzystujących wdrożone już rozwiązania na poziomie infrastrukturalnym.

Program wdrożenia Strategii IT/OT był nadzorowany przez zaproponowaną Strukturę zarządczą oraz był prowadzony i monitorowany zgodnie z Metodologią prowadzenia projektów w GK JSW S.A.

### **2.3. Struktura zarządcza Programu wdrożenia Strategii IT/OT**

W celu zintegrowania i zwiększenia efektywności działań w ramach Strategii IT/OT oraz wprowadzenia jednoznacznej odpowiedzialności i rozliczalności za jej realizację, powołano struktury zarządzające programem wdrożenia Strategii IT/OT. Uznano za niezbędne reaktywowanie i uruchomienie Komitetu Sterującego, w którego skład weszli wybrani członkowie Zarządu JSW, kluczowi interesariusze biznesowi oraz osoby odpowiedzialne za Strategię i Rozwój, Inwestycje oraz Controlling Spółki.

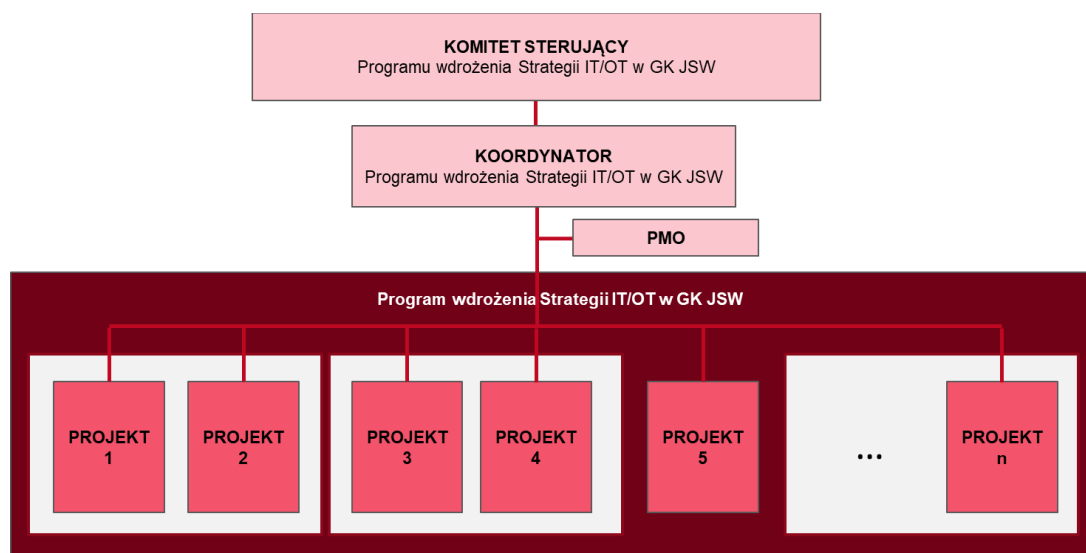
### 2.3.1. Zmiany organizacyjne w JSW S.A.

Dla usprawnienia działań prowadzonych w JSW w obszarze IT/OT powołano Koordynatora programu wdrożenia Strategii IT/OT. Koordynator programu koordynował całość działań operacyjnych i co najważniejsze zarządzał projektami strategicznymi. Dodatkowo dysponował wsparciem Biura Zarządzania Projektami (PMO – *ang. Project Management Office*), którego zakres obejmował:

- definiowanie standardów rozwiązań w obszarach IT oraz OT,
- zarządzanie zintegrowaną architekturą rozwiązań IT/OT,
- zarządzanie projektami strategicznymi (PMO) w ramach Programu,
- kontroling finansowy w zakresie projektów realizowanych ramach Programu.

Wdrożenie Strategii IT/OT w JSW wymagało stworzenia Biura Automatyki i Informatyki na poziomie JSW, które ostatecznie uporządkowało i skonsolidowało odpowiedzialność za wszystkie działania realizowane w tym obszarze w JSW. Dyrektor Biura Automatyki i Informatyki ostatecznie przyjął również rolę nadzorującego prace Zespołu Automatyki i Teletransmisji na szczeblu Centrali Spółki, koordynując realizowane działania, m.in. inwestycyjne w ramach wszystkich kopalń JSW S.A., poprzez ścisłą współpracę w tych obszarach z powołanymi Działami Automatyki w kopalniach (EDA), Zespołem CZAD oraz Zespołem Informatyki JSW S.A.

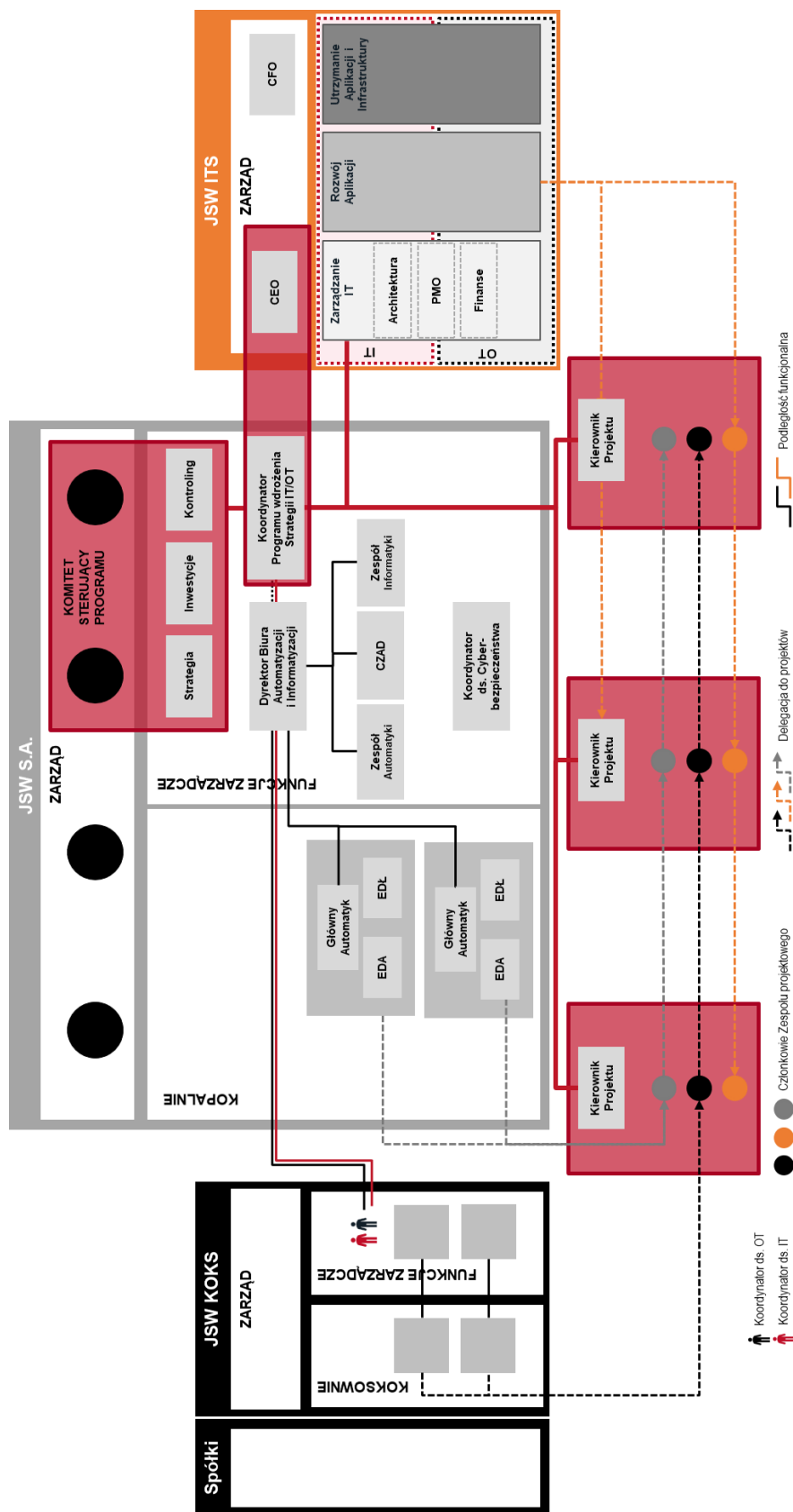
Na rysunku 2.10 przedstawiono model relacji pomiędzy Komitetem Sterującym programu wdrożenia Strategii IT/OT, Koordynatorem programu wdrożenia Strategii IT/OT, funkcją Zarządzania IT w JSW ITS jako Biurem wsparcia dla Koordynatora Programu wdrożenia Strategii IT/OT, Dyrektorem Biura Automatyki i Informatyki w JSW oraz kopalniach JSW zaangażowanych w realizację projektów strategicznych.



Rys. 2.10. Model relacji pomiędzy Komitetem Sterującym Programu wdrożenia Strategii IT/OT [Podsumowanie zarządcze, 2017]

Struktura ta unaocznia jak istotnym elementem skutecznego wdrożenia jest współpraca pomiędzy Koordynatorem Programu wdrożenia Strategii IT/OT, Dyrektorem Biura Automatyki i Informatyki oraz Koordynatorem ds. Cyberbezpieczeństwa w JSW S.A., w celu zapewnienia, że wymagania związane z bezpieczeństwem, w szczególności w obszarze cybertechnologii, będą odpowiednio wdrażane i realizowane w ramach projektów strategicznych w obszarze

cyberbezpieczeństwa. Na rysunku 2.11 przedstawiono schemat struktury zarządczej Programu wdrożenia Strategii IT/OT, nałożonej na strukturę organizacyjną GK JSW.



Rys. 2.11. Struktura zarządzania Programem wdrożenia Strategii IT/OT [Podsumowanie zarządcze, 2017]

### 2.3.2. Aktualizacja modelu zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w GK JSW

Obowiązujący do 2016 r. „Model zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w GK JSW”, skupiony był przede wszystkim na projektach IT, dlatego nowa strategia wymusiła jego zmianę i modyfikację w taki sposób, aby:

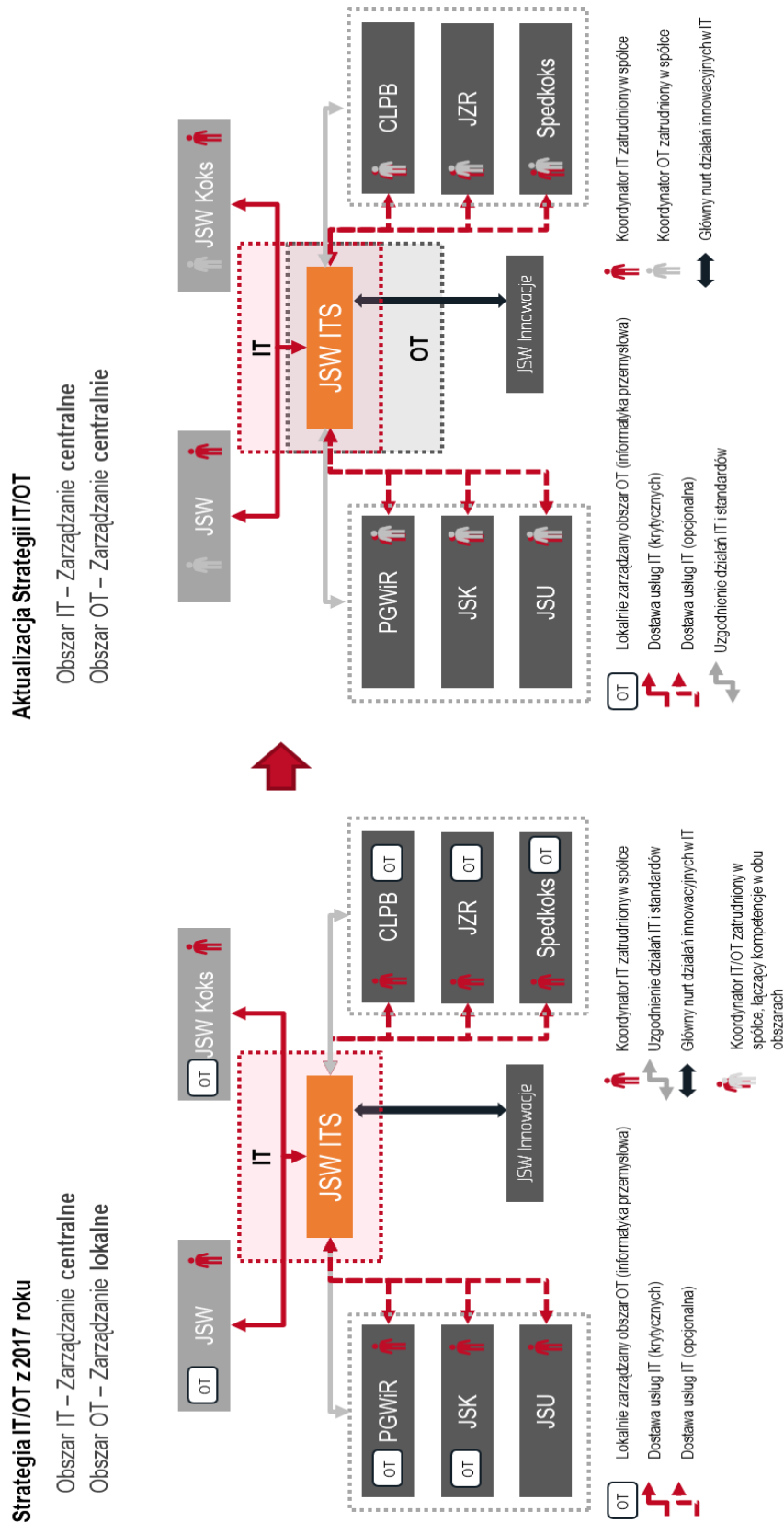
- rozszerzyć zakres jego obowiązywania, aby nie był skupiony w obszarze projektów IT, ale integrował obszary IT/OT;
- zdefiniować zakresy, podział kompetencji i odpowiedzialności pomiędzy obszarami IT oraz OT a także sposób rozliczania kosztów związanych z realizacją Strategii IT/OT;
- wprowadzić rozwiązania integrujące w zakresie koordynacji i zarządzania działaniami projektowymi dotyczącymi wszystkich projektów IT/OT w JSW S.A.;
- wprowadzić jednolity model rozliczania nakładów inwestycyjnych oraz kosztów związanych z realizowanymi projektami, utrzymaniem, serwisem oraz rozwojem wdrożonych rozwiązań IT/OT, w całej GK JSW.

W tym celu zdefiniowano zakresy odpowiedzialności i model działania jednostek organizacyjnych odpowiedzialnych za rozwiązania teleinformatyczne w kopalniach, tzn. dla działów EDA – Dział Automatyki oraz EDŁ – Dział Łączności, w relacji do projektów Strategii IT/OT, wydzielono w strukturach kopalni funkcję Głównego Automatyka będącego w strukturze organizacyjnej kopalni odpowiedzialnym za koordynację wdrażania Strategii IT/OT w procesach przemysłowych zakładu górniczego zwłaszcza pod ziemią. Dodatkowo, aby zapewnić scentralizowanie kompetencji oraz umożliwić odpowiednie planowanie i synchronizację prac w ramach programu wdrożenia Strategii IT/OT rozszerzono zakres kompetencji i odpowiedzialności JSW ITS.

Istotnym, jak się okazało z perspektywy czasu, było stworzenie na poziomie JSW Biura Automatyki i Informatyki, które skonsolidowało odpowiedzialność za wszystkie działania realizowane w obszarze IT/OT w GK JSW. Jego dyrektor nadzorował zarówno Zespół Automatyki jak i Teletransmisji, koordynując działania w ramach poszczególnych kopalń poprzez współpracę w tych obszarach z powołanymi: Głównymi Automatykami, CZAD oraz Zespołem Informatyki. Takie zaprojektowanie struktury organizacyjnej nowej Strategii IT/OT, w szczególności kooperacja koordynatora programu wdrożenia Strategii IT/OT oraz Dyrektora Biura Automatyki i Informatyki, współpracujących ściśle z Koordynatorem ds. cyberbezpieczeństwa JSW pozwoliło zapewnić ostateczny sukces realizowanego wdrożenia.

Na rysunku 2.12. przedstawiono zakładany model odpowiedzialności JSW ITS jako spółki centralizującej odpowiedzialność za obszar IT i OT w GK JSW, a na rysunku 2.13 wymagany kierunek zmian kompetencyjnych w ramach nowej struktury JSW ITS umożliwiający rozszerzenie kompetencji tej spółki w kluczowych obszarach tj. **zarządzania, rozwoju** oraz **utrzymania systemów** zarówno w domenie IT, jak również OT.

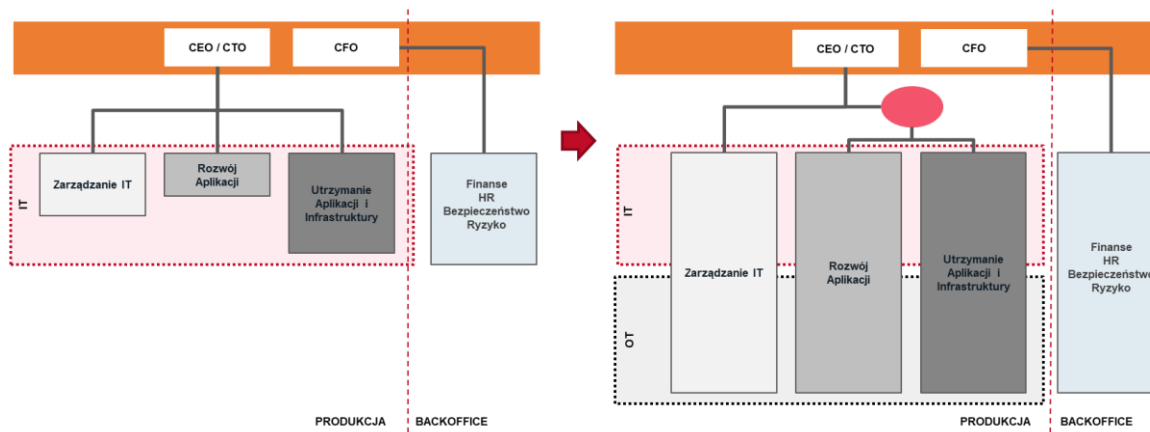
Rozwój kompetencji realizowany w JSW ITS powinien pokrywać zarówno obszar systemów IT oraz obszar systemów OT. Działania transformacyjne wymagają również wdrożenia skutecznych metod zarządzania personelem, w szczególności w zakresie usprawniania procesów rekrutacji oraz procesów utrzymania i lokalizacji pracowników.



Rys. 2.12. Proponowana Struktura obszaru IT/OT w 2019 roku [Podsumowanie zarządcze, 2017]

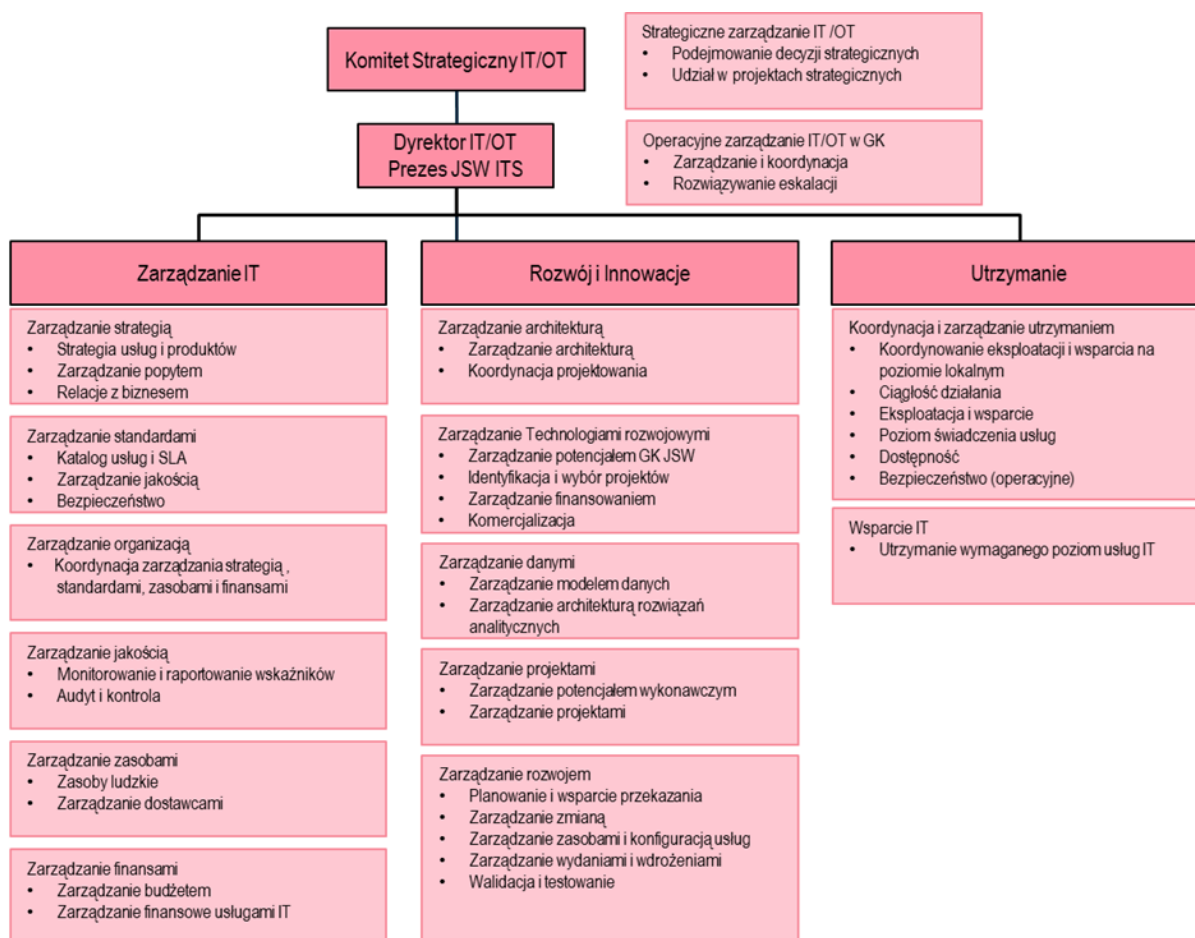
Strategia IT/OT z 2017 roku

Aktualizacja Strategii IT/OT



Rys. 2.13. Proponowany Model funkcjonalny kompetencji w ramach obszarów IT/OT wymagany do wdrożenia w JSW ITS [Podsumowanie zarządcze, 2017]

Na rysunku 2.14. przedstawiono zaproponowany w nowej Strategii IT/OT referencyjny model operacyjny kluczowych procesów biznesowych obsługiwanych przez JSW ITS w obszarach **Zarządzania**, **Rozwoju** oraz **Utrzymania** Systemów IT/OT.



Rys. 2.14. Referencyjny Model operacyjny i podział funkcjonalny [Podsumowanie zarządcze, 2017]



## 2.4. Ocena dojrzałości procesów IT/OT w GK JSW S.A.

W trakcie podejmowanych działań transformacyjnych kilkakrotnie dokonywano analiz stanu realizacji wdrożenia Strategii IT/OT dla GK JSW starając się za każdym razem ocenić dojrzałość procesów informacyjnych i technologicznych. Oceny dokonywano wykorzystując metodykę COBIT Implementing and Optimization a Information and Technology Governance Solution<sup>1</sup>, będącej międzynarodowym standardem badań i oceny bezpieczeństwa informacji w systemach informatycznych i telekomunikacyjnych. Wykonana analiza pozwoliła ustalić poziom dojrzałości procesów IT/OT w spółce oraz zarysować przyszłe oczekiwania względem sprawności i efektywności procesów IT/OT w przyszłości, tak aby możliwa była sprawna realizacja Strategii IT/OT i dalsze utrzymanie systemów na wymaganym przez Strategię poziomie.

Jak już wspomniano ostatnia ocena dojrzałości procesów IT/OT wykonana została w GK JSW w roku 2019, opierała się na modelu COBIT 4.1 i została dokonana dla wszystkich 34 procesów pogrupowanych w cztery obszary:

1. „Planowanie i Organizowanie”,
2. „Nabywanie i Wdrożenie”,
3. „Dostarczanie i Obsługa”,
4. „Monitorowanie i Ocena”.

Używając autorskiej metodyki wzorowanej na modelu CMM (Capability Maturity Model<sup>2</sup>), przyjęto następujące poziomy dojrzałości procesów:

1. proces zainicjowany/ad hoc,
2. proces powtarzalny i intuicyjny,
3. proces zdefiniowany,
4. proces zarządzany i mierzalny,
5. proces optymalizowany.

Każdorazowo ocena dojrzałości Strategii wynikała z samooceny wykonanej przez kadrę zarządzającą oraz kluczowych pracowników JSW ITS, a wyniki oceny podlegały dogłębnej analizie i porównaniu do ocen wykonanych w roku 2011 oraz 2014. W trakcie oceny dokonano również analizy oczekiwanego, docelowego poziomu dojrzałości procesów, które powinny zostać osiągnięte, aby JSW ITS była w stanie sprawnie realizować wymagania Strategii IT/OT dla GK JSW. Poniżej przedstawiono podsumowanie grup procesów w 4 obszarach analizy tj.:

### 1. Obszar PO – Planowanie i Organizowanie

- PO1 Definiowanie planów strategicznych IT.
- PO2 Definiowanie architektury informacyjnej.

---

<sup>1</sup> COBIT Wdrażanie i optymalizacja rozwiązania zarządzania informacjami i technologią. COBIT to skrót od ang. Control Objectives for Information and related Technology. Jest to pewien zbiór dobrych praktyk i wskazówek (w szczególności dla celów kontrolnych) ukierunkowanych na technologie informacyjne.

<sup>2</sup> CMM (*Capability Maturity Model*) to tzw. model dojrzałości zdolności. Jest to badanie stopnia sformalizowania, optymalizacji i tzw. „dojrzałości” pewnych procesów (np. informatycznych, zarządczych itp.)

- PO3 Określanie kierunków rozwoju technologicznego.
- PO4 Definiowanie procesów i organizacji IT oraz relacji z IT.
- PO5 Zarządzanie inwestycjami IT.
- PO6 Komunikacja celów zarządczych.
- PO7 Zarządzanie zasobami ludzkimi w IT.
- PO8 Zarządzanie jakością.
- PO9 Ocena i zarządzanie ryzykiem IT.
- PO10 Zarządzanie projektami.

## **2. Obszar A – Nabywanie i Wdrożenie**

- AI1 Definiowanie rozwiązań.
- AI2 Nabywanie i utrzymanie oprogramowania.
- AI3 Nabywanie i utrzymanie infrastruktury IT.
- AI4 Zapewnienie dokumentacji i szkoleń.
- AI5 Zakup zasobów informatycznych.
- AI6 Zarządzanie zmianami.
- AI7 Instalowanie oraz zatwierdzanie rozwiązań i zmian.

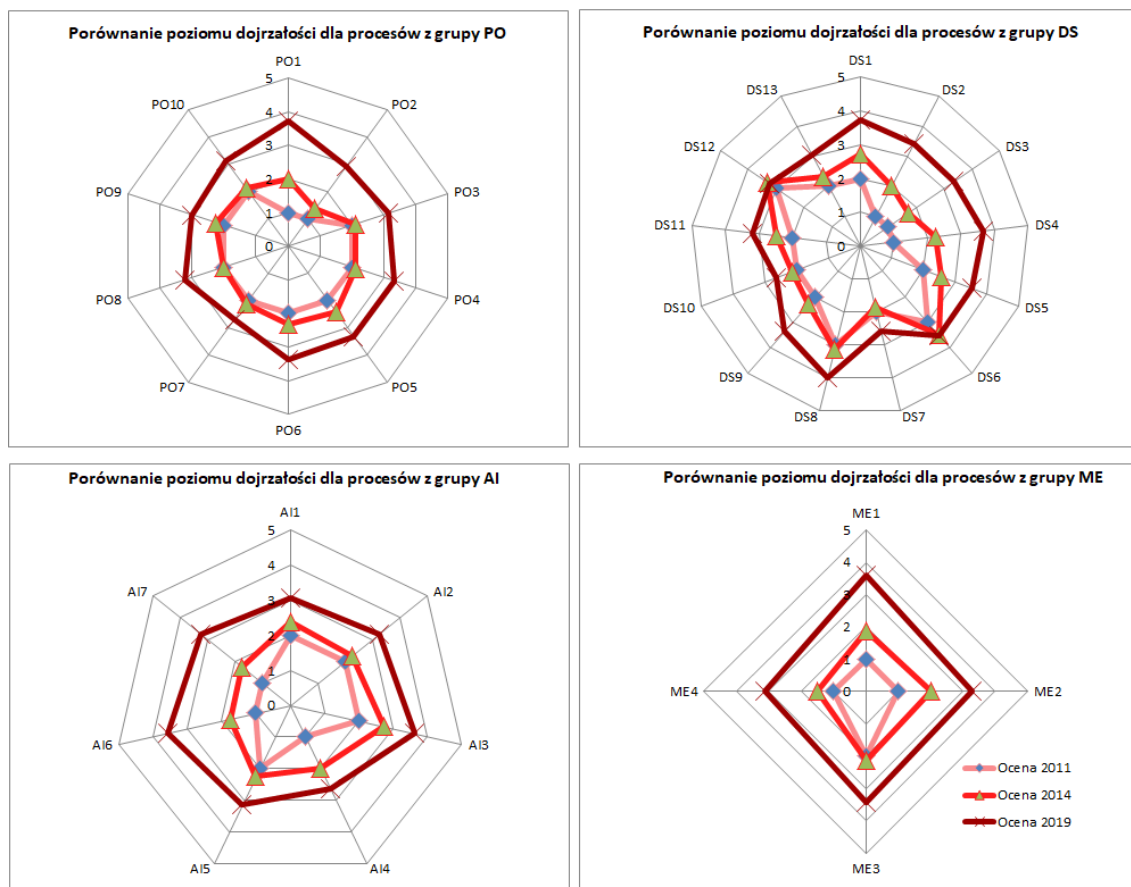
## **3. Obszar DS – Dostarczanie i Obsługa**

- DS1 Definiowanie i zarządzanie poziomami usług.
- DS2 Zarządzanie usługami dostawców.
- DS3 Zarządzanie pojemnością i wydajnością.
- DS4 Zapewnianie ciągłości usług.
- DS5 Zapewnianie bezpieczeństwa systemów.
- DS6 Identyfikacja i alokacja kosztów.
- DS7 Szkolenie użytkowników.
- DS8 Zarządzanie Service Desk i incydentami.
- DS9 Zarządzanie konfiguracją.
- DS10 Zarządzanie problemami.
- DS11 Zarządzanie danymi.
- DS12 Zarządzanie otoczeniem fizycznym.
- DS13 Zarządzanie operacjami.

## **4. Obszar ME – Monitorowanie i Ocena**

- ME1 Monitorowanie i ocena wskaźników IT.
- ME2 Monitorowanie i ocena kontroli wewnętrznej.
- ME3 Zapewnienie zgodności z zewnętrznymi wymogami.
- ME4 Zapewnienie ładu informatycznego (IT Governance).

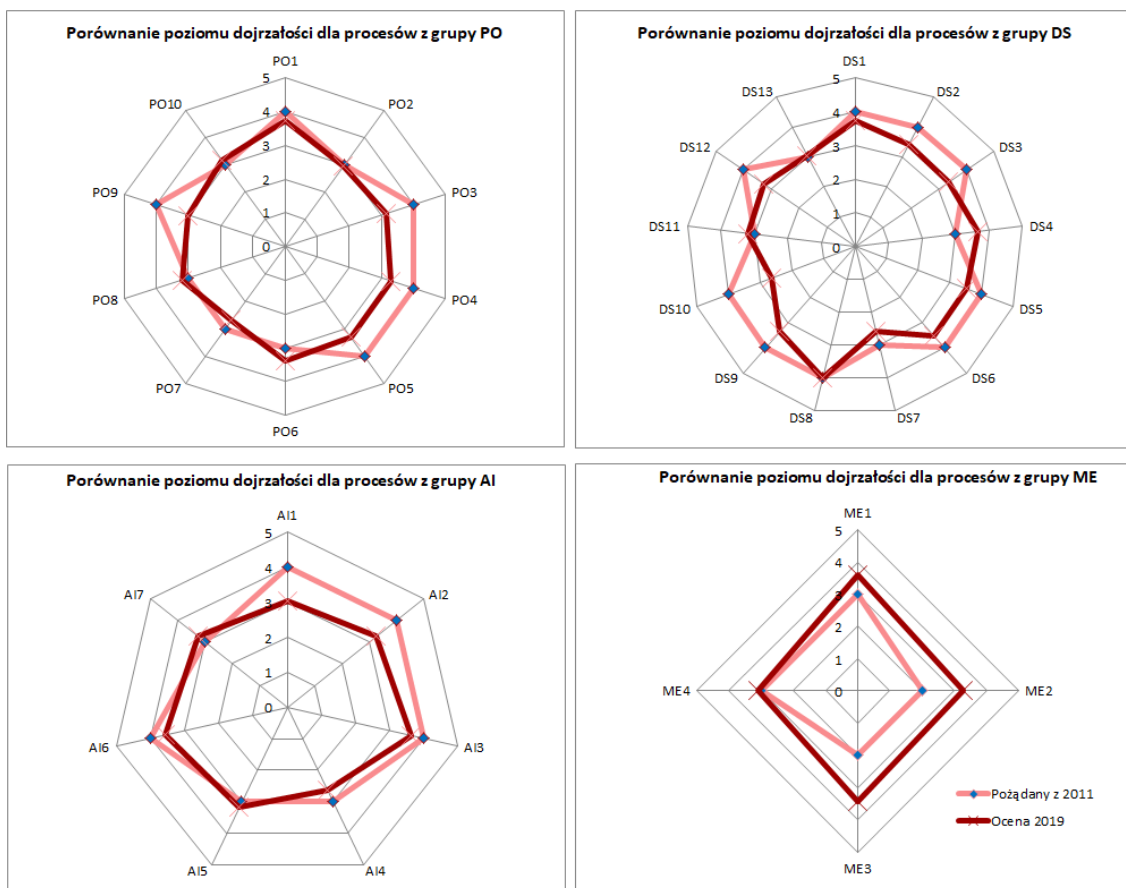
Na rysunku 2.15. zaprezentowano porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów w grupie **Planowanie i Organizowanie** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019.



Rys. 2.15. Porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów IT/OT w grupie **Planowanie i Organizowanie** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019 [Podsumowanie zarządcze, 2017]

Rysunek 2.15. prezentuje porównanie oceny pożądanego stanu procesów na przestrzeni lat 2011÷2019 roku. Na bazie wyników prowadzonych analiz, można wskazać, że w podanym okresie nastąpił postęp we wszystkich procesach grupy **Planowanie i Organizowanie**.

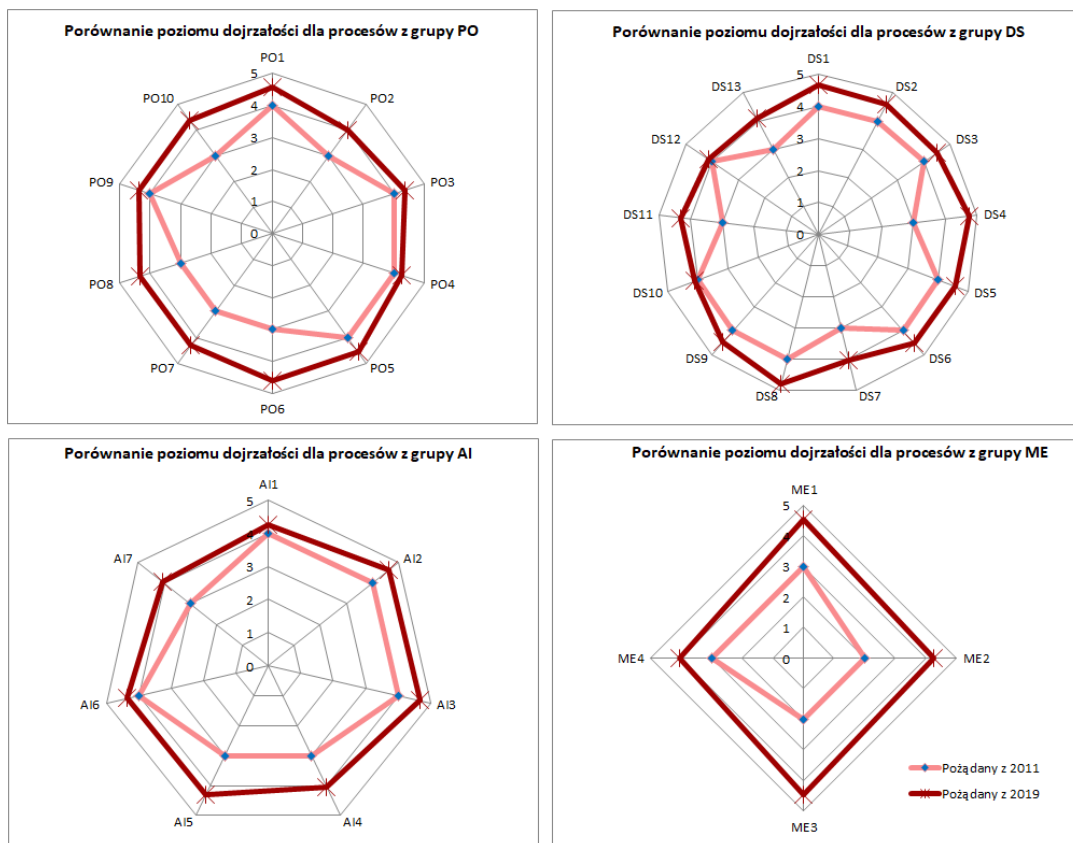
Na rysunku 2.16. zaprezentowano porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów w grupie **Nabywanie i Wdrożenie** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019. Poza wybranymi obszarami zdefiniowanymi w roku 2011 oczekiwany poziom dojrzałości procesów został osiągnięty już w roku 2019. Dla części procesów, w szczególności: PO3, PO4, PO5, PO9, DS9, DS10, DS12, AI1 oraz AI2 wymagane są jeszcze dalsze działania usprawniające, aby osiągnąć zakładany w 2011 roku poziom dojrzałości.



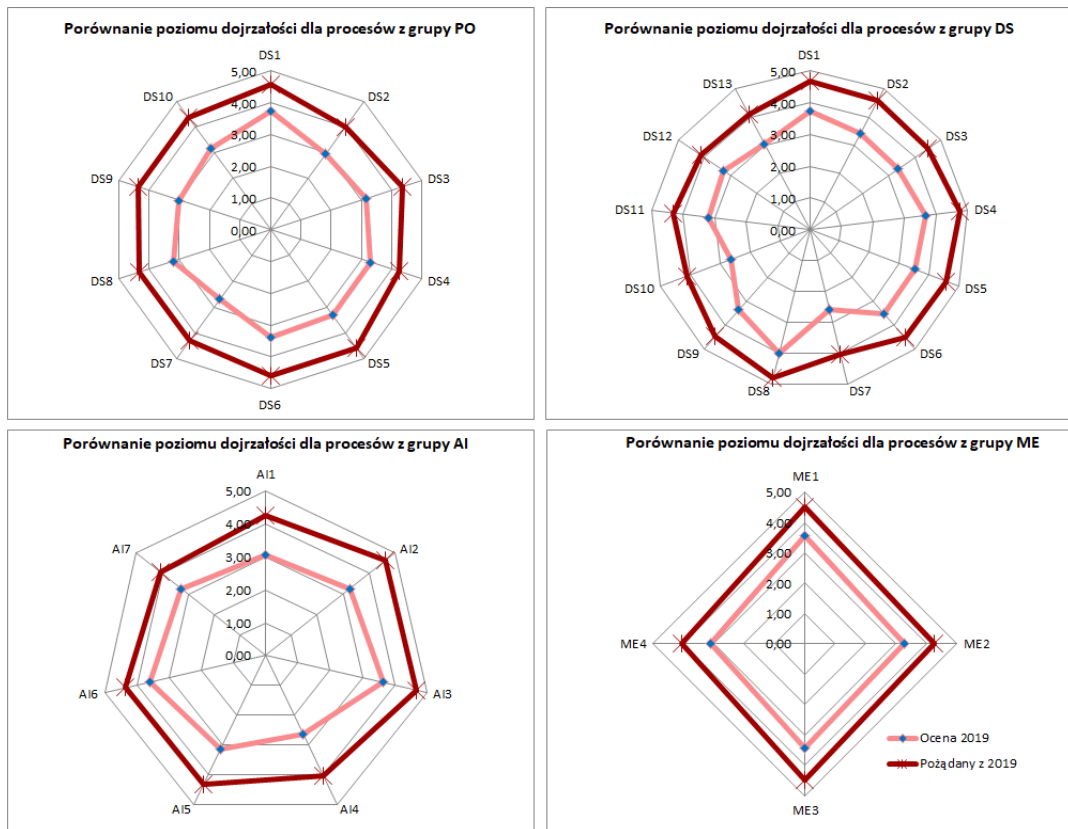
Rys. 2.16. Porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów IT/OT w grupie **Nabywanie i Wdrożenie** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019 [Podsumowanie zarządcze, 2017]

Na rysunku 2.17. zaprezentowano porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów w grupie **Dostarczanie i Obsługa** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019. Dodatkowo, zaprezentowano również w jaki sposób zmieniają się oczekiwania w odniesieniu do pożądanego poziomu dojrzałości procesów pomiędzy rokiem 2011 oraz 2019. Podniesienie uzyskanego poziomu dojrzałości podnosi oczekiwania w stosunku do poziomu pożądanego.

Na rysunku 2.18. zaprezentowano porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów w grupie **Monitorowanie i Ocena** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019.



Rys. 2.17. Porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów IT/OT w grupie **Dostarczanie i Obsługa** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019 [Podsumowanie zarządca, 2017]



Rys. 2.18. Porównanie zmiany poziomu dojrzałości poszczególnych procesów IT/OT w grupie **Monitorowanie i Ocena** na przestrzeni lat od roku 2011 do 2019 [Podsumowanie zarządca, 2017]

Powyższe wyniki wskazują, że na przestrzeni lat, w których wykonywane były analizy – systematycznie zwiększa się poziom dojrzałości procesów zarządzania IT/OT. Równocześnie, wraz ze wzrostem stopnia skomplikowania systemów oraz nowymi wymaganiami biznesowymi, wzrastają również oczekiwania w stosunku do sprawności i jakości obsługi w poszczególnych obszarach zarządzania IT/OT.

## 2.5. Ocena transformacji procesów IT/OT w GK JSW S.A. – podsumowanie działań

### 2.5.1. Zadania zrealizowane i przewidziane do realizacji

Celem budowy nowego modelu funkcjonalnego IT/OT w GK JSW jest zwiększenie efektywności organizacji w kontekście wyzwań związanych z planowanymi wdrożeniami systemów informatycznych dla segmentów biznesowych GK. Rozwój organizacji, przejścia nowych podmiotów do obsługi oraz szeroki wachlarz świadczonych usług wymagają sprofilowania jednostek organizacyjnych dla zapewnienia zwiększenia sprawności działania procesów IT/OT oraz satysfakcji użytkowników świadczonych usług (klientów biznesowych).

W ramach realizowanego projektu została przygotowana taka struktura jednostek organizacyjnych, która zapewnić będzie nowe możliwości rozwoju IT poprzez podnoszenie dojrzałości procesów i zwiększanie efektywności technologii, przy jednoczesnym zapewnieniu perspektywy rozwoju dla kadry IT/OT. W ramach przyjętego w Strategii portfela projektów zidentyfikowano następujące elementy transformacji procesów IT/OT w GK JSW ważne z punktu tworzenia nowego modelu funkcjonalnego:

- **zniwelowanie długu technologicznego** w zakresie infrastruktury technicznej oraz łączności, umożliwiające zastosowanie nowoczesnych technologii w sterowaniu i zarządzaniu procesami produkcyjnymi:
  - rozbudowano infrastrukturę sieciową poprzez wyłożenie około 170 km kabli światłowodowych oraz 165 km kabla promieniującego dla rozbudowy systemu łączności radiowej dla potrzeb transportu w wyrobiskach dołowych, uruchomiono cyfrową łączność radiową w wyrobiskach dołowych,
  - uruchomiono ciągły monitoring przepływu metanu w punktach pomiarowych oraz odmetanowania kopalń,
  - zmodernizowano sieci LAN i WAN, serwerownie zakładowe oraz wprowadzono możliwość świadczenia usług tzw. **chmury prywatnej** (która naśladuje model dostarczania usług informatycznych właściwy dla tzw. „chmur publicznych” ale znajduje się w całości wewnątrz sieci korporacyjnej i służy użytkownikom konkretnej organizacji),
  - opracowano standardy i narzędzia zbierania danych technologicznych oraz zbudowano hurtownie danych IT i OT,
  - wdrożono szereg rozwiązań w zakresie cyberbezpieczeństwa, zgodnie z przyjętym modelem architektury bezpieczeństwa technologicznego.
- **zniwelowanie długu technologicznego** w zakresie aplikacji, wspierających obszary biznesowe, które uniemożliwiały realizację bardziej zaawansowanych projektów

biznesowych, wspartych technologiami teleinformatycznymi oraz systematyczne zwiększanie wykorzystania IT w procesach biznesowych:

- uruchomiono aplikacje wspierające kluczowe funkcje realizowane przez poszczególne obszary biznesowe; działania te umożliwiły m.in. konsolidację i analizę danych finansowych całej GK JSW
  - uruchomiono CZAD,
  - zbudowano cyfrowe modele eksploatowanych złóż,
  - wdrożono lub znacznie rozwinięto następujące systemy teleinformatyczne:
    - jednolita Mapa Cyfrowa,
    - systemy SCADA / HADES,
    - system Ewidencja EX,
    - system PI System,
    - systemy ERP,
    - systemy Hyperion Planning oraz Hyperion Financial Management,
    - platforma analityczna raportowa – Business Objects,
    - system Zarządzania Portfelem Projektów – Microsoft Enterprise Project Management,
    - elektroniczny Obieg Dokumentów – EOD.
- **zniwelowanie długu technologicznego** w zakresie zbierania i przetwarzania danych, w celu zwiększenia sprawności i podniesienia efektywnej działania całej organizacji:
- standaryzacja i akwizycja danych technologicznych, uruchomienie CZAD,
  - wdrożenie hurtowni danych IT/OT oraz systemów analityczno-raportowych,
  - rozwój systemów analityczno-raportowych oraz dashboardów informowania kierownictwa (MIS),
  - budowa Centralnego Układu Kompensacji Mocy Biernej.

Dodatkowo zrealizowano szereg działań w zakresie wsparcia przez technologie IT/OT w dwóch strategicznych programach: Jakość i Efektywność.

### 2.5.2. Transformacja obszaru IT/OT – Program Jakość

W ramach Programu Jakość przyjęto Politykę Jakości oraz przeprowadzono prace, które umożliwiły po raz pierwszy w historii GK JSW wprowadzenie strategicznego zarządzania jakością produkcji i produktu. W tym celu:

- wdrożono systemy w obszarze **rozpoznania złóż węgla, opracowania map 3D**, zamodelowania oczekiwanych parametrów wydobywanego węgla, możliwości analizy najefektywniejszych ścieżek wydobywania – **rozbudowa Jednolitej Mapy Cyfrowej** o aspekty jakościowe i symulacyjne,
- podjęto działania w zakresie wdrożenia **systemu zarządzania badaniami jakościowymi LIMS** (*ang. Laboratory Information Management System*) w CLP-B (Centralne Laboratorium Pomiarowo-Badawcze, należące do GK JSW), które ma na celu zdefiniowanie ścieżek przepływu danych jakościowych pomiędzy systemami branżowymi,

digitalizację i zwiększenie częstotliwości procesu badania jakościowego produktów wydobywania i przetwórstwa, integrację zwrótną z modelami predykcyjnymi i zarządczymi – cyfryzacja procesów w CLP-B,

- rozpoczęto **budowę warstwy integracyjnej** by wszystkie dane jakościowe trafiały do centralnego systemu zarządzania jakością, w którym odbywać się będzie monitorowanie jakością złoża, planowanie produkcji i jakości, sterowanie i monitorowanie jakości procesów produkcyjnych oraz zintegrowane raportowanie w pełnym cyklu produkcyjnym, logistycznym i handlowym,
- opracowano, w oparciu o analizę wejść i wyjść danych, **standardów opomiarowania ZPMW** oraz dołu kopalni pod kątem uzyskania informacji o jakości i wielkości produkcji, które mają pozwolić na wybór **kluczowych parametrów sterowania procesami technologicznymi**. Szczególne wymagania techniczne dla systemu pomiarowego umożliwiły podjęcie działań w zakresie zaprojektowania i wdrożenia do produkcji taśmociągowej wagi tensometrycznej produkcji JZR - urządzenie IIoT (*ang. Industrial Interet of Things*) własnej produkcji.

### 2.5.3. Transformacja obszaru IT/OT – Program Efektywność

W ramach Programu Efektywność, w celu utrzymania w pełnej sprawności systemów monitoringu oraz infrastruktury teletransmisyjnej, utworzono **oddziały automatyki** we wszystkich kopalniach JSW. Dodatkowo, zrealizowano **monitoring wybranych procesów technologicznych**, właściwych z punktu utrzymania ruchu w kopalniach oraz przygotowano i wdrożono **CZAD**. Dodatkowo w JSW S.A. wdrożono rozwiązania organizacyjne oraz techniczne w zakresie:

- poprawy efektywności w zakresie **monitoringu pracy maszyn i urządzeń** w kopalniach,
- rozbudowy **sieci teletransmisyjnych – światłowodowych**,
- uruchomienia **monitoringu kluczowych maszyn** odpowiadających za proces produkcyjny,
- zautomatyzowania **zbierania i analizy danych produkcyjnych** – wiedza online nt. wydobytego materiału pod względem jakości, ilości, wagi, wraz z możliwością skorelowania z zapotrzebowaniem na mieszankę w koksowni – rozbudowa **systemu opomiarowania procesów produkcyjnych** oraz **instalacji wag i analizatorów** w procesach produkcyjnych, analiza parametrów pracy maszyn i urządzeń, które archiwizowane są na Centralnym Serwerze Danych Technologicznych, który jest nadrzędnym systemem przechowującym dane generowane w procesie produkcji,
- wprowadzenia analizy procesu wydobywania, zbierania spójnej informacji z systemów monitoringu oraz czujników przy kombajnach i strugach, zarządzania serwisem, przewidywania przestojów – tworzenie całościowego modelu integrującego **systemy klasy SCADA oraz CZAD**,
- wdrożenia **infrastruktury telekomunikacyjnej i systemów łączności**, umożliwiającej podniesienie bezpieczeństwa pracy pod ziemią, monitorowanie lokalizacji górników, informowanie o zagrożeniach i czynnikach zewnętrznych – rozbudowa systemów **RCP**, w tym aktywne informowanie górników np. na temat parametrów środowiskowych,



- rozpoczęcia działań mających na celu włączenie wszystkich etapów produkcji w jeden model danych podlegający ciągłemu zasilaniu danymi w czasie rzeczywistym, budowa modeli i **systemów analityczno-raportowych**.

#### 2.5.4. Ocena transformacji procesów IT/OT w Strategii 2019÷2024

W roku 2019 dokonana została kolejna analiza stanu realizacji Strategii IT/OT, która doprowadziła do przygotowania kolejnej aktualizacji Strategii IT/OT dla GK JSW. W przyjętych dokumentach dokonano przeglądu tzw. **filarów strategicznych**. Przyjęto, że fundamentem działań jest **sprawną organizacją IT**, wyposażoną w odpowiedni zestaw kompetencji, na którym budowany jest zestaw zintegrowanych i zautomatyzowanych rozwiązań informatycznych, wspierających **efektywność produkcji, procesów zarządzania oraz podejmowania decyzji**, wspierana przez Filary Bezpieczeństwa i wykorzystania technologii rozwojowych.

Dokonano również redefinicji **Misji i Wizji IT**, modelu zarządczego IT Governance, ustalenia docelowego modelu architektury IT/OT, relacji z dostawcami usług infrastruktury IT/OT oraz docelowo aktualizacji Strategii IT/OT w GK JSW. Dokonano aktualizacji przyjętych projektów strategicznych w czterech kluczowych obszarach strategicznych: bezpieczeństwo, integracja i automatyzacja, technologie rozwojowe oraz organizacja i kompetencje, na które składają się łącznie 33 projekty strategiczne oraz składających się na nie 61 projektów cząstkowych. W trakcie aktualizacji Strategii dokonano również weryfikacji założeń związanych z harmonogramem dotychczasowej realizacji projektów strategicznych przyjętych na lata 2019÷2024, która zakłada stworzenie docelowego modelu architektonicznego w czterech krokach:

- **Krok 1 i 2 – centralizacja IT i ujednoczenie infrastruktury IT/OT** – działania wykonane w ramach wcześniej zrealizowanych działań; projekty zrealizowane do tej pory w sferze organizacji, konsolidujące funkcje IT w ramach całej GK JSW oraz wykonane projekty związane z usunięciem luki technologicznej oraz ujednoczeniem i standaryzacją infrastruktury i danych;

- **Krok 3 – Digitalizacja kluczowych obszarów IT/OT** – w trakcie realizacji, objęte zaktualizowaną Strategią IT/OT; projekty digitalizacji poszczególnych kluczowych obszarów funkcjonalnych, wspierających podstawowe procesy biznesowe oraz działania w zakresie podniesienia poziomu bezpieczeństwa;

- **Krok 4 – Integracja i automatyzacja IT/OT** – do realizacji w przyszłości, objęte zaktualizowaną Strategią IT/OT; projekty integracji poszczególnych obszarów funkcjonalnych w celu umożliwienia optymalizacji procesowej i finansowej oraz automatyzacji procesów prowadzącej do zwiększenia wartości firmy.

#### 2.5.5. Ocena realizacji projektów strategicznych o Priorytecie Krytycznym

Projekty z priorytetem Krytycznym w największym stopniu wpłyną na zwiększenie efektywności procesów: produkcji, zarządzania i podejmowania decyzji oraz zwiększenie bezpieczeństwa ludzi. Krytyczny jest również obszar cyberbezpieczeństwa, ze względu na wzrastający poziom zintegrowania i zależności poszczególnych systemów IT/OT względem siebie.

- **Bezpieczeństwo Załóg Górniczych** – wybrano technologię, trwa przygotowanie dokumentacji przetargowej dla Ruchu Zofiówka.
- **Modernizacja RCP** – zakończono modernizację RCP na Ruchu Borynia i Zofiówka, trwają prace w KWK Budryk.
- **Cyberbezpieczeństwo** – w ramach projektu uruchomiono usługę bezpieczeństwa systemów teleinformatycznych oraz realizację wymagań ustawy z dnia 5 lipca 2018 r. o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa.
- **Zarządzanie zakupami** – uruchomiono platformę zakupową w JSW, JSW KOKS i JZR.
- **Zarządzanie projektami** – zakończono projekt związany z wdrożeniem systemu klasy EPM.
- **Zarządzanie dokumentami** – uruchomiono na platformie EOD obsługę wniosków inwestycyjnych, trwają prace nad wdrożeniem systemu do elektronicznego przesyłania dokumentów wewnątrz JSW i pomiędzy spółkami GK JSW.
- **Zarządzanie środkami produkcji** – II etap projektu zainicjowano w 2021 r. W ramach projektu przewiduje się przygotowanie zestawu dashboard'ów dotyczących podstawowych maszyn pracujących w kopalniach JSW. Wdrożono nową wersję autorskiej aplikacji do zarządzania urządzeniami budowy przeciwwybuchowej (Ewidencja EX).
- **Harmonogramowanie produkcji** – uruchomiono system Deswik, trwają prace nad jego integracją z innymi systemami.
- **Monitorowanie produkcji** – zakończono inwentaryzację wyposażenia ciągów transportowych ZPMW.
- **MIS** – CZAD z JSW ITS generuje dashboards zarządcze oraz operacyjne (ściany/przodki) na potrzeby głównych decydentów JSW. Rozpoczęto prace związane z wypracowaniem standardu oceny efektywności procesu drążenia wyrobisk chodnikowych – AKPiA.
- **Platforma integracji danych** – integracja danych na poziomie Hurtowni danych IT/OT oraz PI System.
- **Systemy OT** – wdrożenie specjalistycznych systemów zintegrowanych z czujnikami dla działów wentylacji i mechanicznego.
- **JSW SCADA** – uruchomiono system HADES, autorskie środowisko do wizualizacji i obsługi wybranych systemów produkcyjnych w JSW.
- **IT Governance** – wdrożono model zarządzania i nadzoru IT/OT w GK JSW.
- **Organizacja IT** – utworzono w JSW ITS nowe Centrum Kompetencyjne Zarządzania Procesami Biznesowymi, w trakcie organizacji jest Centrum Kompetencyjne Technologie Operacyjne.
- **Zasoby i kompetencje** – na bieżąco uzupełniane są zasoby kadrowe oraz prowadzone szkolenia pracowników.

#### 2.5.6. Ocena realizacji projektów strategicznych w GK JSW o Priorytecie Ważny

Projekty w Strategii IT/OT z priorytetem Ważny są równie istotne dla wzrostu efektywności procesów: produkcji, zarządzania i podejmowania decyzji, jak projekty z priorytetem Krytycznym, jednak ich realizacja jest w znacznym stopniu uzależniona od zdolności budżetowych GK JSW. Realizacja projektów z priorytetem Ważny wpłynie również na wzrost bezpieczeństwa operacyjnego, rozumianego jako zdolność do zapewnienia ciągłości

procesów produkcyjnych i operacyjnych. Strategia IT/OT wskazuje również jako Ważne prowadzenie działań w zakresie zapewnienia jakości i dojrzałości procesów związanych ze świadczeniem wymaganego portfela usług IT oraz stworzenia środowiska wspomagającego działania Agile (*pol. zwinny*) w obszarze biznesowym oraz IT/OT. Agile to zbiór zasad, a także sposób postępowania, który pozwala na elastyczność w działaniu, dostosowywanie działań do pojawiających się okoliczności i potrzeb, co prowadzi do sprawniejszego osiągnięcia celów.

- **Integracja bezpieczeństwa** – rozbudowano zespół Bezpieczeństwa Technicznego w JSW ITS, wdrażane są narzędzia klasy PAM, DLP oraz SIEM podnoszące poziom bezpieczeństwa technicznego i operacyjnego.
- **Bezpieczeństwo operacyjne** – monitoring wizyjny CCTV, umożliwiający obserwację miejsc szczególnie zagrożonych oraz strategicznych punktów ciągu technologicznego kopalń JSW. Prowadzony jest projekt wymiany centralnego systemu kopii bezpieczeństwa danych i systemów IT/OT.
- **Zarządzanie ryzykiem** – w 2021 r. planowane jest wdrożenie systemu zarządzania ryzykiem korporacyjnym w JSW.
- **Optymalizacja ERP** – wdrożono nowe systemy ERP w spółkach Carbotrans, PBSz i JSK. W przygotowaniu wdrożenia w JZR, PGWiR i JSW IT Systems.
- **Badanie jakości węgla i koksu** – rozpoczęto wdrożenie w spółce CLP-B systemu wspierającego prace laboratorium klasy LIMS. Trwają prace nad opracowaniem architektury systemu wspierającego kompleksowo zarządzanie jakością produktów w GK JSW. Prowadzone są prace nad automatyzacją w zakresie ciągłego pomiaru parametrów jakościowych urobku oraz pomiar jego wagi.
- **Zarządzanie zasobami** – trwają prace nad optymalizacją procesu zarządzania logistyką materiałową i nad nową wersją systemu „Wozy” wspierającego ten obszar.
- **Rozbudowa CZAD** – uruchomiony projekt ma na celu zwiększenie ilości prowadzonych analiz i generowanych raportów na podstawie nowych źródeł danych pochodzących z procesów technologicznych w JSW oraz rozwój kompetencji analitycznych w CZAD.
- **Infrastruktura dyspozytorni** – zmodernizowano Sztaby Akcji ratowniczej w KWK Borynia-Zofiówka. Opracowano projekty modernizacji dyspozytorni w KWK Pniówek i KWK Borynia-Zofiówka.
- **Agile** – wdrożenia autorskich aplikacji JSW ITS realizowane jest zgodnie z założeniami metodyk zwinnych.
- **Procesy IT** – wdrożony w JSW ITS Zintegrowany System Zarządzania oparty na normach ISO 20000 i ISO 27000 zapewnia ciągły monitoring i usprawnianie procesów IT.

### 2.5.7. Ocena działań w zakresie automatyzacji

W ramach realizacji tej Strategii w strukturach Biura Zarządu JSW powołane zostało Biuro Automatyki i Informatyki, w ramach którego zrealizowano następujące działania:

- standaryzacja procesów biznesowych realizowanych przez poszczególne zakłady,
- rozszerzanie zakresu analiz danych telekomunikacyjnych CZAD,

- poprawa cyberbezpieczeństwa, zarządzania bezpieczeństwem systemów informatycznych, bezpieczeństwa związanego z obostrzeniami Covid oraz optymalizacji kosztów,
- utworzenie działów EDA / EDŁ (monitorujących utrzymanie systemów nadzoru pracy maszyn i urządzeń, w tym sieci teletransmisyjnych i systemów informatycznych),
- utrzymanie Centrum Usług Wspólnych (dalej CUW),
- modernizacja systemów monitoringu wizyjnego CCTV, które monitorują procesy produkcyjne odpowiedzialne za wydobywanie, jak również miejsc związanych z zagrożeniami naturalnymi czy strategiczne punkty ciągów technologicznych,
- uruchomienie w kopalniach systemu pomiaru parametrów gazu w rurociągach odmetanowania,
- budowa Szkieletowego Węzła Teletransmisyjnego (SWTx), umożliwiającego zbieranie oraz dystrybuowanie danych pochodzących z monitoringu parametrów pracy urządzeń kompleksów ścianowych i chodnikowych.

Działania w zakresie rozwoju automatyki i informatyzacji miały na celu zwiększenie bezpieczeństwa oraz efektywności całego procesu produkcyjnego przy wykorzystaniu nowoczesnych technologii. Monitoring maszyn i urządzeń ma też bezpośredni wpływ na efektywność, pozwala na optymalizację zużycia energii oraz zmniejszenia mechanicznego zużycia maszyn i urządzeń. Bezpieczeństwo w tym zakresie rozumiane jest jako:

- bezpieczeństwo ciągłości działania (bieżący monitoring pracy i awarii maszyn, szybkość reakcji na zdarzenia, wizualizacja procesu produkcyjnego, możliwość sterowania w czasie rzeczywistym RTC - ang. *Real-Time Clock*),
- bezpieczeństwo pracowników – modernizacja systemów RCP, budowa systemu do zarządzania bezpieczeństwem załóg górniczych, automatyczny nadzór nad ruchem załogi w obszarach szczególnie zagrożonych,
- cyberbezpieczeństwo – coraz większe wykorzystanie technologii IT/OT w stosowanych maszynach powoduje konieczność stworzenia odpowiedniego systemu zarządzania i zabezpieczenia systemów OT.

### 2.5.8. Ocena działań w zakresie zarządzania jakością

W roku 2019 w JSW S.A. przyjęto Strategię oraz Politykę zarządzania jakością złoża i produktu, która dzięki cyfryzacji i integracji danych o złożu oraz planowaniu produkcji umożliwiła wprowadzenie zarządzania jakością produkcji i produktu, w pełnym cyklu produkcyjnym węgiel – koks oraz procesach handlowych. Wdrożenie i integracja procesów badań jakościowych, cyfrowe rozpoznania węgla złożowego i jego parametrów oraz oparte o tę informację, zautomatyzowane planowanie i harmonogramowanie produkcji i jakości pozwoliło na wprowadzenie sterowania produkcją i uzyskanie podniesionych, stabilnych parametrów węgla handlowego. Dzięki wdrożeniu i integracji systemów w obszarze zarządzania jakością, możliwe jest obecnie:

- modelowanie zarządzania i prognozowania produkcji oraz jej kluczowych parametrów, w celu uzyskania stabilnego poziomu jakości produkcji dla odbiorców węgla koksującego oraz producentów koksu,

- planowanie i zarządzanie pracami przygotowawczymi oraz wydobywaniem, aby uzyskiwać oraz utrzymywać wymagane poziomy parametrów fizykochemicznych produktu,
- realizacja selektywnego wydobywania poprzez sterowanie ilością oraz jakością urobku – wprowadzenie sterowania urobkiem o zróżnicowanych parametrach oraz procesu selektywnego wzbogacania,
- rozdzielenie strug produktu pod kątem jego jakości, na bazie ustalonych kluczowych parametrów jakościowych oraz zapotrzebowania rynku, w celu maksymalizacji cen zbytu – w roku 2020 uzyskano podwyżki cen węgla dostarczanych dla strategicznych dostawców, dzięki utrzymaniu stabilnego poziomu parametrów koksowniczych produkowanego węgla koksowniczego,
- wyeliminowanie zakupów węgla niskofosforowego spoza GK JSW.

Wyżej wymienione efekty, uzyskane dzięki informatyzacji i automatyzacji procesów zarządzania jakością złoża i produktu, doprowadziły do stabilizacji kluczowych parametrów kontraktowych oraz wzrostu uzyskiwanych cen na styku z kluczowymi klientami. Digitalizacja oraz automatyzacja zbierania danych jakościowych w pełnym cyklu produkcyjnym umożliwiła również monitorowanie i zarządzania procesami reklamacyjnymi.

## **2.6. Podsumowanie kierunków strategicznych zarządzania obszarem informatyki i automatyki przemysłowej w GK JSW**

Efektywność i jakość usług informatycznych w znacznej mierze zależy od doskonałości procedur eksploatacyjnych i procedur wsparcia dla systemów informatycznych stanowiących podstawę usług. Naturą tych procedur jest ich skuteczność w krótszej perspektywie czasowej. Zabezpieczeniem efektywności i jakości usług w dłuższej perspektywie czasowej są aktywności związane z utrzymaniem systemu w kondycji zgodnej z wymaganiami strony biznesowej. Podsumowując, transformację cyfrową w GK JSW, należy zauważyć, iż była realizowana w następujących etapach:

### **Etap 1 – Centralizacja IT**

Pierwszym krokiem realizacji Strategii IT/OT była centralizacja IT i działania konsolidujące funkcje IT w ramach całej GK JSW. Od roku 2010 prowadzono działania centralizujące funkcje IT w JSW w dedykowanej spółce celowej. Obsługa w zakresie IT kolejnych spółek dołączanych do GK JSW była powierzana Spółce Advicom. W 2011 roku w spółce tej wdrożono Zintegrowany System Zarządzania w oparciu o normy ISO 27000 i ISO 20000. W roku 2015 został zrealizowany projekt transformacji funkcjonowania Spółki Advicom. W nowym modelu funkcjonalnym usługi IT dostarczane są przez Centra Kompetencyjne we współpracy z zespołami wsparcia lokalnego i organizacyjnego.

### **Etap 2 – Wdrożenie jednolitej infrastruktury IT/OT**

W kolejnych latach realizowano głównie projekty związane z usunięciem luki technologicznej oraz ujednoczeniem i standaryzacją warstwy infrastruktury i danych. W pierwszej kolejności objęły one obszar IT, a od roku 2017 również OT. Główne projekty związane były z budową infrastruktury sieci LAN i WAN, budową podstawowego i rezerwowego Centrum Przetwarzania Danych, wdrażaniem Hurtowni Danych IT oraz

narzędzi Business Intelligence. Zbudowana została platforma konsolidacji danych ze spółek GK JSW na poziomie Biura Zarządu i Centrum Usług Wspólnych.

Od roku 2017 rozbudowywano infrastrukturę sieciową pod ziemią i w obszarach bezpośrednio związanych z produkcją. Zbudowano hurtownię danych OT oraz wdrożono narzędzia do zaawansowanej analityki danych. Opracowano też standardy w zakresie transmisji i bezpieczeństwa danych.

### **Etap 3 – Digitalizacja kluczowych procesów IT/OT**

Trzecim krokiem jest realizacja projektów, które mają na celu digitalizację poszczególnych kluczowych obszarów funkcjonalnych, wspierających podstawowe procesy biznesowe oraz działania w zakresie podniesienia poziomu bezpieczeństwa. Główne projekty realizowane w tym okresie to: modelowanie złoża i harmonogramowanie produkcji, elektroniczny obieg dokumentów, rozbudowa CZAD, uruchomienie systemów ERP, uruchomienie narzędzi wspierających zarządzanie projektami i programami, standaryzacja systemów SCADA, model planowania w GK JSW, bezpieczeństwo załóg górniczych, rozbudowa systemów cyberbezpieczeństwa. Kluczowe projekty do dokończenia realizacji w celu zrealizowania Etapu 3 Strategii IT/OT w GK JSW:

- **Bezpieczeństwo załóg** – wdrożenie systemu zapewnienia bezpieczeństwa załóg górniczych pod ziemią kopalni. W pierwszej etapie w Ruchu Zofiówka.
- **Monitorowanie produkcji** – przewiduje się przygotowanie zestawu automatycznych dashboard'ów dotyczących podstawowych maszyn pracujących w kopalniach JSW.
- **JSW SCADA** – rozwój autorskiego systemu HADES do wizualizacji i sterowania wybranych procesów produkcyjnych.
- **Cyberbezpieczeństwo** – rozwój organizacji i systemów bezpieczeństwa technicznego.
- **Infrastruktura dyspozytorni** – usprawnienie pracy dyspozytorni poprzez zastosowanie nowych standardów technologicznych (infrastrukturalnych) oraz poprawę jakości wizualnej i komfortu pracy pracowników.
- **Zarządzanie dokumentami** – cyfryzacja obsługi dokumentów w kolejnych procesach biznesowych na platformie EOD.
- **Badanie jakości węgla i koksu** – automatyzacja w zakresie ciągłego pomiaru parametrów jakościowych produkcji.

### **Etap 4 – Integracja i automatyzacja IT/OT**

Czwartym krokiem jest realizacja projektów w zakresie integracji poszczególnych obszarów funkcjonalnych w celu umożliwienia optymalizacji procesowej i finansowej oraz automatyzacji procesów prowadzącej do zwiększania wartości firmy. Projekty realizowane w tym kroku w pierwszej kolejności muszą być ukierunkowane na zintegrowanie zarządzania bezpieczeństwem oraz integracją i monitorowaniem procesów. Następnie, możliwe będzie uruchomienie projektów prowadzących do wdrożenia systemów optymalizujących oraz automatyzujących procesy biznesowe w kluczowych obszarach strategicznych.

Podjęte decyzje oraz zrealizowane działania transformacyjne pozwoliły na zbudowanie efektywnego i nowoczesnego modelu działania organizacji IT w GK JSW, który aktywnie wpływa na wzrost wartości, efektywności i bezpieczeństwa GK JSW poprzez zwiększoną integrację i automatyzację procesów oraz innowacyjne rozwiązania IT/OT w całym cyklu produkcyjnym i handlowym. Digitalizacja i integracja kluczowych procesów gospodarczych umożliwia już dzisiaj podnieść efektywność, jakość i bezpieczeństwo działania GK JSW.

Spółka JSW IT Systems, działa dzisiaj zgodnie z przyjętą Misją, jaką jest „kreowanie w modelu partnerskim, we współpracy ze Spółkami GK JSW, innowacyjnych pomysłów oraz dostarczanie nowoczesnych rozwiązań technologicznych IT/OT, podnoszących efektywność, jakość i bezpieczeństwo kluczowych procesów gospodarczych”.

Przy zatrudnieniu na koniec roku 2021 - 245 osób (wzrost od roku 2011 o 71 osób), Spółka obsługuje obecnie 20 podmiotów należących do GK JSW, w tym 19 na podstawie umów SLA (*ang. Service Level Agreement*). Dostarcza też towary i usługi do 11 podmiotów z poza GK JSW, spółek, które zostały wyłączone z GK JSW w wyniku przekształceń własnościowych lub które ściśle współpracują z GK JSW.

### 3. Centrum Zaawansowanej Analityki Danych (CZAD JSW 4.0) - koncepcja organizacyjno-techniczna, rola i znaczenie w realizacji idei INTELIGENTNEJ KOPALNI JSW 4.0

*Artur Dyczko*

Sytuacja na rynku surowców mineralnych, coraz większa głębokość zalegania złóż, sprawiają, że umiejętności zastosowania prawidłowych metod do rozwiązywania niejednorodnych, złożonych problemów planistycznych i optymalizacyjnych stanowi zasadniczą kwestię w walce o wzrost efektywności prowadzonego procesu wydobywczego.

Zmieniające się nieustannie otoczenie powoduje, że procesy wymiany oraz przetwarzania informacji stanowią coraz bardziej istotny element działalności biznesowej, mający znaczący wpływ na pozycję rynkową przedsiębiorstwa górniczego, a co za tym idzie i jego konkurencyjność.

W maju 2017 roku w ramach opracowywania nowej Strategii GK JSW na lata 2018÷2030 powołano do życia **Program EFEKTYWNOŚĆ**, którego głównym założeniem Zarząd Spółki uczynił wdrożenie szeregu rozwiązań techniczno-organizacyjnych o charakterze innowacyjnym mających prowadzić do wzrostu efektywności wydobywania, przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa ludzi pracujących pod ziemią i minimalizacji negatywnego wpływu prowadzonej działalności na środowisko [Ozon, 2017].

Działania te miały wpłynąć zwłaszcza na poprawę elastyczności funkcjonowania Grupy w takich obszarach jak:

– Obszar organizacyjny:

- Przekształcenie GK JSW w organizację zarządzaną projektowo. Budowa kultury zarządzania projektami w Grupie. Wdrażanie nowoczesnych metod zarządzania projektami we wszystkich obszarach Grupy. Opracowanie i rozwijanie kompetencji, metodyk i standardów zarządzania projektami w Grupie.
- Powołanie na poziomie Zarządu Spółki w Biurze Inwestycji, Strategii i Rozwoju, Zespołu Zarządzania Projektami i Standaryzacji.
- Utworzenie na poziomie Zarządu Spółki Biura Zarządzania Jakością GK odpowiedzialnego za budowę i utrzymanie centralnego modelu geologicznego złoża wraz z harmonogramami strategicznymi eksploatacji.
- Powołanie na poziomie Zarządu Spółki Biura Odmetanowania i Zarządzania Mediami Energetycznymi wraz z budową na kopalniach struktur odbudowujących po ponad 25 latach własne kompetencje w procesie odmetanowania kopalń.
- Powołanie na poziomie Zarządu Spółki Centrum Zaawansowanej Analityki Danych CZAD JSW 4.0. wraz z utworzeniem na wszystkich kopalniach Oddziałów Automatyki (EDA), w celu rozbudowy i utrzymania systemów monitoringu parametrów pracy maszyn i urządzeń w pełnej sprawności.
- Utworzenie na kopalniach JSW koordynatorów ds. transportu.



- Zmiana zakresu działań Rady Dyrektorów, w celu poprawy jakości komunikacji kluczowych decydentów w Spółce.
  - Powołanie zespołów procesowych w celu wymiany doświadczeń pomiędzy zakładami w poszczególnych elementach procesu produkcyjnego.
  - Prowadzenie szkoleń specjalistycznych pogłębiających wiedzę załogi pracującej w przodkach ścianowych i chodnikowych.
- Obszar Techniczny:
- Wzrost postępów robót górniczych.
  - Poprawa układu maszyn i urządzeń wyposażenia przodkowego.
  - Wykonywanie samodzielnej obudowy kotwowej kombajnem Bolter Miner.
  - Upowszechnienie technologii wykładki mechanicznej i kotwienia w celu poprawy stateczności wyrobisk oraz zwiększenia postępów przodków.
  - Zwiększenie ilości utrzymywanych wyrobisk przyścianowych.
  - Monitoring wyrobisk korytarzowych w samodzielnej obudowie kotwowej.
  - Rozbudowa magistrali światłowodowych na dole kopalń.
  - Wprowadzenie dołowej cyfrowej łączności mobilnej z zastosowaniem przewodu promieniującego w kopalniach Spółki.
  - Budowa systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym JSW S.A. w aspekcie stabilizacji i poprawy jakości urobku oraz maksymalizacji efektów ekonomicznych.
  - Budowa systemu monitoringu ciśnienia w sekcjach obudowy zmechanizowanej (w pierwszej kolejności dla nadzoru ruchu kluczowych, „trudnych” ścian).
  - Uruchomienie Programu Bezpieczeństwo Załóg Górniczych mającego docelowo wypracować dla Zarządu JSW rekomendacje dotyczące wyboru nowoczesnych rozwiązań, w celu istotnej poprawy standardów łączności, identyfikacji oraz monitoringu pracowników przebywających pod ziemią.
  - Doposażenie kopalń JSW w zakresie transportu ludzi, materiałów, maszyn i urządzeń.
  - Skrócenie czasu dojścia załogi do przodków eksploatacyjnych – obszar transportu.
  - Zwiększenie ujęcia i zagospodarowania metanu.
  - Poprawa komfortu pracy załóg górniczych (klimatyzacja).
  - Integracja monitoringu – Centralny Serwer Danych Technologicznych.
  - Opracowanie Standardu komunikacji IT/OT w Grupie Kapitanowej JSW.
  - Poprawa efektywności prowadzonych robót przygotowawczych i zbrojeniowo-likwidacyjnych.
- Obszar Majątku:
- Wsparcie dla inwestycji infrastrukturalnych i proefektywnościowych.

- Poprawa procesu zarządzania planowaniem inwestycji w stosunku do bieżących i oczekiwanych wymagań związanych z działalnością Grupy JSW.
- Ocena stanu technicznego majątku, zwiększenie czasu dyspozycyjnego oraz czasu pracy kombajnów ścianowych – transformacja obszaru IT/OT.
- Uruchomienie ciągłej inwentaryzacji kluczowych środków produkcji.
- Optymalizację zarządzania majątkiem produkcyjnym (pozyskanie i wykorzystanie).
- Rozszerzenie działalności produkcyjnej i unifikacja sprzętu w ramach JZR.
- Wykorzystanie posiadanego potencjału majątku kopalń (maszyn i urządzeń) w celu optymalnego ich wykorzystania we wszystkich zakładach górniczych Spółki.
- Całokształt działań związanych z doborem maszyn i urządzeń w celu osiągnięcia zadań produkcyjnych.
- Modernizacja transportu załogi, urobku, maszyn, urządzeń i materiałów – ujednoczenie systemu logistycznego, eliminacja wąskich gardeł.
- Modernizacja i optymalizacja sieci odstawy urobku oraz transportu pracowników.

Tak zdefiniowane główne obszary funkcjonowania Spółki wpłynęły bezpośrednio na zogniskowanie kluczowych inicjatyw programu wokół czterech dźwigni wartości Grupy Kapitałowej JSW, tj.: poprawy efektywności operacyjnej, efektywności kosztowej, efektywności inwestycyjnej oraz poprawy bezpieczeństwa załóg górniczych, stanowiących istotę powołanego do życia programu **INTELISTENTNA KOPALNIA JSW 4.0** – flagowej koncepcji rozwoju obejmującej transformację Grupy Kapitałowej JSW w kierunku Przemysłu 4.0. W wyniku jej realizacji pokonano wiele barier w zakresie funkcjonowania systemów informacyjnych, opracowano i wdrożono spójną architekturę systemu informacyjnego, skutkującą standaryzacją procesów ewidencji i przetwarzania danych z zastosowaniem metod tzw. „inteligencji obliczeniowej”, co pozwoliło wydobyć z danych przydatną i zrozumiałą wiedzę, wspomagającą podejmowanie decyzji, m.in. na poziomie planowania strategicznego, taktycznego i operacyjnego. Obecnie w JSW to właśnie ta wiedza stanowi podstawowy zasób przedsiębiorstwa decydujący o możliwości inteligentnego funkcjonowania w zmieniającej się sytuacji tak górniczo-geologicznej, jak i biznesowej [Ozon, 2017].

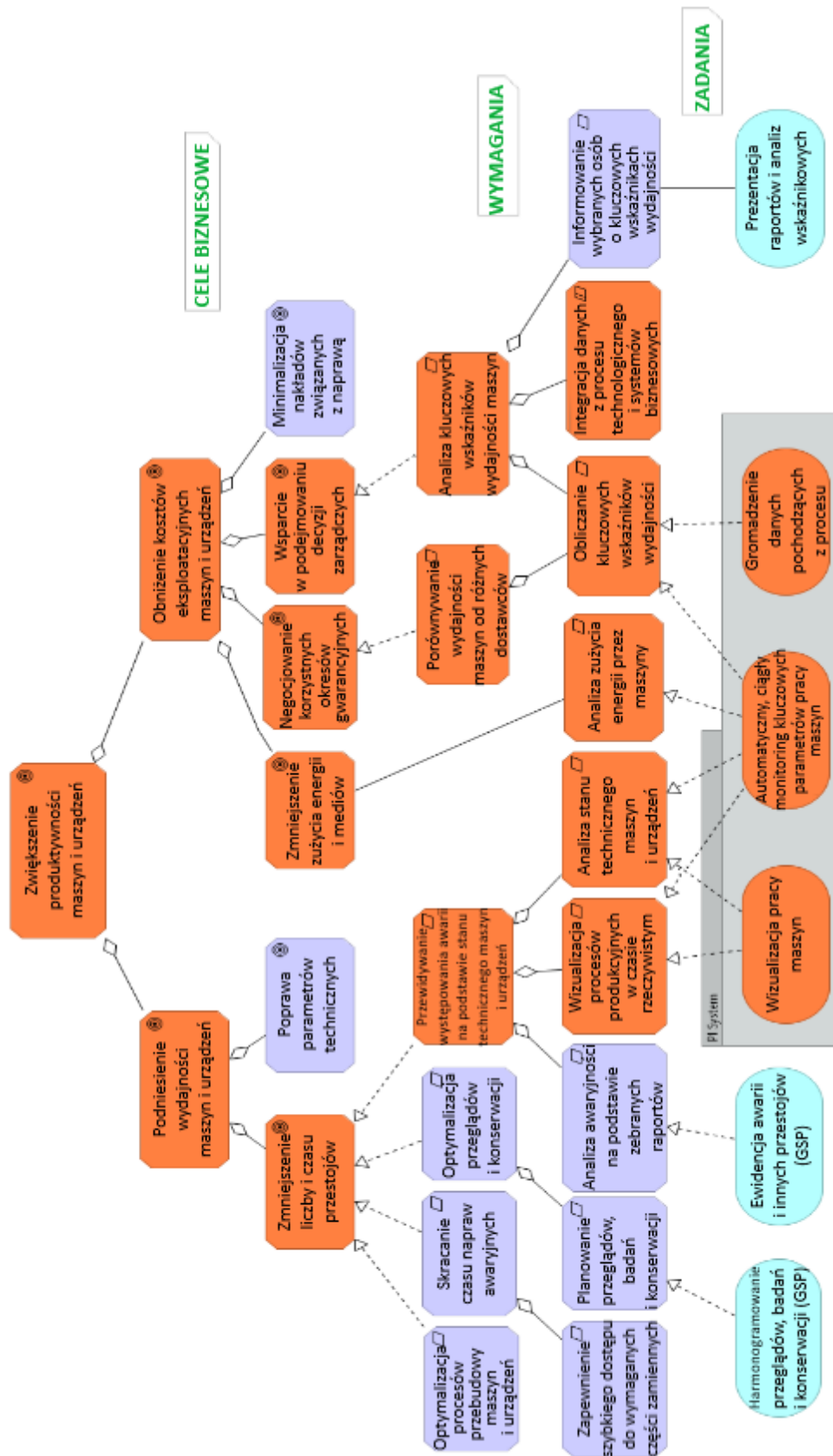
Realizacja w jastrzębskich kopalniach idei INTELISTENTNEJ KOPALNI JSW 4.0 utożsamiana od początku była z automatyzacją procesów produkcyjnych i rozbudową systemów monitoringu. Było i jest to działanie uzasadnione i pożądane, przyczynia się bowiem do zwiększenia dostępnego poziomu informacyjnego wewnątrz Grupy oraz skutkuje wzrostem bezpieczeństwa pracy. Paradoksalnie jednak spotęgowanie ilości danych w systemie informacyjnym przedsiębiorstwa, może być przyczyną powstania chaosu informacyjnego. Chęć przeciwdziałania temu zjawisku prowadzić może skądinąd do separacji informacji dostępnych w systemach technicznych z ich zastosowaniem wyłącznie w zakresie wsparcia kontroli operacyjnej. W JSW S.A. od początku panaceum na wszelkie obawy dotyczące ilości danych i ewentualnego chaosu informacyjnego, uczyniono powołanie do życia i wykreowanie nowoczesnego **Centrum Zaawansowanej Analityki Danych**, powszechnie funkcjonującego w świadomości pracowników GK JSW jako **CZAD JSW 4.0**.

Oficjalnie nowopowstałą komórkę organizacyjną uruchomiono w czerwcu 2017, definiując genezę jej powstania wokół procesów monitorowania i zarządzania wszelkimi działaniami mającymi docelowo zwiększyć produktywność realizowanego procesu produkcyjnego w Spółce, a zwłaszcza monitorowania pracy maszyn i urządzeń w czasie rzeczywistym oraz wdrażanie filozofii proaktywnego utrzymania ruchu.

Wstępnych korzyści wynikających z utworzenia w strukturach GK JSW **Centrum Zaawansowanej Analityki Danych (CZAD JSW 4.0.)** Zarząd JSW S.A. upatrywał w [Ozon, 2017]:

- Poprawie efektywności zarządzania środkami produkcji oraz wsparcie działań mających kluczowe znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesu produkcyjnego i zarządzania przedsiębiorstwem, przy wykorzystaniu dostępu do pełnej informacji zawartej w systemach biznesowych i technicznych, bazujących na monitoringu pracy maszyn i urządzeń w czasie rzeczywistym.
- Optymalizacji procesów technologicznych i biznesowych na podstawie analizy wartości wskaźników wydajności wyliczonych na podstawie danych bieżących i historycznych.
- Pozyskaniu spójnej informacji o stanie technicznym maszyn i urządzeń pozwalającej na ocenę efektywności zarządzania majątkiem.
- Zmniejszeniu kosztów utrzymania kluczowych maszyn i urządzeń poprzez zmniejszenie ich awaryjności.
- Zmniejszeniu zużycia energii i innych mediów poprzez wprowadzenie optymalizacji w procesie wydobywania, transportu i przeróbki węgla na bazie nadążnych układów sterowania.
- Możliwości zastosowania elementów predykcyjnego utrzymania ruchu polegającego na prognozowaniu przyszłych zdarzeń na podstawie analizy bieżących danych oraz danych historycznych przy wykorzystaniu metod diagnostycznych.
- Możliwości rozwoju procesów eksploracji danych (*ang. Data mining*) w oparciu o wizualizacje, sieci neuronowe, metody numeryczne, analizy statystyczne.
- Możliwości przejścia na proaktywne utrzymanie ruchu (*CBM – Condition Based Maintenance*) – czyli wykrywanie zmian stanu maszyny, które mogą doprowadzić do awarii na podstawie analizy danych.
- Możliwości wykonywania wielowymiarowych analiz bardzo dużych zbiorów danych technicznych (*Big Data*).

Na rysunku 3.1 przedstawiono główne cele i wymagania stawiane bezpośrednio dla **CZAD JSW 4.0.** (kolor pomarańczowy), kolorem fioletowym zaznaczono obszary optymalizowane w ramach innych projektów Programu EFEKTYWNOŚĆ, zwłaszcza dotyczących poprawy efektywności gospodarowania środkami trwałymi Spółki.



Rys. 3.1. Zadania realizowane w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych (CZAD JSW 4.0.) wpływające na zwiększenie produktywności maszyn i urządzeń

W niniejszym rozdziale monografii, zaprezentowano genezę budowy pierwszego w polskim górnictwie Centrum Zaawansowanej Analityki Danych. Omówiono stosowane w JSW S.A. mechanizmy prowadzonych analiz, przeprowadzono ocenę potencjału zawartego w eksploracji wielowymiarowych struktur danych, uczeniu maszynowym i wykorzystywanych technikach Big Data.

Szczegółowo omówiono problematykę standaryzacji architektury podstawowych układów kontrolno-pomiarowych i systemów technicznych realizujących funkcje akwizycji i przetwarzania danych, istotnych z perspektywy działania inteligentnych systemów informacyjnych GK JSW w tym opracowane standardy:

- wymiany danych, architektury i infrastruktury IT/OT w GK JSW S.A.,
- wytycznych w zakresie rozwiązań IT/OT dla tworzonych Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówień w GK JSW S.A.,
- warunków dostępu do sieci wydzielonych w zakładach JSW S.A.,
- udostępnienia danych z systemów informatycznych pracujących w sieciach wydzielonych.

Na koniec całość rozważań zaprezentowana została w kontekście przygotowanej i wdrożonej w życie pierwszej w polskim górnictwie „POLITYKI w zakresie zarządzania architekturą i infrastrukturą techniczną systemów IT/OT”.

Wykorzystanie systemów automatyzacji w sposób naturalny wynika ze Strategii GK JSW na lata 2018÷2030 w zakresie wzrostu bezpieczeństwa i efektywności pracy. Automatyzacja górnictwa to dyscyplina charakteryzująca się nadal ogromnym potencjałem. Jednak w pełni zautomatyzowana kopalnia z maszynami obdarzonymi hipotetyczną inteligencją to wizja raczej odległa. W dłuższej perspektywie czasu warto więc zadbać o realne wsparcie procesów, które są i z dużą pewnością będą w przyszłości nadal realizowane przez ludzi.

Na bazie przytoczonych przykładów i wskazanych potencjalnych obszarów zastosowań, pojęto próbę ustalenia roli i znaczenia systemów przetwarzania danych w urzeczywistnieniu wizji Inteligentnej Kopalni. Jak usiłowano wykazać, to właśnie ich funkcjonalność od momentu wykonania otworów badawczych, przez procesy harmonogramowania i optymalizacji projektu kopalni, dobór wyposażenia i technologii po bieżące wspomaganie decyzji podejmowanych przez dyspozytora, inżynierów, zarząd spółki, świadczy o inteligentnej naturze środowiska zarządzania. Środowiska, które w sposób usystematyzowany i trwałe pozwala skutecznie zagospodarować wszystkie informacje docierające z mikro i makrootoczenia przedsiębiorstwa.

JSW 4.0 to Spółka ucząca się, a więc w usystematyzowany i aktywny sposób korzystająca z własnych doświadczeń i dostępnych zasobów informacyjnych celem poprawy pozycji rynkowej.

Opracowanie i wdrożenie przez jastrzębskich górników architektury inteligentnego systemu informacyjnego, stanowiącego odpowiedź na rosnące potrzeby informacyjne i wymagania ze strony rynku oraz środowiska prowadzonej działalności, wyznacza docelowy kierunek rozwoju inteligentnej wizji funkcjonowania przedsiębiorstwa górniczego w XXI wieku [Ozon, 2017].

### 3.1. Systemy przetwarzania danych – ich rola i znaczenie w realizacji idei Inteligentnej Kopalni JSW 4.0

Koncepcje takie jak IoT (*Internet of Things*) lub M2M (*Machine to Machine*) coraz śmielej wkraczają do górniczej rzeczywistości pod postacią aplikacji i dedykowanych dla branży rozwiązań technicznych. Pierwotne wyobrażenie inteligentnej kopalni zostało trwale zdefiniowane w ramach projektu Intelligent Mine realizowanego w latach 1998÷2002 przez Uniwersytet Technologiczny w Helsinkach. Projekt koncentrował się w znacznej mierze na działaniach operacyjnych, mając na celu pełną automatyzację i monitoring w czasie rzeczywistym procesów produkcji, jako docelowy kierunek rozwoju [Polak, 2014a].

W latach 2009–2010 w Szwecji, we współpracy z KGHM „Polska Miedź” S.A., zrealizowany został projekt SMIFU (*Smart Mine of the Future*). Jako jego rozwinięcie uruchomiony został projekt I2Mine (*Innovative Technologies and Concepts for the Intelligent Deep Mine of the Future*), w którym – oprócz KGHM „Polska Miedź” S.A. – brała udział m.in. Kompania Węglowa S.A. Realizacja obu projektów związana była z nasileniem uciążliwości realizacji procesu produkcyjnego wynikającej z rosnącej głębokości zalegania złóż. Pogarszające się warunki geologiczno-górnice stawiają bowiem nowe wyzwania przed branżą w zakresie przeciwdziałania zagrożeniom, co skutkuje między innymi potrzebą automatyzacji produkcji.

Do zbliżonych tematycznie przedsięwzięć zaliczyć można projekty inicjowane od 2004 roku w ramach działań konsorcjum DMRC (*Deep Mining Research Consortium*) w Kanadzie, program Mine of the Future realizowany od 2008 roku w Australii przez koncern Rio Tinto oraz projekt EU-IPSUM (*Intelligent Production Systems for a Sustainable Supply and Use of Mineral Resources*) zrealizowany przez Instytut Inżynierii Górnictwa RWTH w Aachen [Spišak, 2010].

Uwzględniając koszty rozwoju technologicznego i konieczność głębokiej reorganizacji modelu funkcjonowania kopalni, pierwotna koncepcja Inteligentnej Kopalni – poza przypadkami zaistnienia rzeczywistych barier ze strony warunków geologiczno-górnich – obecnie nie stanowi najbardziej pilnego kierunku ewolucji kopalń węgla kamiennego. Wszechobecność informatycznych systemów wspomagających poszczególne dziedziny funkcjonowania przedsiębiorstw górniczych prowadzi bowiem w konsekwencji do koncentracji uwagi na problematyce zwiększenia efektywności i produktywności, a nie dalszej automatyzacji.

Poprawa efektywności jest bowiem naturalnym, dalszym kierunkiem rozwoju po etapach mechanizacji i automatyzacji górnictwa. Złożoność i unikatowy charakter zagadnień optymalizacji może odstraszać, ponieważ narzuca zarówno ramy myślenia w kategoriach ciągłego doskonalenia, jak również potrzebę stosowania złożonych technik przetwarzania danych. Konsekwentne podejście do zagadnień optymalizacji wymaga utworzenia specjalnych struktur organizacyjnych, w tym powołania interdyscyplinarnych zespołów zadaniowych charakterystycznych m.in. dla strategii TPM (*Total Productive Maintenance*).

Taką właśnie funkcję w JSW S.A. postanowiono przypisać Centrum Zaawansowanej Analityki Danych CZAD JSW 4.0, tj. opracowania kompleksowej, wielowymiarowej analizy

i interpretacji danych pochodzących z systemów Aparatury Kontrolno-Pomiarowej i Automatyki (AKPiA) maszyn i urządzeń górniczych, skutkującą wdrożeniem systemu analitycznego wykorzystującego metody przetwarzania dużej ilości danych w czasie rzeczywistym [Polak 2014a, c].

Systemy, bazujące na wykorzystaniu technik cyfrowych, od lat traktowane są jako przedłużenie ludzkiego intelektu, stanowiąc obecnie istotne wsparcie w zakresie metod optymalizacji. Kopalnia jako organizacja gospodarcza, współtworzona przez ludzi rozmyślnie realizujących określone cele gospodarcze, ma inteligencję kolektywną. Inteligencja ta, nierozzerwalnie wiąże się z aspektami zarządzania wiedzą w organizacji, stanowiąc jednocześnie pierwowzór działania algorytmów inteligencji rozproszonej (Swarm Intelligence, SI). Z powodu naturalnych ograniczeń w zakresie możliwości przetwarzania danych przez człowieka, a także dostępnych zasobów ludzkich, znaczna część wiedzy pozostaje ukryta w „surowych” danych. W obecnych warunkach, ze względu na ich ilość w systemach transakcyjno-ewidencyjnych i systemach technicznych, szczególną rolę w procesie odkrywania i wykorzystania wiedzy odgrywa problematyka właściwego przetwarzania danych. To właśnie funkcje przetwarzania, od chwili zarejestrowania przez system informatyczny zdarzenia, wykonania pomiaru wielkości elektrycznej bądź zadziałania funkcji wykonawczych układu automatyzacji, w zdecydowanej mierze decydują o praktycznej użyteczności kosztownego procesu zdalnej akwizycji lub manualnej ewidencji danych.

Stąd w trakcie operacjonalizowania idei Inteligentnej Kopalni JSW 4.0 wśród rozważanych sposobów budowy inteligentnej organizacji, zastanawiano się w jaki sposób na pozór martwe kanały i systemy informacyjne przekształcić w inteligentne środowisko wspomagające procesy zarządcze, w tym w szczególności wspierające podejmowanie decyzji. Ostatecznie ustalono, że rzeczony systemy, cechować winna hipotetyczna inteligencja realizowana w procesie inżynierskim, której podstawową cechą jest zdolność do skutecznego wykorzystania doświadczeń oraz efektywnego skondensowania informacji w swej treści.

Jako podstawowy cel stosowania inteligentnych systemów w górnictwie wymienić można:

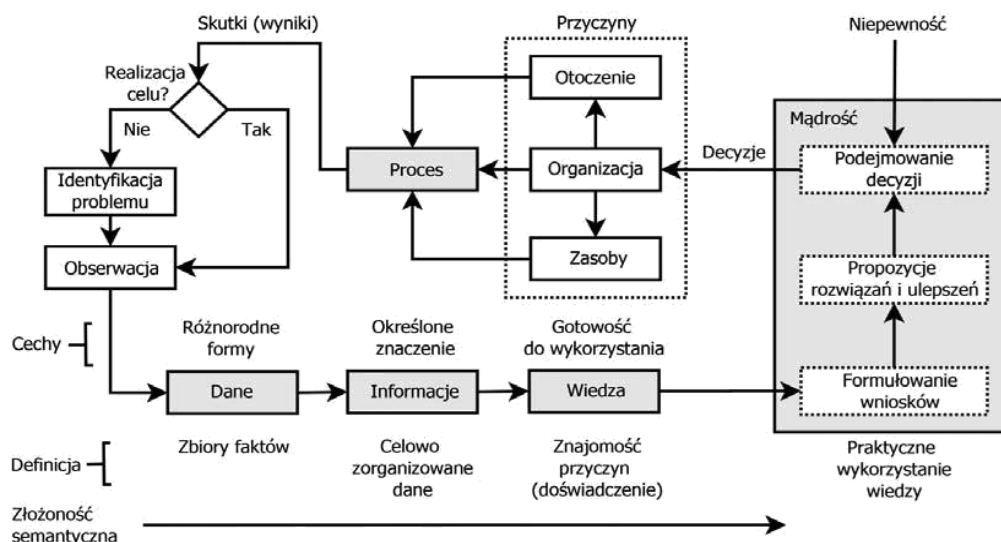
- Eksplorację danych – mającą na celu pozyskanie wiedzy ukrytej, wspomaganie procesów decyzyjnych poprzez budowę systemów wnioskowania indukcyjnego, umożliwiających praktyczne wykorzystanie zdobytych doświadczeń.
- Tworzenie systemów dziedzinowych korzystających z modeli symulacyjnych umożliwiających analizę działania układów rzeczywistych bądź rozwiązanie złożonych problemów planistycznych lub optymalizacyjnych.
- Tworzenie aktywnych systemów posiadających umiejętność uczenia się i adaptacji, w tym systemów sterowania przebiegiem procesów technologicznych, szczególnie w warunkach braku dostępu do pełnej informacji (logika rozmyta).

Posiadanie bazy wiedzy, w formie deklaratywnego zbioru faktów opisujących jednoznacznie przeszłe doświadczenia, stanowi wspólny element wszystkich wymienionych zastosowań. Inteligentne zachowanie wynika bowiem w pierwszej kolejności z faktu posiadania wymaganej wiedzy (rys. 3.2).

Połączenie struktur danych i właściwie dobranych metod interpretacyjnych, operujących na nich, stanowi fundament inteligentnego zachowania, wynikającego z identyfikacji związków

przyczynowo-skutkowych (rozumienia). Umożliwia to skuteczne postępowanie wobec nowych sytuacji i zadań, w oparciu o wiedzę, nabytą w efekcie wcześniejszych doświadczeń (wnioskowanie).

Realizacja wszystkich tych procesów byłaby niemożliwa, gdyby nie strukturalizowana baza wiedzy będąca podstawą funkcjonowania, m.in. inteligentnych systemów wspomaganie decyzji (*IDSS – Intelligent Decision Support System*).



Rys. 3.2. Wspomaganie decyzji w procesach optymalizacji [Polak, 2014a]

Dostępność właściwych zbiorów danych wejściowych, opisujących zdarzenie lub proces w znacznej mierze determinuje skuteczność procesów odkrywania wiedzy (*KDD – Knowledge Discovery in Databases*), takich jak wydobywanie danych z szumu informacyjnego (*DM – Data Mining*) i eksploracja danych (*EDA – Exploratory Data Analysis*).

W wyniku prowadzonych analiz ustalono, że z perspektywy realizacji idei Inteligentnej Kopalni JSW 4.0 nadzwyczaj istotne jest opracowanie trwałych wymagań i standardów informacyjnych w tym zakresie, umożliwiających budowę kompleksowych, zorientowanych tematycznie hurtowni (*DW – Data Warehouse*) i systemów przetwarzania danych. Stąd jak już wspomniano powyżej w JSW już na wstępnym etapie prac koncepcyjnych uznano za konieczne opracowanie standardów:

- wymiany danych, architektury i infrastruktury IT/OT w GK JSW S.A.,
- wytycznych w zakresie rozwiązań IT/OT dla tworzonych Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówień w GK JSW S.A.,
- warunków dostępu do sieci wydzielonych w zakładach JSW S.A.,
- udostępnienia danych z systemów informatycznych pracujących w sieciach wydzielonych.

### 3.2. Architektura systemów przetwarzania danych w górnictwie

Podstawowe „zmysły” kopalni – obok torów komunikacji głosowej i systemów transmisji obrazu – stanowi aparatura kontrolno-pomiarowa wraz z systemami automatyzacji produkcji. Zważywszy na korzyści, wynikające z zastosowania techniki światłowodowej, należy się spodziewać, że ilość rejestrowanych danych będzie wciąż sukcesywnie rosła. Podejmując temat

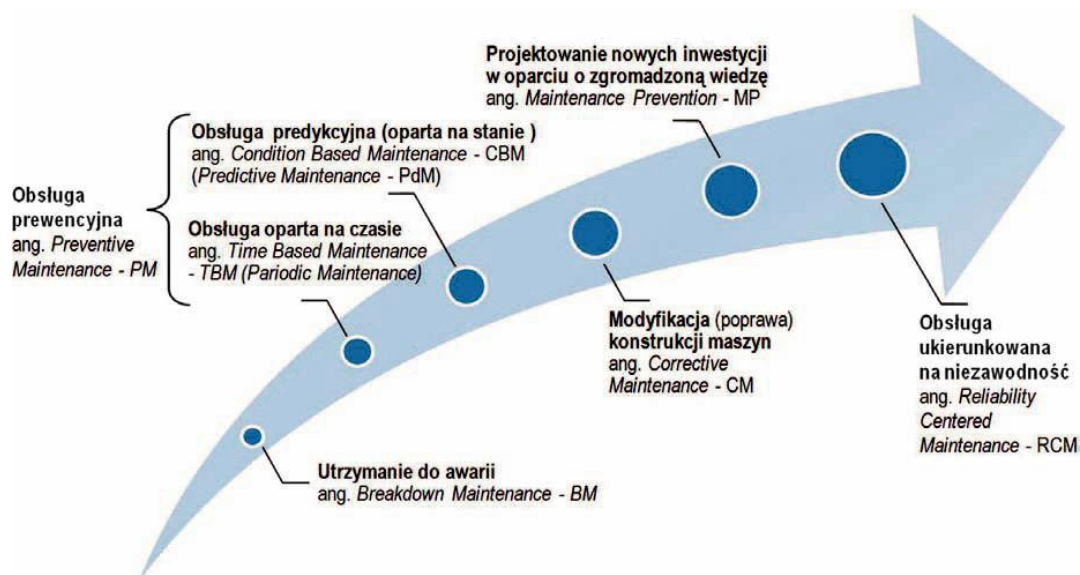


architektury systemów przetwarzania danych, w pierwszej kolejności należałoby więc skoncentrować się właśnie na tym najbardziej dynamicznie rozwijającym się obszarze.

Nowoczesna dyspozytornia kopalniana stanowi węzeł, do którego docierają tysiące różnorodnych informacji. Rosnąca liczba kanałów informacyjnych, odczytów, komunikatów skutkować może z czasem powstaniem chaosu informacyjnego. Ludzka percepcja staje się bowiem niewystarczająca w świetle konieczności szybkiej i bezbłędnej analizy szeregu bodźców docierających w czasie rzeczywistym. W związku z czym, obecne projekty dyspozytorni – poprzez m.in. rozmieszczenie i dobór systemów komunikacyjnych, wygląd plansz wizualizacyjnych – mają na celu skoncentrowanie uwagi dyspozytora lub dyspozytorów na elementach najbardziej istotnych [Polak, 2014a].

Pomimo optymalizacji interfejsów, nie należy się jednak spodziewać, że zdalna diagnostyka stanu technicznego, m.in. kilkuset silników – zabudowanych na drogach odstawy taśmowej – będzie możliwa do realizacji w sposób bezpośredni przez człowieka. Gdy obserwowany parametr zmienia się m.in. w funkcji obciążenia i prędkości taśmy, informacja interesująca z punktu widzenia oceny stanu technicznego silnika jest ukryta, a sam wykres wartości niewystarczający do jej odczytania. Konieczne staje się wtedy zastosowanie metod przetwarzania danych, bazujących na modelach procesów i ocenie residuów. Umożliwia to np. sprowadzenie kilkuset tysięcy pomiarów wykonywanych dziennie do syntetycznej informacji na temat stanu technicznego. Jest to możliwe do realizacji m.in. w drodze implementacji metody przedstawionej w literaturze [Li, 2004].

Zastosowanie prawidłowo dobranych technik przetwarzania danych jest niezwykle istotne z punktu widzenia eliminacji luki informacyjnej w obszarze diagnostyki oraz z perspektywy rozwoju systemu organizacji procesów obsługi maszyn i urządzeń (rys. 3.3).



Rys. 3.3. Ewolucja podstawowych strategii obsługowych [Polak, 2014a]

Przykład analizy danych, obejmujących proces eksploatacji maszyn samojezdnych pracujących w kopalni podziemnej, został zaprezentowany w literaturze [Hall, 1997; Hall, 2000]. Nowe możliwości stwarza wykorzystanie inteligentnych technik eksploracji na kompletnych zbiorach danych obejmujących intensywność użytkowania, uciążliwość

warunków pracy, awaryjność, pomiary diagnostyczne i koszty, co z powodzeniem realizowane jest m.in. w KGHM „Polska Miedź” S.A. [Kicki, 2010; Polak, 2016].

Stosowanie inteligentnych systemów przetwarzania danych w zakresie diagnostyki stanu technicznego i analizy funkcji użytkowych wyposażenia jest szczególnie uzasadnione w kontekście typowych, dla rozproszonych instalacji przemysłowych, niepewności pomiarów oraz występowania istotnych, niemierzalnych zakłóceń. Działanie sieci uczących się daje możliwość modelowania obiektów nieliniowych oraz cechuje się zdolnością uogólniania wiedzy. Stanowi to o potencjalnie szerokim obszarze zastosowań modeli neuronowych, rozmytych lub hybrydowych, m.in. w zakresie diagnostyki stanu technicznego lub oceny kluczowych miar efektywności pracy maszyn i urządzeń górniczych [Brzywczy, 2009; Brzywczy, 2012; Polak, 2014a].

Niemniej istotne niż wybór technik sztucznej inteligencji są procesy przetwarzania danych, zaprojektowane przez inżyniera. Obejmują one m.in. selekcję istotnych danych oraz definicje metod wstępnego przetwarzania sygnałów pomiarowych, m.in. w drodze analizy statystycznej, czasowej bądź spektralnej. Biorąc pod uwagę liczbę oraz warunki eksploatacji podstawowych maszyn i urządzeń górniczych, pozyskanie szczegółowych charakterystyk stanów przedawaryjnych, na potrzeby wykorzystania przez systemy uczące się lub ekspertowe, nie stwarza większego problemu. Potencjalne źródło tych danych stanowią eksploatowane obecnie systemy wsparcia w zakresie utrzymania ruchu zakładu i kontroli parametrów bezpieczeństwa. Wśród tych systemów wymienić można podstawowe grupy rozwiązań:

- systemy kontroli podstawowej zbudowane na bazie uniwersalnych podsystemów komunikacji,
- systemy telemetrii i rejestracji parametrów bezpieczeństwa,
- systemy monitoringu parametrów pracy obiektów technicznych działające na bazie wymiany danych między systemem nadrzędnym a układami automatyki przemysłowej,
- systemy telemechaniki i kontroli parametrów sieci i urządzeń elektroenergetycznych, funkcjonujące na komunikacji ze sterownikami EAZ,
- systemy bilansowo-rozliczeniowe w zakresie zużycia energii i mediów,
- systemy rejestracji czasu pracy, identyfikacji i lokalizacji pracowników, środków transportu, materiałów i wyposażenia.

Dane na temat eksploatacji kluczowych maszyn i urządzeń, opisujące również w znacznym stopniu przebieg procesów produkcyjnych, są rozproszone w poszczególnych systemach technicznych. Integracja danych, pochodzących z poszczególnych obszarów, często nie jest wykonywana ze względu na uwarunkowania prawno-organizacyjne. Przyjąć można, że dopóki istnieją warunki, przemawiające za utrzymaniem obecnego stanu, poza dorywczym eksportem danych, ich systemowe wykorzystanie nie będzie w górnictwie szeroko realizowane. Mając na uwadze znaczenie tych danych – nie tylko w zakresie diagnostyki, lecz również doskonalenia organizacji produkcji, oceny efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń oraz symulacji procesów – trudno twierdzić, że górnictwo funkcjonuje w inteligentnym środowisku zarządzania. Tym bardziej, że funkcjonalność i wydajność systemów SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), dedykowanych branży górniczej, w zakresie realizacji złożonych algorytmów przetwarzania ciągów czasowych i informacji przestrzennych jest mocno ograniczona.

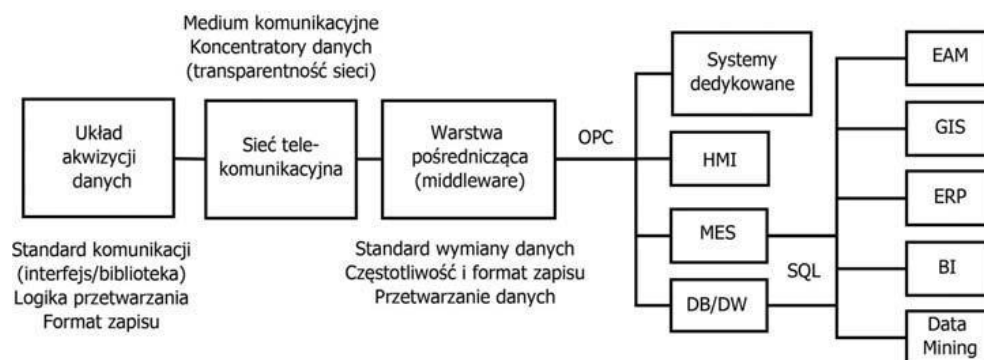
Integrację wymienionych środowisk rozpatrywać należy w aspekcie integracji danych gromadzonych w bazach systemów bądź budowy szyny procesowej w otwartym standardzie OPC (*OLE for Process Control*) z wizualizacją w systemach HMI (*Human-Machine Interface*). Abstrahując od koncepcji pokrycia wszystkich obszarów dodatkowym, nadrzędnym systemem SCADA, wpływa to na skomplikowanie struktury systemów i skutkuje wzrostem zawodności.

Oprócz narzędzi wsparcia operacyjnego, w kopalniach funkcjonują różnorodne systemy informatyki gospodarczej. W obszarze produkcji i gospodarki majątkiem są to między innymi:

- systemy gospodarki podstawowymi środkami produkcji,
- systemami ewidencji maszyn i urządzeń w wykonaniu przeciwwybuchowym,
- systemy raportowania produkcji,
- systemy finansowo-księgowo,
- systemy do modelowania złoża, planowania i harmonogramowania produkcji,
- systemy informacji przestrzennej.

Wymienione systemy stanowią istotne uzupełnienie danych rejestrowanych przez stacje SCADA. Część z nich stanowi moduły zintegrowanych systemów zarządzania klasy ERP (*Enterprise Resource Planning*), m.in. SAP, SZYK2. Poza płaszczyzną rachunkowości zarządczej i nielicznymi wyjątkami, m.in. Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A. [Kicki, 2010; Polak, 2014a; Dyczko, 2013] czy też Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. [PEWWK, 2014; wymienione obszary nie są ze sobą trwale zintegrowane lub wykorzystują rozproszone, „miękkie” technologie informatyczne.

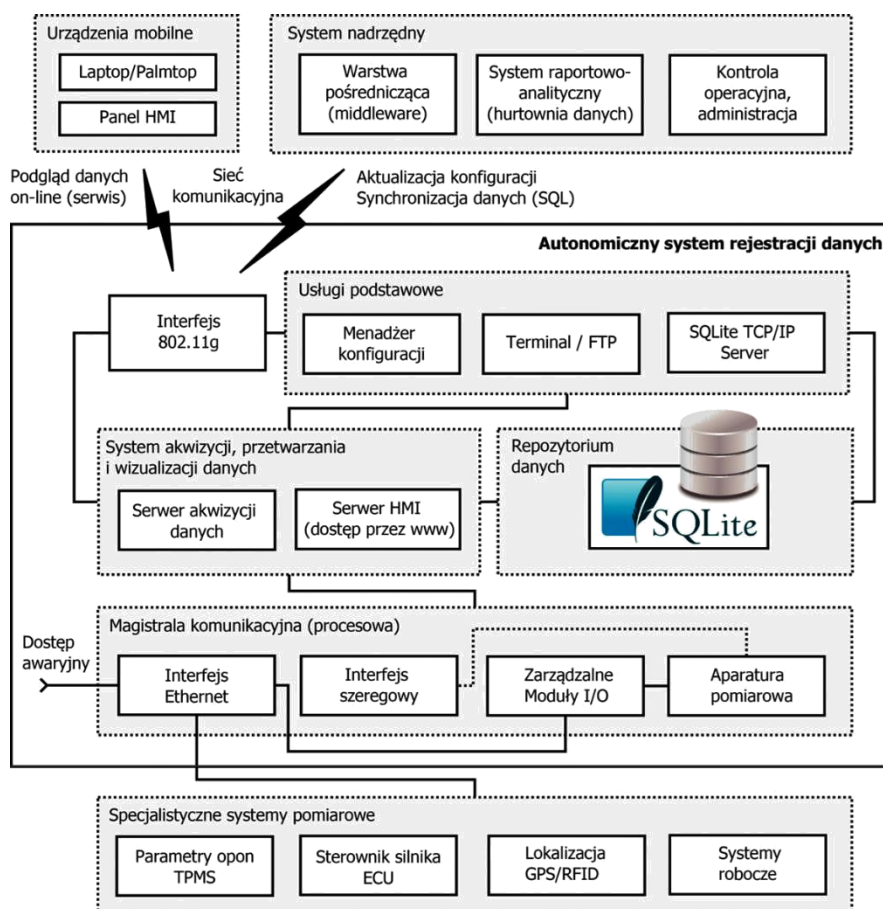
Problematyka systemowego wykorzystania zgromadzonych danych obejmuje w szczególności techniczne aspekty ich udostępnienia, właściwą identyfikację, przygotowanie, ocenę kompletności, jakości i wiarygodności. W celu zachowania jednolitej normy informacyjnej, zasadne wydaje się opracowanie standardu obowiązującego w zakresie akwizycji i wymiany danych w obszarze systemów technicznych (rys. 3.4).



Rys. 3.4. Warstwy standaryzacji rozwiązań [Polak, 2014a]

Przepływ informacji – od układu generującego dane, aparatury kontrolno-pomiarowej poprzez sieci telekomunikacyjne do oprogramowania nadrzędnego lub warstwy pośredniczącej – spełniać powinien bowiem podstawowe założenia w dziedzinie obowiązującej architektury systemów informacyjnych przedsiębiorstwa. Architektury, rozumianej jako zasoby, reguły, modele i standardy, zgodnie z którymi organizacja nabywa, tworzy, utrzymuje i modyfikuje elementy systemu informacyjnego. Tematyce tej, od początku lat 90. XX wieku, poświęcono szereg pozycji literaturowych, m.in. [Bentley, 1998; Cook, 1996; Cortada, 1998]. Za przykład

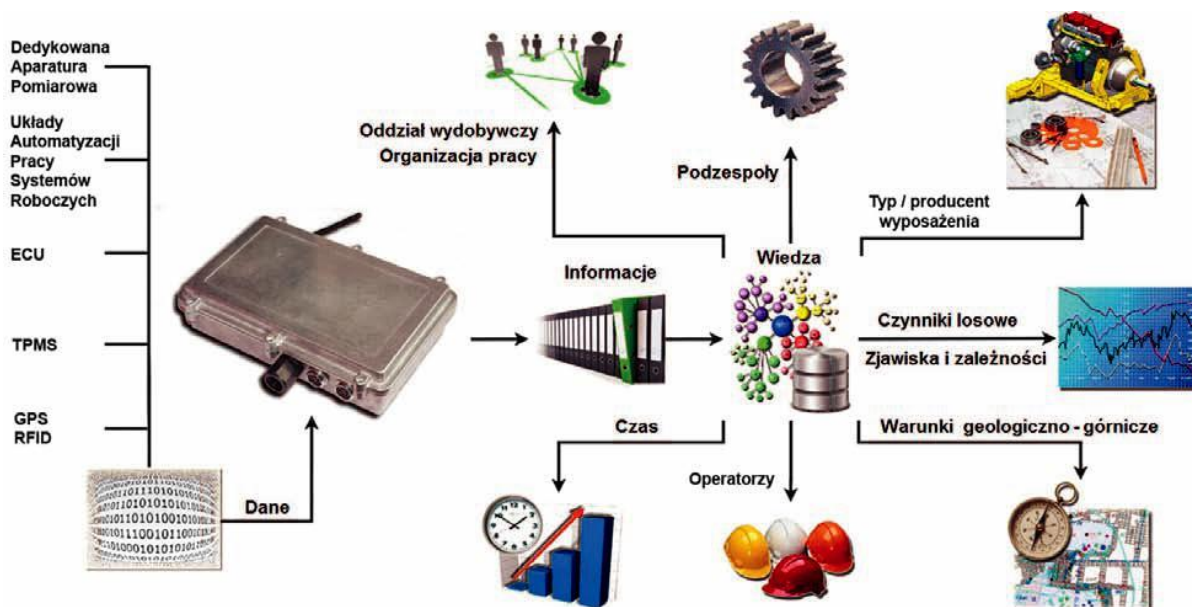
kompleksowego podejścia w zakresie rozbudowy systemu informacyjnego przedsiębiorstwa górniczego posłużyć może architektura rozwiązania opracowanego w zakresie rejestracji parametrów pracy maszyn górniczych przedstawiona na rysunku 3.5.



Rys. 3.5. Architektura ASRPP – Autonomicznego Systemu Rejestracji Parametrów Pracy [Polak, 2014a]

System ten umożliwia rejestrację szeregu informacji na temat stanu pracy maszyny górniczej. Wdrożenie rozwiązania, według strategii od dołu do góry (*bottom-up*) oraz brak konieczności nadrzędnej kontroli parametrów w czasie rzeczywistym, umożliwia wymianę danych z systemami nadrzędnymi za pośrednictwem bezpośredniego połączenia z bazą danych układu rejestracji, w formie zapytań SQL (*Structured Query Language*). System zapewnia dodatkowo możliwość dostępu do danych historycznych oraz bezpośredniego podglądu parametrów on-line za pośrednictwem przeglądarki internetowej i przygotowanych plansz wizualizacyjnych (m.in. kokpit operatora i połączenie diagnostyczne). Duża skalowalność systemu w zakresie rozbudowy o kolejne moduły wejścia/wyjścia, wykorzystanie wyłącznie powszechnych standardów w zakresie wymiany danych oraz autonomiczność rozwiązania, pozwalają na budowę uniwersalnego standardu w zakresie rejestracji danych na potrzeby systemów analityczno-raportowych.

Pomijając kwestie dokładności pomiarów, istotny problem badawczy stanowi ustalenie metod i okresu agregacji danych na poziomie układu rejestracji. Skomasowanie szeregu pomiarów wiąże się bowiem z utratą informacji o wzajemnej korelacji sygnałów. Gdy agregacja danych jest wymagana, zasadne wydaje się zachowanie podstawowej struktury współzależności i przeprowadzenie agregacji w kontekście poszczególnych wymiarów, tożsamo jak jest to realizowane w modelu OLAP (*OnLine Analytical Processing*) (rys. 3.6).



Rys. 3.6. Ilustracja procesu eksploracji danych pochodzących z ASRPP – Autonomicznego Systemu Rejestracji Parametrów Pracy [Polak, 2014a, c]

Elastyczność opisanego rozwiązania wynika m.in. z możliwości dynamicznego sformułowania zapytania już na poziomie odczytu danych z układu rejestracji. Jest to szczególnie istotne w kontekście sygnałów wymagających bardzo dużej częstotliwości próbkowania oraz zastosowania algorytmów przetwarzania danych lub rozpoznawania wzorców, bezpośrednio na poziomie układu akwizycji danych. Za przykład posłużyć może interpretacja chwilowych zmian ciśnienia w układzie roboczym w celu identyfikacji liczby cykli pracy maszyny. Opisywane podejście umożliwia znaczne uszczuplenie ilości informacji przesyłanych pomiędzy dwoma systemami, co jest niezmiernie istotne w przypadku istnienia ograniczeń technicznych w zakresie transmisji. Dynamiczne formułowanie zapytań SQL, używanych podczas synchronizacji, umożliwia elastyczną zmianę metody i okresu dekretacji danych przy jednoczesnym zachowaniu dostępu do pierwotnych, szczegółowych pomiarów.

Komunikacja klient – serwer, pomiędzy systemem nadrzędnym (klientem) a układem rejestracji (serwerem), realizowana w otwartym standardzie oraz możliwość prostego wdrożenia metod przetwarzania danych po stronie urządzenia, umożliwia dopasowanie do wymagań systemu raportowo-analitycznego w zakresie wielowymiarowej eksploracji danych.

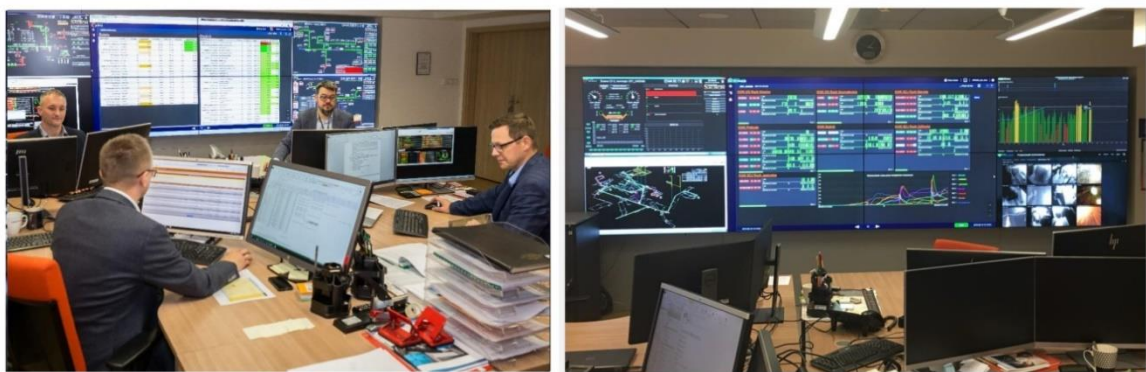
Zawartość repozytoriów, będących podstawą funkcjonowania inteligentnych systemów wspomaganie decyzji, stanowić może więc bezpośrednią odpowiedź na dynamicznie zmieniające się potrzeby informacyjne.



Standaryzacja i określenie docelowej architektury systemów informacyjnych przedsiębiorstwa, w poszczególnych obszarach działalności, jest procesem kluczowym zarówno z perspektywy funkcjonowania inteligentnych systemów informacyjnych, jak i samej potrzeby integracji danych. Prace realizowane dla górnictwa w tym zakresie, m.in. JSW S.A., KGHM „Polska Miedź” S.A., pozwalają na opracowanie i wdrożenie otwartych standardów łączących wyspowe obszary informacyjne przedsiębiorstwa. Przeciwdziała to bezpośredniemu uzależnieniu kopalń od producentów wyposażenia i oprogramowania. Skutkuje dopasowaniem przyszytych rozwiązań do wymagań architektury informacyjnej przedsiębiorstwa, a nie przedsiębiorstwa do funkcjonalności zakupionych produktów [Kicki, 2010; Polak, 2014a; Polak, 2016].

### 3.3. Centralny Serwer Danych Technologicznych JSW S.A. komponentem platformy umożliwiającej przetwarzanie ogromnych zbiorów informacji w czasie rzeczywistym

Opracowanie i wdrożenie Centralnego Serwera Danych Technologicznych (CSDT) rozpoczęto w 2017 roku w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych (rys. 3.7.) jako element kompleksowego planu zwiększenia efektywności zarządzania produkcją oraz standaryzacji szeroko pojętego obszaru automatyki i systemów informatycznych wspierających procesy produkcyjne JSW S.A.



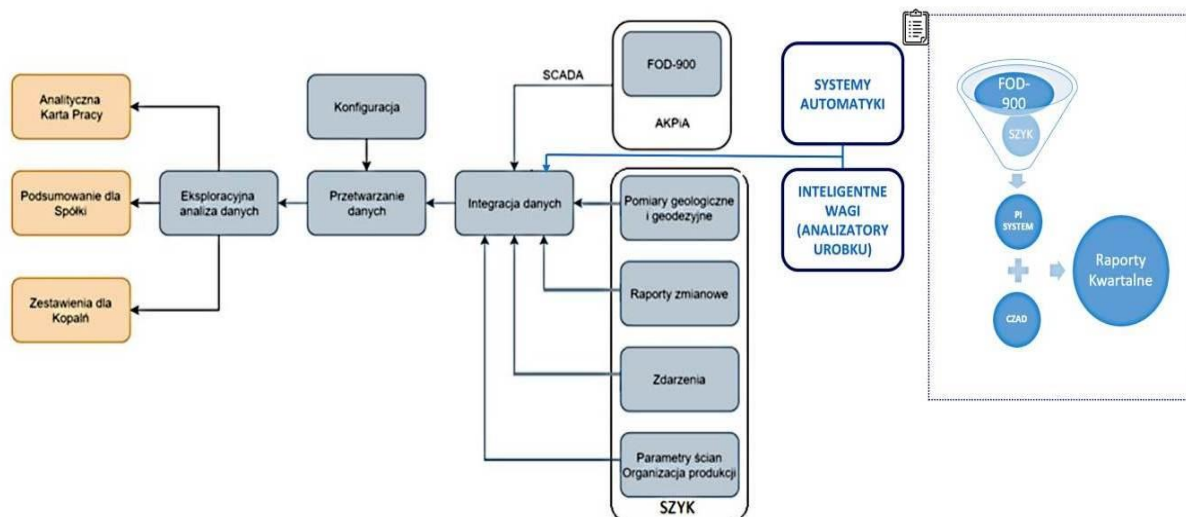
Rys. 3.7. Pomieszczenie Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0

Równoległe z budową Centralnego Serwera Danych Technologicznych (CSDT) uruchomiono pozostałe zmiany o charakterze techniczno-organizacyjnym w tym:

- utworzenie Centrum Zaawansowanej Analityki Danych w strukturach Biura Zarządu;
- utworzenie Oddziałów Automatyki w strukturach wszystkich kopalń;
- rozbudowa systemów monitoringu parametrów pracy maszyn i urządzeń w obszarach infrastruktury sieciowej i urządzeń automatyki;
- standaryzacja rozwiązań w obszarach IT/OT.

Wdrożenie Centralnego Serwera Danych Technologicznych (CSDT), jako integralnej części systemu informatycznego wspierającego zarządzanie danymi pochodzącymi z procesu produkcji JSW S.A. oparto na platformie firmy OSIsoft umożliwiającej przetwarzanie ogromnych zbiorów informacji w czasie rzeczywistym i pozwalającej na łatwą integrację

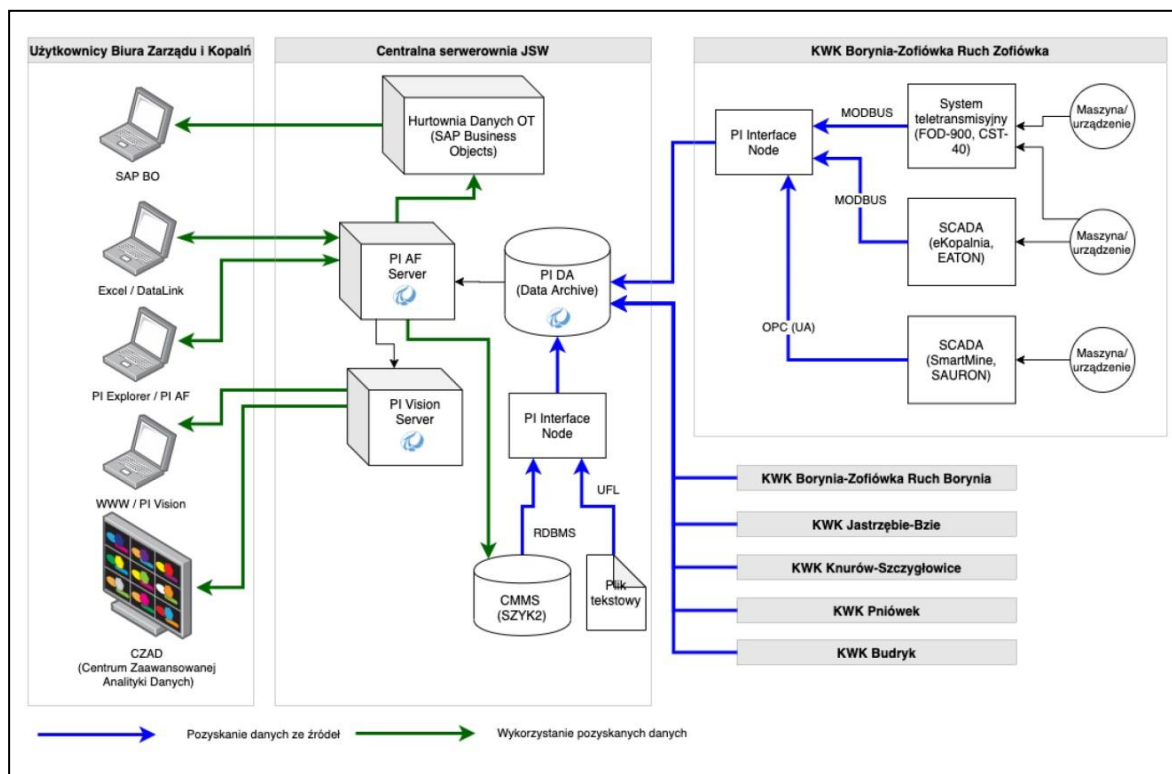
z systemami biznesowymi, zapewniając równocześnie bezpieczeństwo teleinformatyczne systemów automatyki przemysłowej. W JSW S.A., podobnie jak w innych przedsiębiorstwach górniczych, do zarządzania procesami produkcyjnymi wykorzystywanych jest kilka typów systemów transmisyjnych i systemów automatyki (SCADA). Wszystkie dane gromadzone są lokalnie w niezintegrowanych ze sobą systemach technicznych, co utrudniało, a niekiedy nawet uniemożliwiało przeprowadzenie zaawansowanych analiz tych danych. Oprócz tego dużym wyzwaniem dla utrzymania całej architektury była duża zmienność miejsc pracy maszyn i urządzeń wynikająca bezpośrednio ze specyfiki procesów wydobywczych – rysunek 3.8.



Rys. 3.8. Schemat wymiany danych w CZAD między systemami dziedzinowymi kopalń JSW S.A.

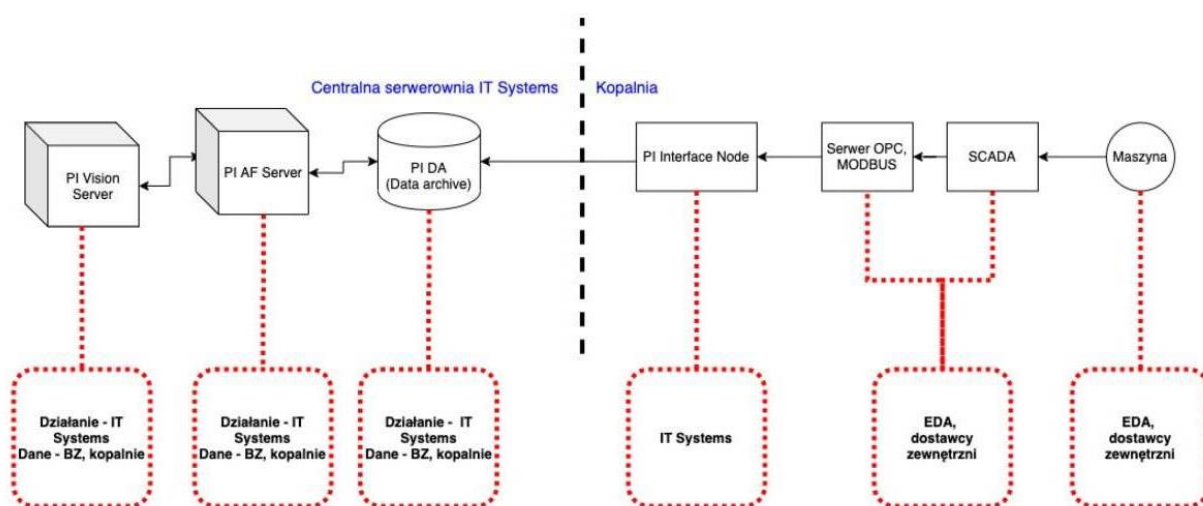
Jak już wspomniano jako platformę bazową spełniającą wymagania CSDT wybrano PI System, firmy OSIsoft, umożliwiającą przetwarzanie informacji pochodzących z kilkuset tysięcy urządzeń rejestrujących w czasie rzeczywistym (PI DA). To jeden z systemów klasy historian, przetwarzający dane w postaci szeregów czasowych, które można zapisywać z dowolną, ustaloną przez użytkownika częstotliwością, a także przechowywać w dowolnie długim czasie, co odróżnia go od systemów SCADA – rysunek 3.9.

Dla celów pozyskiwania danych z systemów źródłowych zastosowano pięć typów interfejsów, takich jak: OPC, OPC UA, MODBUS, RDBMS i UFL, aczkolwiek dostępnych jest ponad 400 interfejsów pozwalających podłączyć dowolny system produkcyjny w krótkim czasie, równocześnie buforując dane (PI Node Interface) na wypadek utraty połączenia.



Rys. 3.9. Podstawowe elementy architektury CSDT w GK JSW S.A.

Jedną z podstawowych funkcjonalności PI System zawartą w module Asset Framework (AF) pozwoliła odwzorować kluczowe środki trwałego przedsiębiorstwa wg opracowanego jednego wspólnego modelu, nadając im kontekst biznesowy, tak bardzo ważny od momentu ich zabudowy w miejscu pracy – rysunek 3.10.



Rys. 3.10. Elementy architektury CSDT w podziale na lokalizacje komponentów systemu

Analizy zaimplementowane w tym module i wykonywane w czasie rzeczywistym umożliwiły przeprowadzenie standaryzacji danych pozyskiwanych z różnych typów systemów źródłowych. Integracja z systemem CMMS (*Computerised Maintenance Management System*)



wykorzystywanym w przedsiębiorstwie umożliwiła pozyskanie do PI System kontekstu miejsca pracy maszyn, parametrów technicznych wynikających z Dokumentacji Techniczno-Ruchowej oraz planów pracy kopalń. Zwrotnie PI System przekazuje zagregowane dane o czasach pracy maszyn kompleksów ścianowych, co do niedawna wymagało ręcznego wprowadzania tych danych przez służby utrzymania ruchu kopalń. Innym przykładem procesu integracji jest implementacja analizy identyfikującej zdarzenia postojowe kompleksów ścianowych (PI Event Frame) wraz z procesem przekazywania ich do systemu CMMS.

Zautomatyzowanie tego procesu ograniczyło do minimum błędy ludzkie oraz znacznie skróciło czas rejestrowania postojów. Integracja z systemem SAP Business Objects, realizującym funkcje hurtowni danych IT/OT, umożliwiła osiągnięcie takich celów, jak:

- okresowe generowanie raportów na temat efektywności pracy kompleksów ścianowych;
- automatyczne generowanie i publikowanie ustandaryzowanych raportów operacyjnych z pracy maszyn kompleksów ścianowych;
- udostępnienie użytkownikom surowych i zagregowanych danych generowanych przez systemy techniczne do celów wykonywania zaawansowanych analiz biznesowych.

Bardzo ważnym aspektem, o którym nie wolno zapomnieć, jest bezpieczeństwo zarządzania infrastrukturą krytyczną, w skład której wchodzi również lokalne systemy monitoringu i sterowania pracujące w wydzielonych sieciach technicznych. PI System poprzez jednokierunkowy przesył informacji stanowi doskonałą barierę przed cyberatakami, za którą funkcjonują systemy dedykowane, które go zasilają danymi.

Wdrożenie w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A. Centralnego Serwera Danych Technologicznych całkowicie zmieniło podejście do wykorzystania danych pochodzących bezpośrednio z procesu produkcji. Platforma daje możliwość zebrania informacji ze wszystkich systemów przedsiębiorstwa w jednym miejscu, przez co użytkownik uzyskuje w łatwy sposób dostęp do aktualnych i historycznych surowych danych, które może dowolnie analizować.

Wstępną konfigurację CSDT rozpoczęto od zdefiniowania i zestandaryzowania słowników awarii i czasów logicznych pracy maszyn i urządzeń, ustalając:

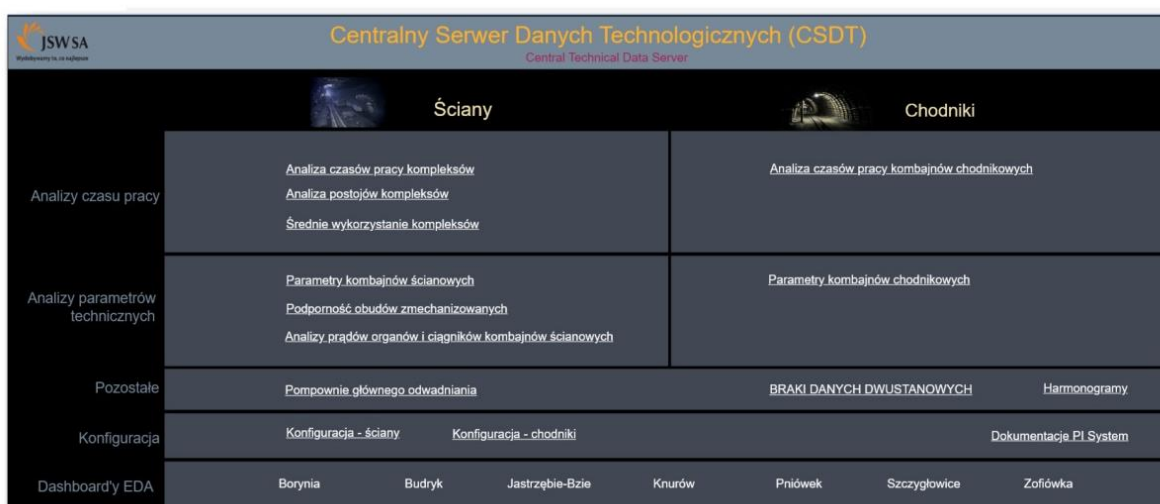
- czas nominalny (dyspozycyjny) = planowany czas rzeczywistej pracy ludzi i maszyn w ścianie,
- czas efektywny = rzeczywisty czas pracy wszystkich maszyn kompleksu jednocześnie tzn. kombajnu ścianowego + przenośnika ścianowego + przenośnika podścianowego.
- wskaźnik wykorzystania czasu nominalnego =  $(\text{czas efektywny} / \text{czas nominalny}) * 100\%$ .

Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) to przede wszystkim poprawa efektywności zarządzania środkami produkcji oraz wsparcie działań mających kluczowe znaczenie dla prawidłowego przebiegu procesu produkcyjnego i zarządzania przedsiębiorstwem, przy wykorzystaniu dostępu do pełnej informacji zawartej w systemach biznesowych i technicznych, bazujących na monitoringu pracy maszyn i urządzeń w czasie rzeczywistym. Pozwala na automatyzację procesów raportowania (comiesięczne generowanie analitycznych kart pracy kompleksów ścianowych, przekazywanie informacji o awariach i postojach maszyn bezpośrednio z systemów automatyki). Jego zadaniem jest implementacja prognostycznego utrzymania ruchu jastrzębskich kopalń, budowa strategii prognostycznego utrzymania ruchu

poprzez zastosowanie narzędzi klasy Predictive, co docelowo umożliwić ma działania pozwalające wydłużyć czas pracy eksploatowanego sprzętu, zmniejszyć ogólne koszty jego konserwacji oraz skrócić czas planowania konserwacji.

Celem budowy CSDT wraz z budową pogłębionego raportowania zarządczego jest dostarczenie kadrze inżynierskiej, służbom utrzymania ruchu oraz zarządzającym ciągłością procesu produkcyjnego nowej jakości w aspekcie informacyjnego wsparcia procesów planistycznych oraz samodoskonalenia procesu wydobywania węgla w Spółce JSW S.A. CSDT umożliwił przejście na proaktywne utrzymanie ruchu kopalń JSW. Wdrażanie strategii utrzymania na podstawie stanu technicznego maszyn i urządzeń (CBM – Conditional Based Maintenance) umożliwiło opracowanie zasad CBM na potrzeby kopalnianych służb utrzymania ruchu.

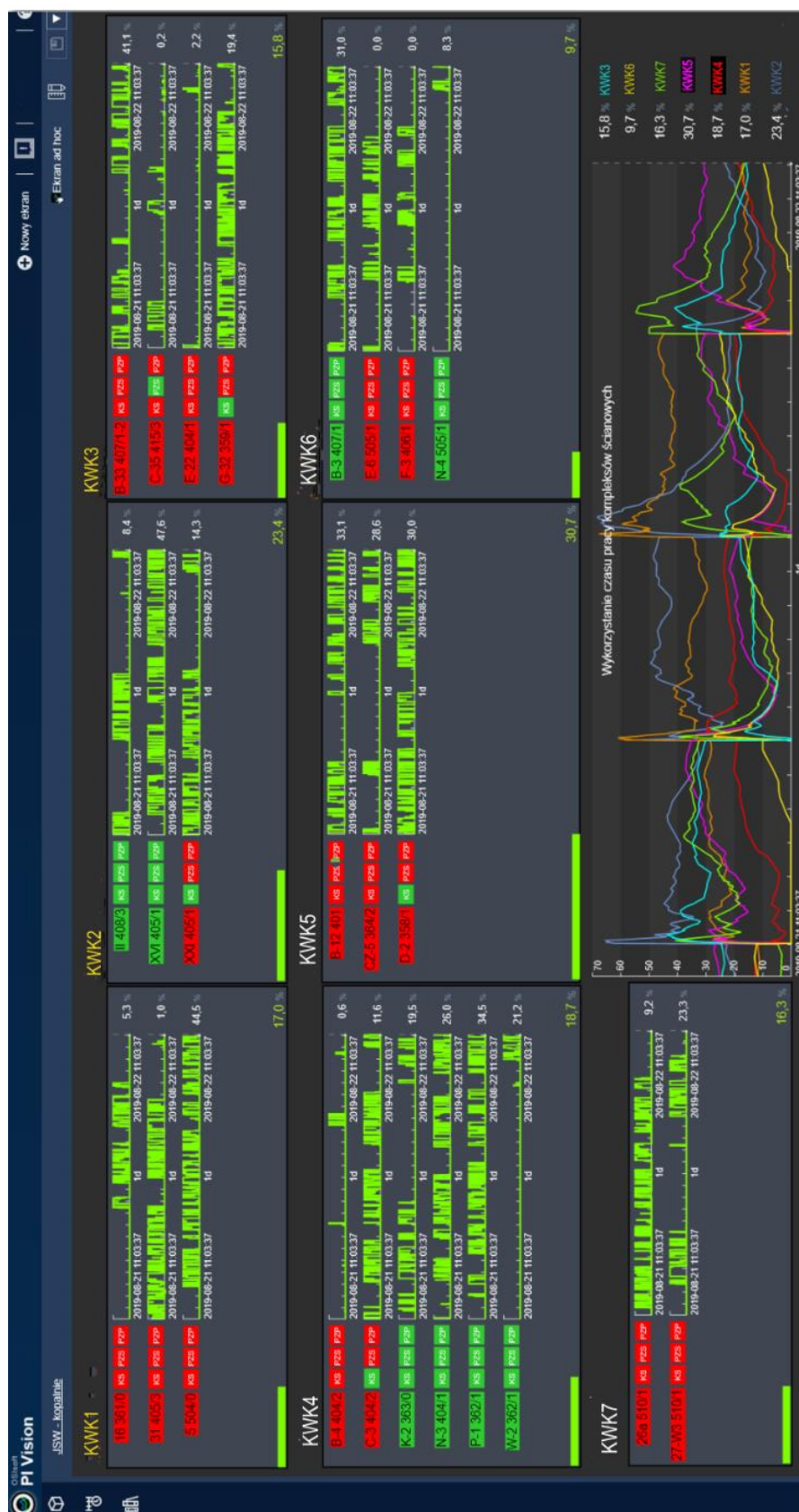
Na rysunku 3.11 pokazano widok panelu głównego CSDT. Przykłady plansz wizualizacyjnych utworzonych z danych zgromadzonych przez CSDT przedstawiono na rysunkach 3.12 – 3.22.



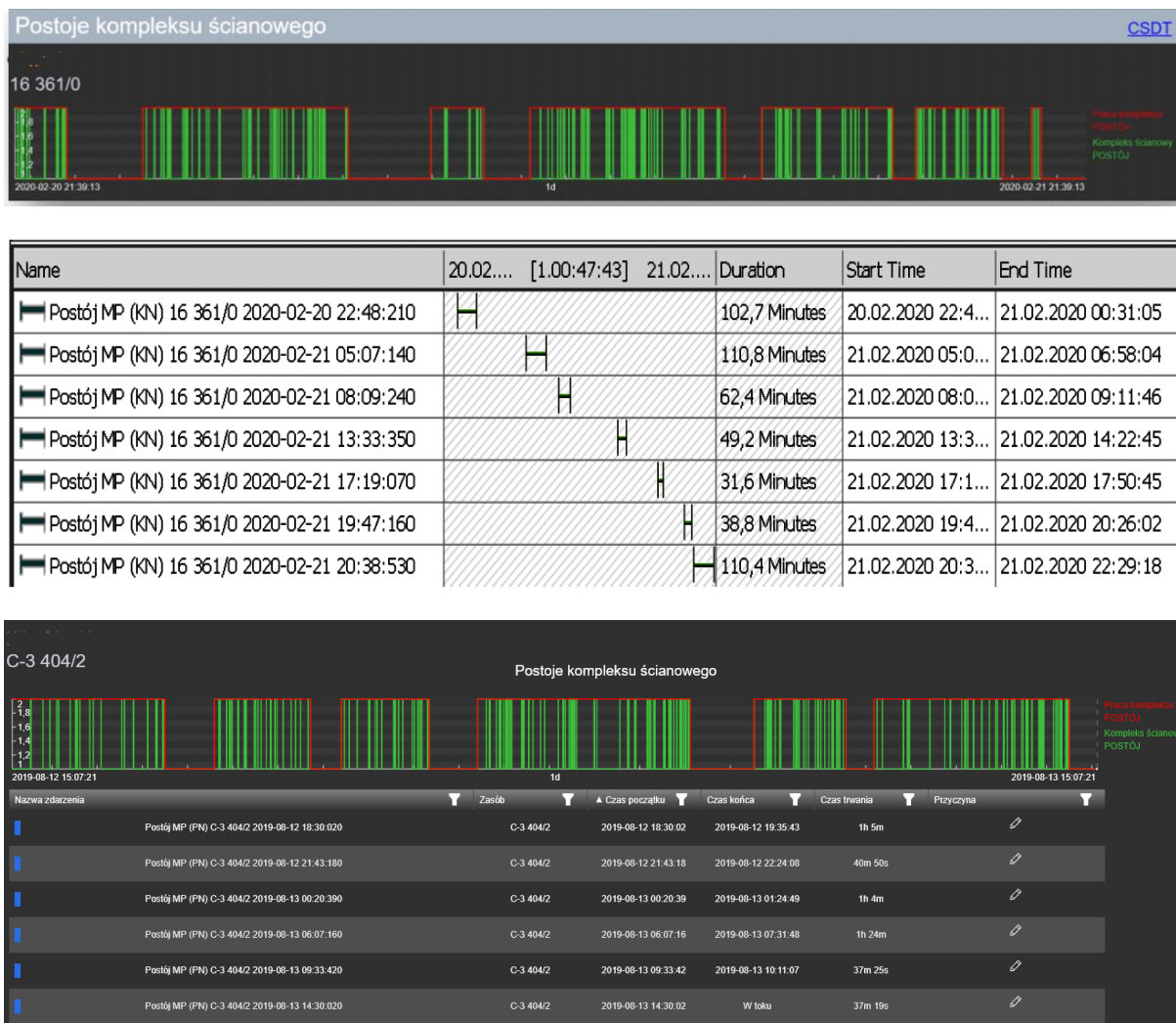
Rys. 3.11. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – widok panelu głównego

Na rysunku 3.12 pokazano wizualizację pracy maszyn w ścianach kopalń JSW S.A. Jako parametr pracy każdej maszyny przyjęto średni czas pracy maszyny w poszczególnych minutach wyrażony w procentach (w zakresie 0 – 100%). Na rysunku 3.13 zamieszczono przykład wizualizacji zdarzeń postojowych kompleksu ścianowego z podaniem czasów rozpoczęcia, czasów zakończenia i czasów trwania postoju, a na rysunku 3.14 – wizualizację przebiegów czasowych prądów obciążenia maszyn kompleksu ścianowego oraz pozycji kombajnu w ścianach kopalń JSW S.A. Na rysunku 3.15 pokazano wizualizację pracy pomp głównego odwadniania w kopalniach JSW S.A. Z kolei rysunek 3.16 to przykład wizualizacji pracy kompleksu ścianowego wraz systemem transportu przenośnikowego, na którym odpowiednimi kolorami zaznaczono stan pracy maszyn.

Na rysunku 3.17 pokazano wizualizację pracy przenośnika taśmowego z opisem zdarzeń zasypywania przenośnika taśmowego a także nieefektywnej pracy przenośnika taśmowego. Na rysunkach 3.18 i 3.19 zamieszczono przykłady monitoringu podporności sekcji obudów zmechanizowanych wraz z identyfikacją anomalii w cyklach pracy obudowy.



Rys. 3.12. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) - wizualizacja pracy maszyn kompleksów ścianowych kopalń JSW S.A.



Rys. 3.13. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – wizualizacja zdarzeń postojowych kompleksów ścianowych

Na rysunku 3.20 pokazano przykład identyfikacji statusu kombajnu ścianowego na podstawie analizy prądów pobieranych przez napędy organów roboczych i ciągnika. Wyróżniono następujące statusy: brak danych, postój, praca bez posuwu, praca z posuwem, urabianie.

Na rysunku 3.21 zaprezentowano przykłady wizualizacji stanu transmisji danych z maszyn kompleksu ścianowego. Dane z maszyn kompleksu są pozyskiwane ze sterowników maszyn (wartości prądów i położenie kombajnu z AKP czyli aparatury kontrolno-pomiarowej) oraz z systemu transmisji sygnałów dwustanowych (np. czujniki prądowe) FOD-900. Na rysunku 3.21 wyróżniono następujące stany transmisji: brak źródła danych, brak danych z AKP oraz OK. Przykład wizualizacji braku transmisji danych z AKPiA (Aparatura Kontrolno-Pomiarowa i Automatyka) pokazano na rysunku 3.22.

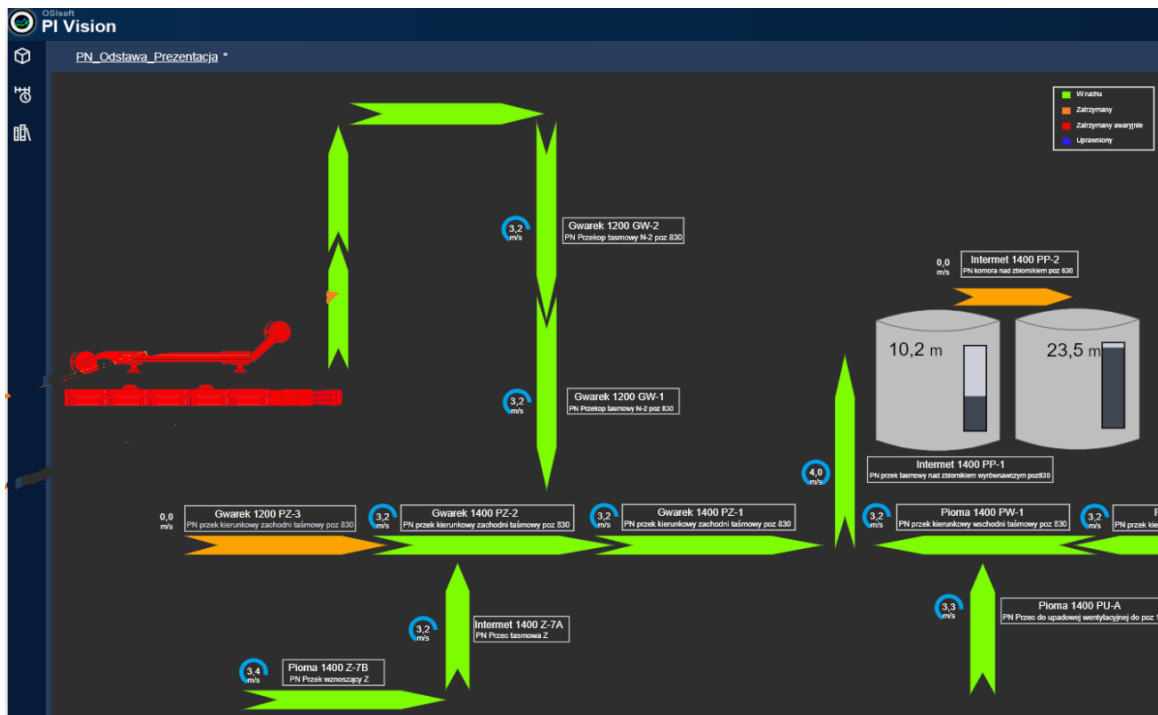


Rys. 3.14. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – wizualizacja parametrów pracy maszyn (prądy zasilania napędów poszczególnych maszyn, pozycja kombajnu); KBS – kombajn ściany, POZ – pozycja kombajnu w ścianie, PZS – przenośnik zgrzeblowy ściany, PZP – przenośnik zgrzeblowy podściany

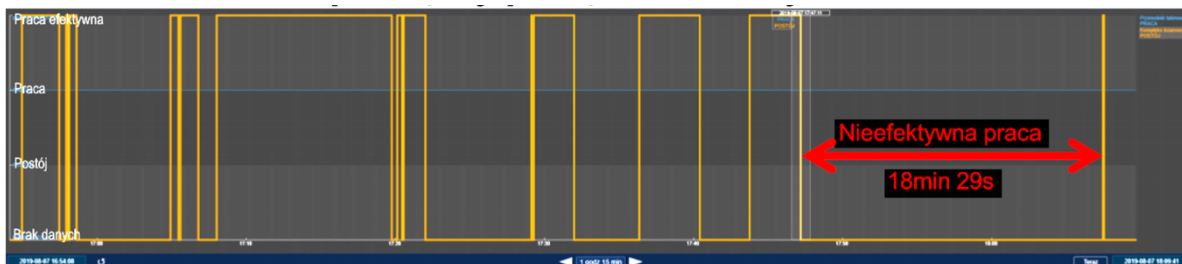




Rys. 3.15. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – wizualizacja pracy pomp głównego odwadniania



Rys. 3.16. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – wizualizacja pracy kompleksu ścianowego wraz z systemem odstawy przenośnikowej



Zdarzenie 1: Zasypywanie przenośnika taśmowego

Nazwa zdarzenia	Zasób	▲ Czas początku	▼ Czas końca	Czas trwania
Zasypywanie PT D-2 358/1 2019-08-07 14:53:47	D-2 358/1	2019-08-07 14:53:47	2019-08-07 14:54:37	49,685s
Zasypywanie PT D-2 358/1 2019-08-08 09:59:37	D-2 358/1	2019-08-08 09:59:37	2019-08-08 10:00:43	1m 5s
Zasypywanie PT D-2 358/1 2019-08-08 10:09:50	D-2 358/1	2019-08-08 10:09:59	2019-08-08 10:11:23	1m 24s
Zasypywanie PT D-2 358/1 2019-08-08 14:17:03	D-2 358/1	2019-08-08 14:17:03	2019-08-08 14:17:57	54,048s
Zasypywanie PT D-2 358/1 2019-08-08 14:18:03	D-2 358/1	2019-08-08 14:18:03	2019-08-08 14:19:03	59,997s

Zdarzenie 2: Nieefektywna praca przenośnika taśmowego

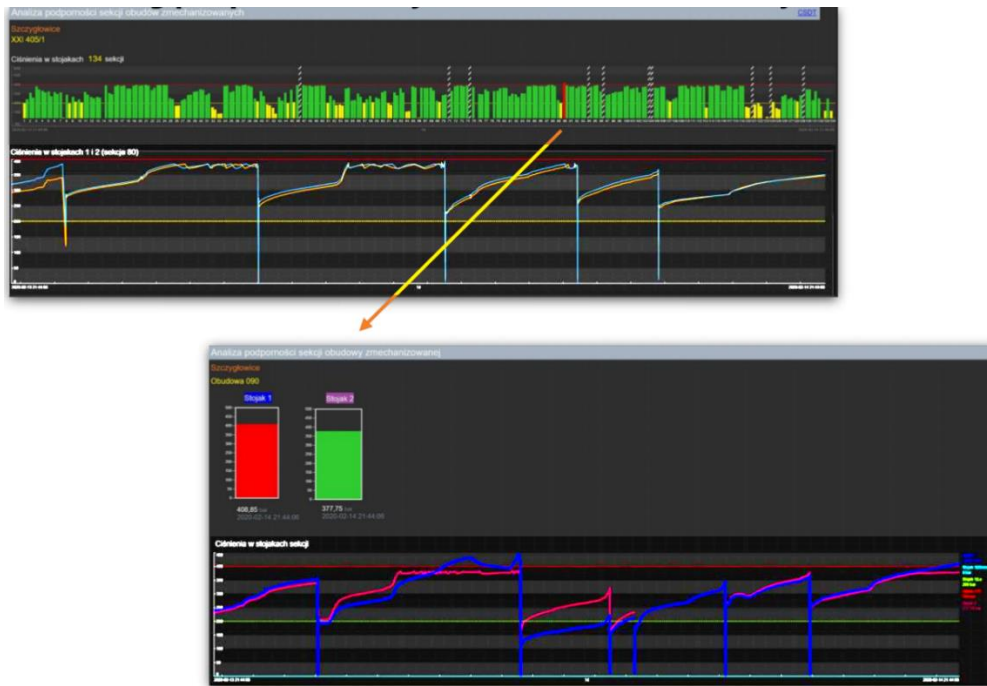
Nazwa zdarzenia	Zasób	▲ Czas początku	▼ Czas końca	Czas trwania
Praca nieefektywna PT D-2 358/1 2019-08-07 17:47:11	D-2 358/1	2019-08-07 17:47:11	2019-08-07 18:07:27	20m 16s
Praca nieefektywna PT D-2 358/1 2019-08-08 11:30:43	D-2 358/1	2019-08-08 11:30:43	2019-08-08 11:49:13	18m 29s

Raport pracy kompleksów ścianowych

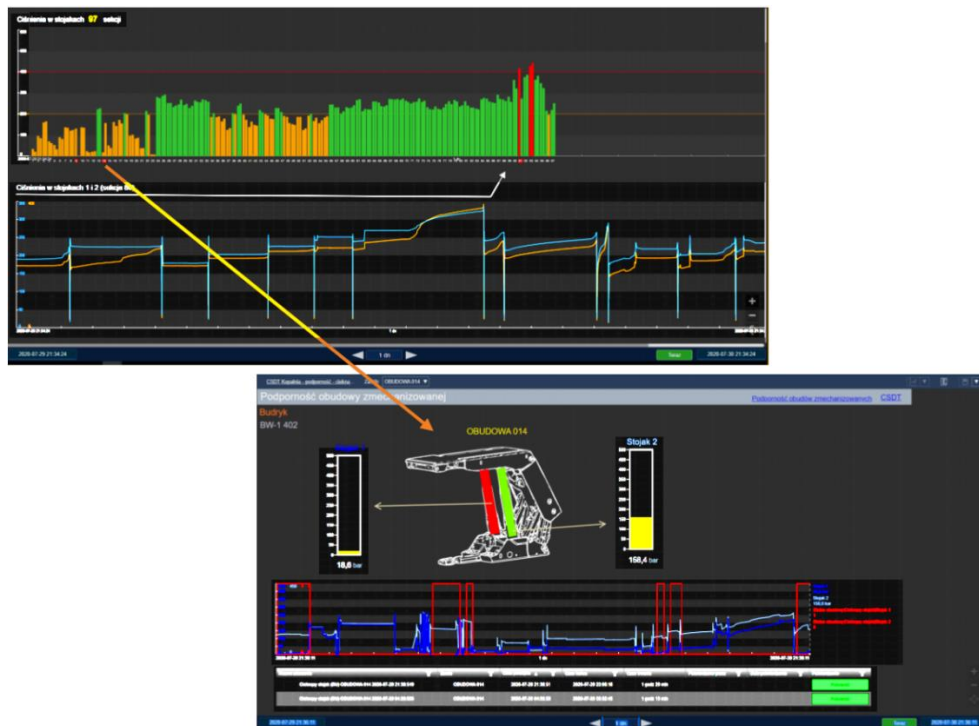
KWK Budryk  
Data wygenerowania: 2019-08-11

Stacja	Data	Praca nieefektywna PT		Zasypywanie PT	
		Czas	Rekt	Czas	Rekt
CZ-9 3642	2019-07-10 23:25:22	0:15:30	1	0:01:58	0
	2019-07-11 05:10:14	0:24:30	1		
	2019-07-11 11:20:10	0:16:24	1		
	2019-07-17 03:18:44	0:16:12	1		
	2019-07-19 22:05:13	0:17:30	1		
	2019-07-20 08:43:53	0:38:48	1		
	2019-07-22 05:17:07	0:26:32	1		
	2019-07-22 13:43:02	0:28:41	1		
	2019-07-23 10:30:30	0:33:19	1		
	2019-07-23 20:46:07	0:24:02	1		
	2019-07-24 23:11:31	0:19:28	1		

Rys. 3.17. Centralny Serwer Danych Technologicznych – wizualizacja pracy przenośnika taśmowego ilustrująca współpracę CSDT z SAP BO (analiza zależności pomiędzy pracą kilku maszyn)



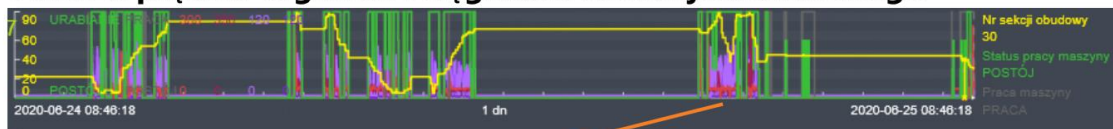
Rys. 3.18. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – monitoring podporności sekcji obudów zmechanizowanych – identyfikacja anomalii oraz cykli pracy obudowy



Rys. 3.19. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – monitoring podporności sekcji obudów zmechanizowanych



### Analiza prądów organów i ciągników kombajnu ścianowego



#### Status pracy maszyny

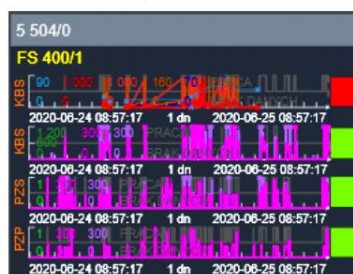
Value	Name	Description
0	BRAK DANYCH	Brak transmisji, brak komunikacji
1	POSTÓJ	Kombajn załączony, i/lub hydraulika
2	PRACA BEZ POSUWU	Oczekiwanie
3	PRACA Z POSUWEM	Jazda manewrowa
4	URABIANIE	Urabianie

Rys. 3.20. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – Analiza prądów organów i ciągnika kombajnu ścianowego – identyfikacja statusu kombajnu ścianowego

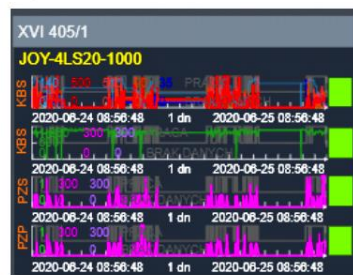
#### Brak źródła danych



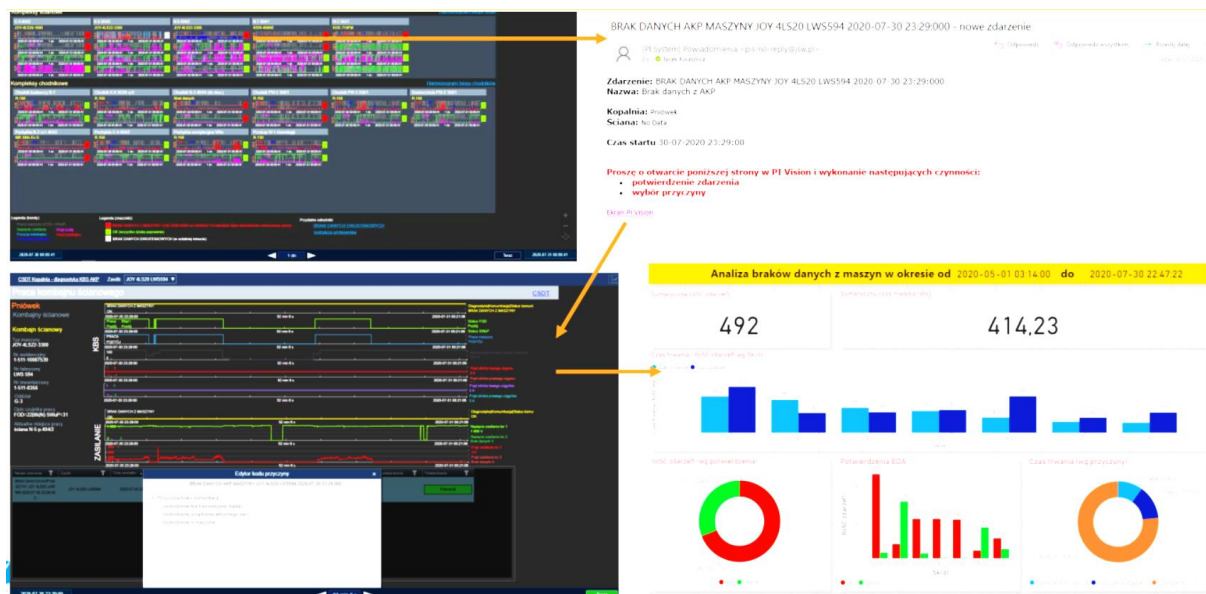
#### Brak danych z AKP



#### OK



Rys. 3.21. Centralny Serwer Danych Technologicznych (CSDT) – przykład wizualizacji transmisji danych z maszyn kompleksu ścianowego



Rys. 3.22. Centralny Serwer Danych Technologicznych - wizualizacja braku danych AKPiA (analiza stanu komunikacji)

Prowadzone na szeroką skalę i z olbrzymim rozmachem w sferze utrzymania ruchu działania modernizacyjne miały oczywiście również swój wymiar finansowy. Deloitte w jednym ze swoich raportów na temat cyfrowej transformacji w kierunku przemysłu 4.0 stwierdził, że implementacja strategii prognostycznego utrzymania ruchu wydłuża czas pracy sprzętu od 10 do 20%, zmniejszając ogólne wydatki na utrzymanie od 5% do 10%, skracając przy tym czas planowania konserwacji od 20 do 50%, co w skali tak dużego przedsiębiorstwa jakim jest JSW S.A. pozwala znacząco zmniejszyć koszty każdego dnia produkcji. Stąd taka determinacja całych zespołów analityków, informatyków, górników i elektryków w stosowaniu dedykowanych technik i technologii informacyjnych służących usystematyzowaniu i upowszechnieniu wewnątrz spółki informacji na temat utrzymania ruchu i przebiegu wydobywania na ścianach.

Rozbudowa CSDT o nowe metody raportowania, wykorzystanie sztucznej inteligencji w poszerzaniu bazy wiedzy na temat przebiegu prowadzonej eksploatacji, identyfikację czynników zaburzeń warunków naturalnych, technicznych i organizacyjnych jak również skutków ekonomicznych anomalii prowadzonej działalności to już nie daleka przyszłość, a realia pracy Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0 dnia dzisiejszego.

Dane gromadzone w CSDT z PI System pozwalają na tworzenie raportów w postaci dashboardów<sup>1</sup> zawierających dane produkcyjne oraz wybrane wskaźniki ekonomiczne. Symbolem nowej jakości w raportowaniu i analityce danych w JSW S.A. było uruchomienie po raz pierwszy w roku czerwcu 2018 roku nowego raportu (tzw. Dashboard Zarządcy – rys. 3.23) dystrybuowanego wprost do Zarządu Spółki i kluczowych osób jej kierownictwa.

<sup>1</sup> Dashboard – jest specyficznym rodzajem raportu, na którym najważniejsze informacje i wskaźniki powiązane z celami przedsiębiorstwa przedstawione są w formie wizualnej. Informacje te są umieszczone na jednym ekranie (panelu wielkoformatowym).

Dashboard Zarządczy zawiera następujące elementy:

- dobową produkcję węgla handlowego (planowaną i uzyskaną) w podziale na węgiel energetyczny (WE), węgiel koksujący typu 35 oraz węgiel typu 34,
- dobową sprzedaż węgla (planowana i uzyskaną) w podziale na węgiel energetyczny, węgiel koksujący typu 35, węgiel typu 34,
- dobowy postęp robót przygotowawczych (planowany i uzyskany),
- dobową produkcję węgla w podziale na poszczególne kopalnie,
- produkcję węgla narastająco od początku roku w podziale na poszczególne kopalnie,
- dobowy postęp robót przygotowawczych w podziale na poszczególne kopalnie,
- postęp robót przygotowawczych narastająco od początku roku w podziale na poszczególne kopalnie,
- dostępne środki finansowe spółki,
- zapasy węgla w podziale na węgiel energetyczny, węgiel koksujący typu 34, węgiel typu 35,
- parametry jakościowe węgla koksującego CSR<sup>1</sup>, CRI<sup>2</sup> dla poszczególnych kopalń,
- ceny Premium Low Vol<sup>3</sup>, TSI Premium Hard<sup>4</sup>, Semi Soft<sup>5</sup>, Coal CIF ARA<sup>6</sup>,
- kurs JSW S.A., kurs dolara.

Oprócz tego opracowano również dashboardy operacyjne z prowadzenia ścian (Dashboard Ranking Ścian) i prowadzenia przodków (Dashboard Ranking Przodków), które pozwalają na obiektywną ocenę pracy ścian i przodków oraz umożliwiają poprawę wyników produkcyjnych.

Dashboard Ranking Ścian pokazany na rysunku 2.24 zawiera następujące elementy:

- dobowe wydobywanie planowane i uzyskane w danym dniu dla wszystkich ścian w poszczególnych kopalniach,
- ranking dobowych czasów logicznych<sup>7</sup> dla wszystkich ścian,
- ranking sumarycznego wydobywania ścian w czasie ostatnich 30 dni,
- odchylenia od planu wydobywania poszczególnych ścian w czasie ostatnich 30 dni.

Dashboard Ranking Przodków pokazany na rysunku 2.25 zawiera następujące dane:

- odchylenia od planu postępu w czasie ostatnich 30 dniach dla wszystkich przodków,
- średni wybieg przodków dla wszystkich kopalń,
- ranking postępu przodków w czasie ostatnich 30 dni,
- ilość przodków osiągających dany postęp w podziale na technologię urabiania (kombajn chodnikowy, materiały wybuchowe, technologia mieszana).

---

<sup>1</sup> CSR (*Coke Strength after Reaction*) – wskaźnik wytrzymałości poreakcyjnej koksu

<sup>2</sup> CRI (*Coke Reactivity Index*) – wskaźnik reakcyjności koksu

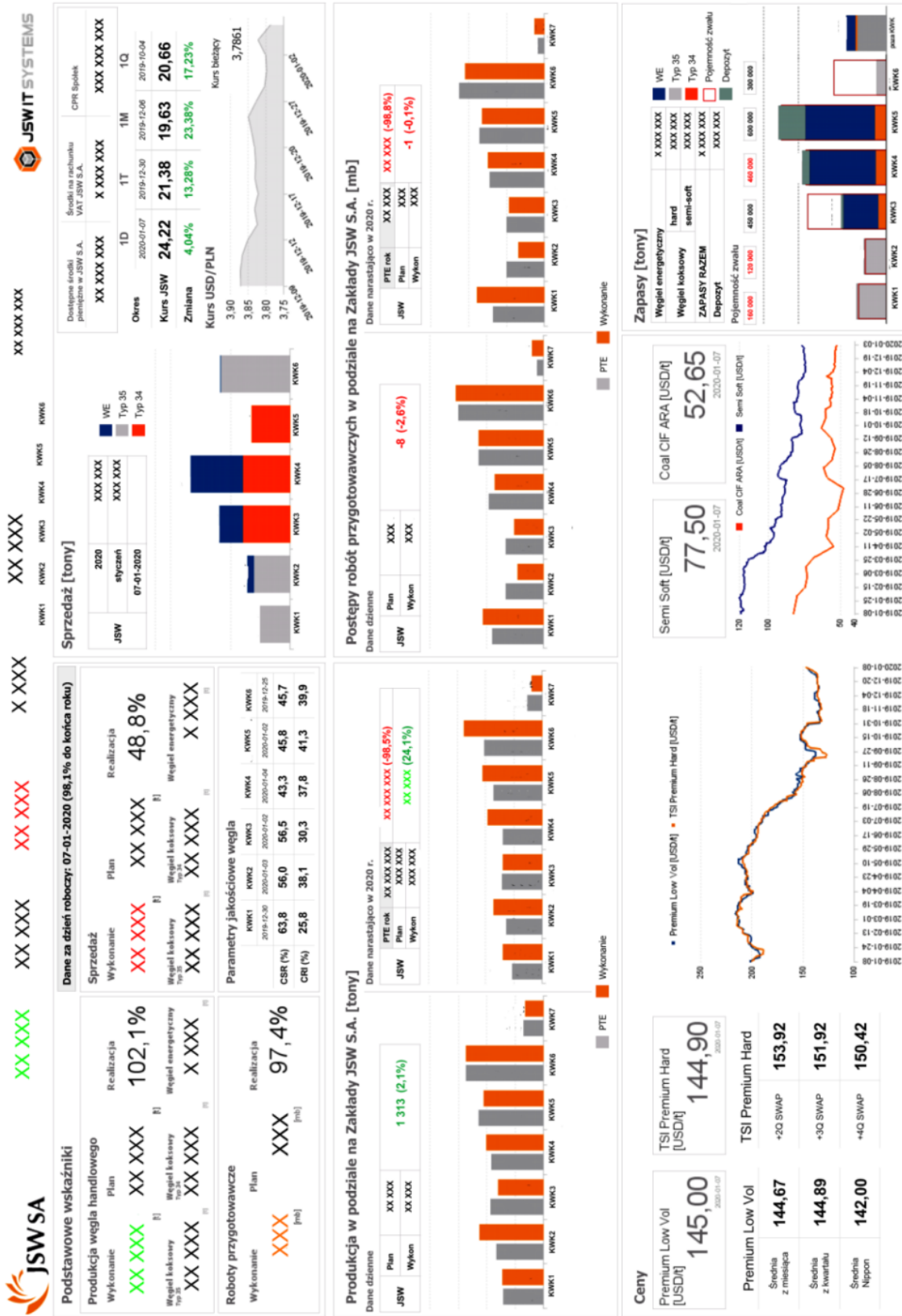
<sup>3</sup> Premium Low Vol – cena referencyjna węgla określana według metody Nippon Steel

<sup>4</sup> TSI Premium Hard – indeks cenowy węgla australijskich jakości premium

<sup>5</sup> Semi Soft – węgiel charakteryzujący się słabszymi własnościami koksotwórczymi nie nadający się samodzielnie do koksowania

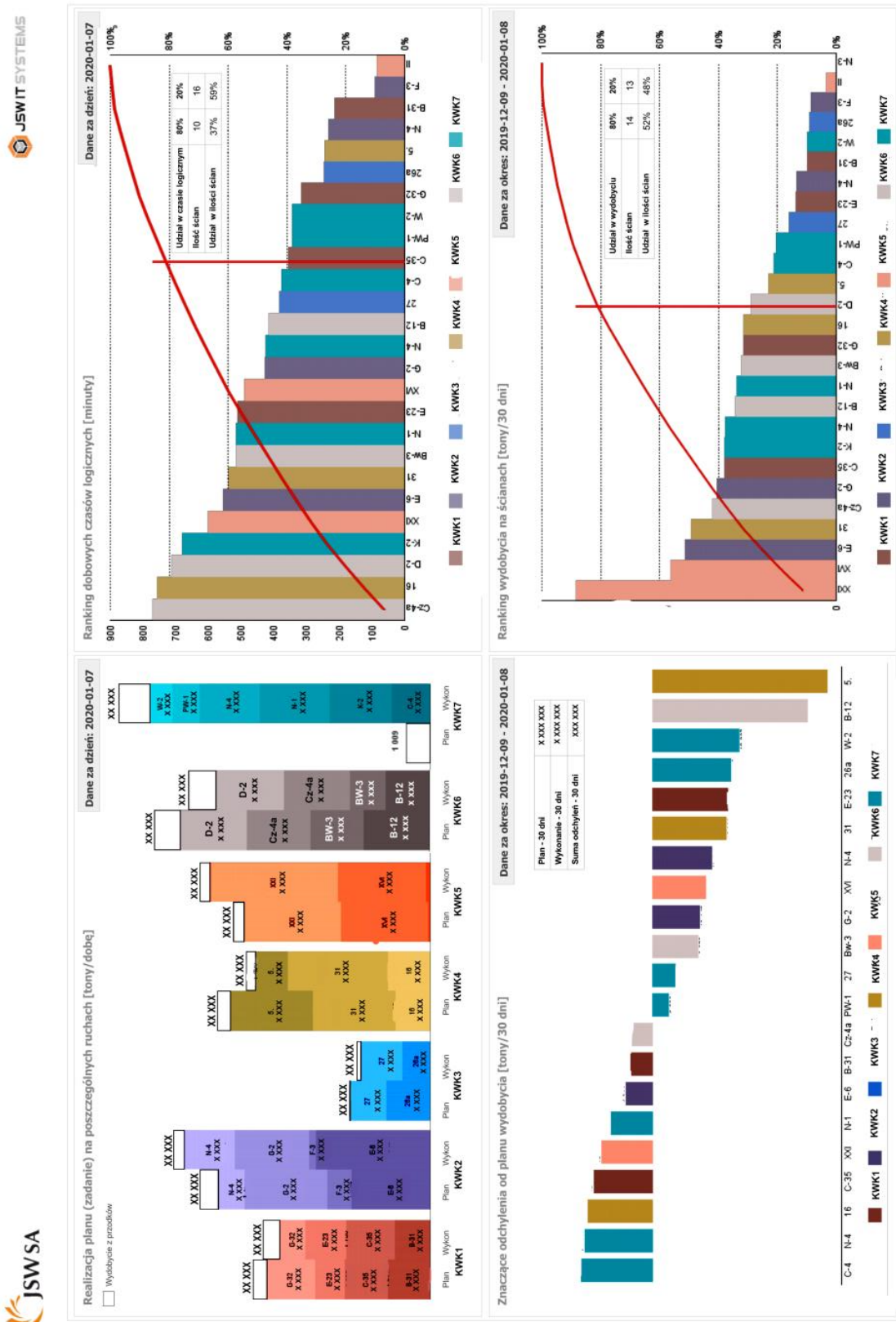
<sup>6</sup> Coal CIF ARA – europejska cena wskaźnikowa węgla importowanych w portach Amsterdam-Rotterdam-Antwerpia

<sup>7</sup> dobowy czas logiczny ściany (wyrażony w minutach) – czas, w którym jednocześnie był załączony kombajn, przenośnik ścianowy oraz przenośnik podścianowy

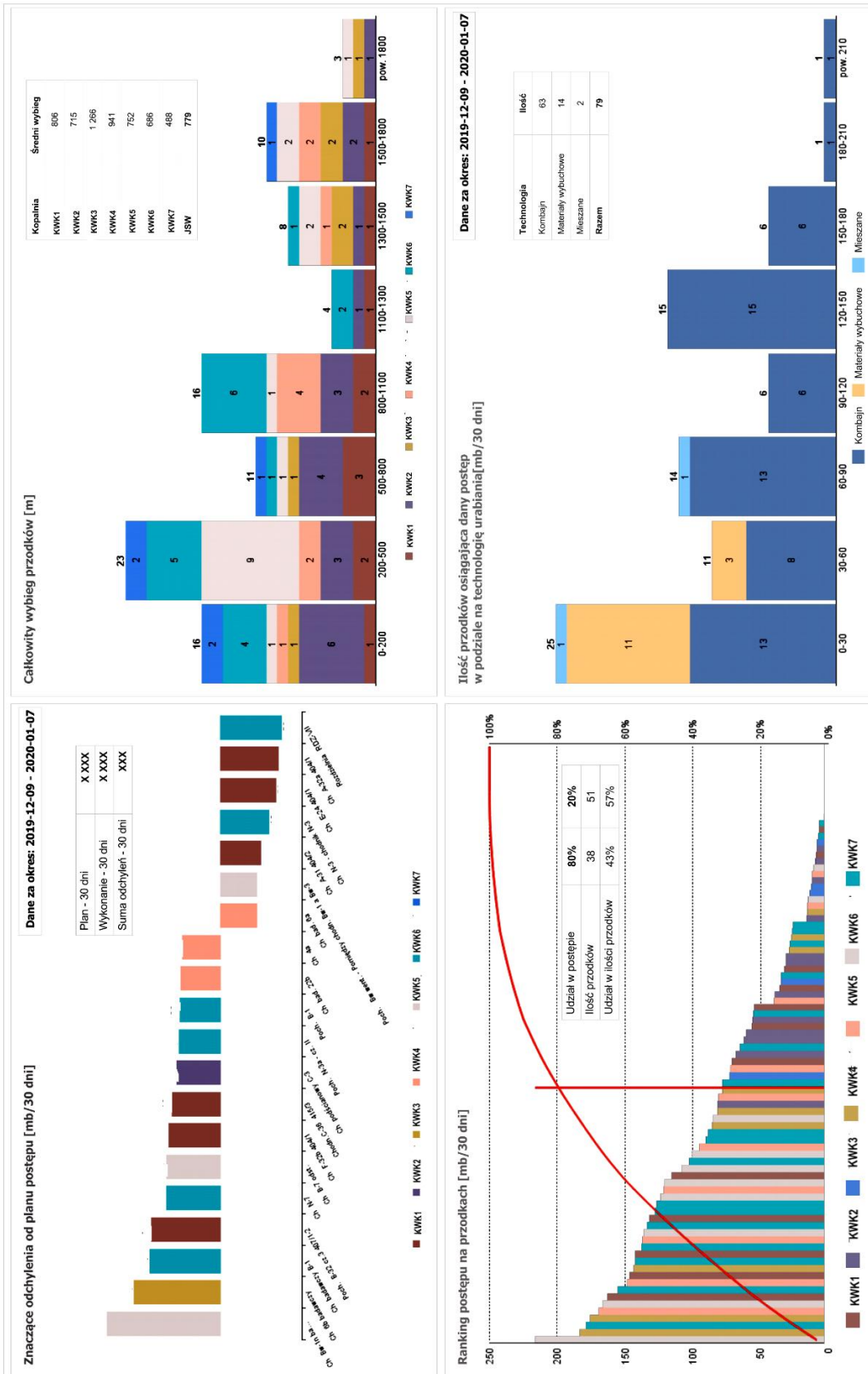


Rys. 3.23. Centralny Serwer Danych Technologicznych - Dashboard Zarządcy





Rys. 3.24. Centralny Serwer Danych Technologicznych - Dashboard Ranking Ścian



Rys. 3.25. Centralny Serwer Danych Technologicznych - Dashboard Operacyjny ranking Przodków

### 3.4. Zastosowanie inteligentnych technik przetwarzania danych w górnictwie

Podjęcie decyzji w warunkach niepewności jest charakterystyczne dla branży górniczej. Dostępność licznych technik przetwarzania danych, w kontekście istnienia wielu obszarów występowania ryzyka oraz zagadnień optymalizacji, świadczy najpełniej o potrzebie opracowania środowiska wspierającego procesy zarządcze na nowe sposoby.

Umiejętność uczenia się i adaptacji to podstawowa determinanta inteligentnego wspomaganie decyzji. Praktyczne zastosowanie indukcyjnych metod wnioskowania, w celu rozwiązania rzeczywistych problemów, wymaga od ekspertów dziedzinowych opracowania skutecznych modeli predykcyjnych, bazujących na informacji niepewnej. Inteligentne wspomaganie decyzji w warunkach ruchowych zakładu górniczego powinno więc stanowić połączenie badań operacyjnych będących źródłem doświadczeń optymalizacyjnych oraz technik (m.in. zagadnień sztucznej inteligencji) umożliwiających odkrywanie wiedzy z danych.

Część analityczna procesu odkrywania wiedzy z danych obecnych w systemach informacyjnych przedsiębiorstw górniczych może być realizowana zgodnie z modelem CRISP-DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*), SEMMA (*Sample, Explore, Modify, Model and Assess*), DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), VCofDM (*Virtuous Cycle of Data Mining*) lub kombinacją etapów wyszczególnionych w poszczególnych modelach (tabela 3.1).

#### Podstawowe etapy wybranych modeli eksploracji danych [Polak, 2014a]

Tabela 3.1.

CRISP-DM	SEMMA	VCofDM
1. Zrozumienie uwarunkowań biznesowych	1. Próbkowanie	1. Zidentyfikowanie problemów biznesowych
2. Zrozumienie danych	2. Eksplorowanie	2. Przekształcenie danych w informacje
3. Przygotowanie danych	3. Manipulacja	3. Podjęcie działań
4. Modelowanie	4. Modelowanie	4. Mierzenie i ocena wyników
5. Ewaluacja	5. Ocena	
6. Wdrożenie		

Selekcja danych, procedury ich czyszczenia, konsolidacji i transformacji dostosowane być powinny do konkretnych zadań. Zadania realizują natomiast proces poszukiwania odpowiedzi na zadane uprzednio pytania. Przy czym to, czego tak naprawdę organizacja chce się dowiedzieć, nie jest najczęściej jednoznacznie i trwale sformułowane. Budowa inteligentnych systemów informacyjnych rozpocząć się więc powinna od ustalenia wymagań informacyjnych, zrozumienia uwarunkowań biznesowych i wyznaczenia zadań procesu odkrywania wiedzy z danych.

Eksploracja danych jest fundamentalnym etapem procesu odkrywania wiedzy, na który składają się złożone metody i techniki badawcze umożliwiające przejście od przetwarzania danych do odkrywania wiedzy. Dobór technik stosowanych indywidualnie lub w połączeniach uwarunkowany jest naturą problemu wymagającego rozwiązania. Najczęściej wybór metody, która poradzi sobie najlepiej z konkretnym zbiorem danych i zadaniem (tabela 3.2), dokonany

zostaje w drodze empirycznych testów. Proces eksploracji danych, nie jest prostym, rutynowo realizowanym działaniem dającym się zautomatyzować, wymaga interdyscyplinarnej wiedzy zarówno w zakresie przygotowania danych, realizacji zadań analitycznych jak również oceny i interpretacji wyników.

### Wybrane zadania i techniki badawcze w eksploracji danych [Polak, 2014a]

Tabela 3.2

Zadania	Techniki
szacowanie i prognozowanie	wizualizacje na wykresach
klasyfikacja i regresja	analizy statystyczne
opis (m.in. analiza gęstości, korelacji)	sztuczne sieci neuronowe
grupowanie (analiza skupień i segmentacja)	rozmyte reguły wnioskowania
odkrywanie wzorców i reguł (m.in. asocjacji, sekwencji)	modele Markowa
odkrywanie charakterystyk	metody uczenia maszynowego
wykrywanie punktów osobliwych	maszyny wektorów nośnych
wykrywanie trendów i odchyłeń	klasyfikatory Bayesowskie
analiza szeregów czasowych	drzewa i reguły decyzyjne
analiza tekstu	algorytmy grupowania
wyszukiwanie wzorców	algorytmy genetyczne i ewolucyjne, metody roju

W górnictwie podstawowe obszary stosowania inteligentnych systemów przetwarzania danych upatrywać należy m.in. w kontekście optymalizacji działań związanych z:

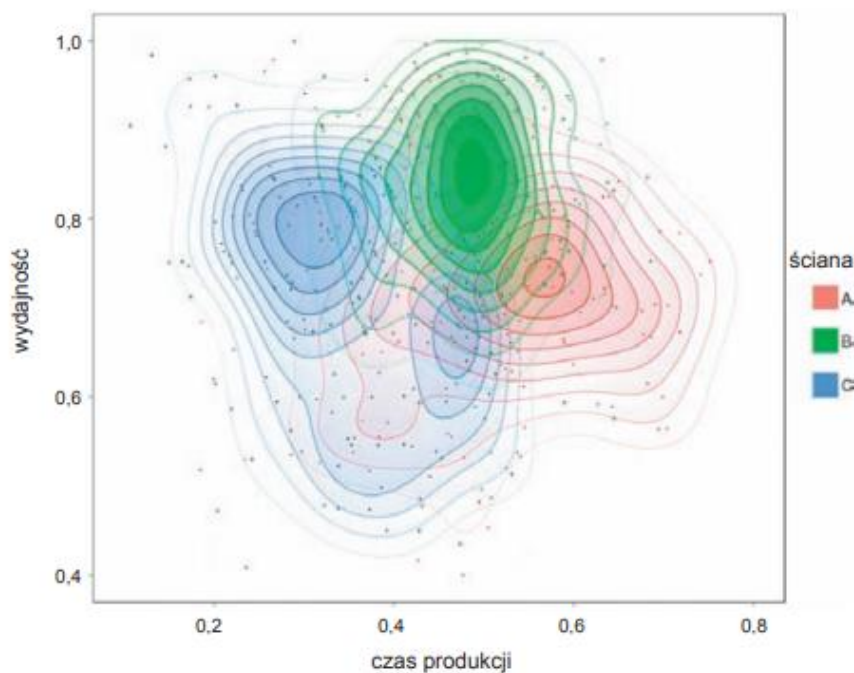
- klasyfikacją zasobów, projektowaniem i likwidacją kopalń, oceną ekonomiczną przedsięwzięć,
- modelowaniem i zagospodarowaniem złoża, harmonogramowaniem wydobycia,
- organizacją produkcji, doбором rozwiązań technicznych,
- logistyką, utrzymaniem ruchu i diagnostyką stanu maszyn oraz urządzeń,
- wczesnym ostrzeganiem o zagrożeniach, oceną ryzyka, budową modeli symulacyjnych,
- automatyzacją sterowania złożonymi procesami technologicznymi,
- budżetowaniem i kontrolingiem operacyjnym,
- projekcją przyszłych warunków eksploatacji, kosztów i wyników produkcyjnych.

Zastosowanie technik inteligentnych w zidentyfikowanych aspektach działalności górniczej staje się coraz bardziej powszechne.

Wdrożenie inteligentnych systemów przetwarzania danych, obok wymienionych zastosowań, stanowić może realne wsparcie pozostałych obszarów działalności górniczej, obejmując w szczególności zagadnienia planistyczne i optymalizacyjne realizowane z wykorzystaniem analiz wieloscenariuszowych lub wielokryterialnych.



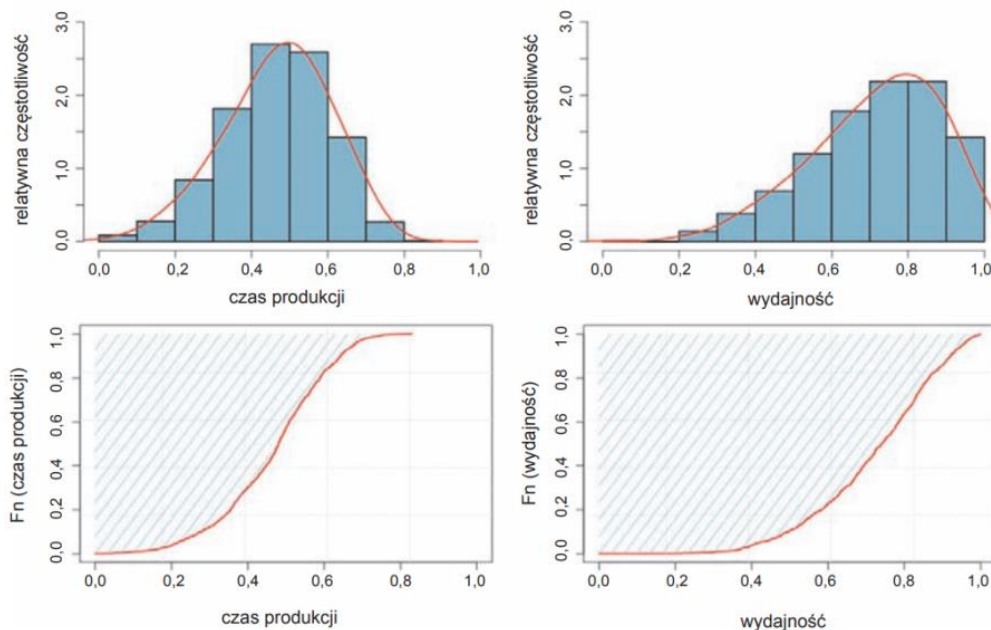
Na rysunku 3.26. przedstawiono przykładowe wyniki charakteryzujące przebieg wydobywania węgla w trzech przodkach ścianowych. Wyniki te zostały umieszczone na zunifikowanej płaszczyźnie wydajności i czasu produkcji. Następnie zbiory danych poddane zostały analizie gęstości, co pozwoliło na wizualizację ich rozproszenia oraz lokalizację w przestrzeni. Przedstawione działanie stanowi przykład praktycznego wykorzystania podstawowej techniki eksploracji danych – wizualizacji na wykresach.



Rys. 3.26. Wybrane kompleksy ścianowe poddane analizie w płaszczyźnie kluczowych miar efektywności (widoczne na przykładzie ściany C skutki zmiany organizacji pracy) [Polak, 2014a]

Ten sposób eksploracji podlega jednak oczywistym ograniczeniom ze strony maksymalnej liczby cech (wymiarów) eksploracji danych. Dodając kolejne wymiary, m.in. czas postoju, awarii, realizacji innych prac, uzasadnione jest przeprowadzenie klasyfikacji i/lub grupowania obserwacji z wykorzystaniem algorytmicznych technik eksploracji danych, m.in. rozmytych reguł wnioskowania, wielowarstwowych sieci neuronowych, maszyn wektorów nośnych, metod k-średnich lub najbliższego sąsiedztwa.

Praktyczne wykorzystanie tego typu analiz polegać może na wyznaczeniu wzorców charakteryzujących przebieg produkcji oraz wyniki osiągane przez poszczególne przodki. Jest to możliwe do osiągnięcia w drodze zastosowania systemów uczących się, odwzorowujących nieliniowe zależności pomiędzy poszczególnymi zmiennymi. Dodatkowe możliwości daje zastosowanie metody Monte Carlo z procedurą losowania z rozkładów (rys. 3.27).



Rys. 3.27. Zunifikowana dystrybuanta i histogram czasu pracy oraz wydajności sporządzona zbiorczo dla kompleksów ścianowych [Polak 2014a]

Wyselekcjonowanie istotnych cech poszczególnych przodków ścianowych staje się wtedy możliwe w wyniku analizy statystycznej wygenerowanych kombinacji, posiadających określoną pewność przyporządkowania klasy.

Poddając analizie dane historyczne oraz bieżące informacje docierające z ruchu – m.in. warunki geologiczno-górnice, zdarzenia (np. wystąpienie awarii), pomiary realizowane przez układy sterowania lub telemetrii (np. stan atmosfery kopalnianej, prędkość posuwu kombajnu i obciążenie silnika organu) - możliwe jest przeprowadzenie krótko i długookresowej predykcji poziomu wydobywania. Umożliwić to może podjęcie natychmiastowych działań w zakresie wzajemnej koordynacji zadań produkcyjnych celem stabilizacji poziomu i jakości wydobywanego urobku.

Patrząc z punktu zarządzania cyklem życia wyposażenia, niemniej istotne są zagadnienia wielowymiarowej optymalizacji całkowitych kosztów cyklu życia środka technicznego – LCC (*Life Cycle Cost*). Na ogół punkt optymalny kosztowo stanowi kompromis na osi wielu kierunków możliwych usprawnień i oszczędności. Jego poszukiwanie stanowi skomplikowany proces, który wspomagany być może poprzez zastosowanie technik inteligentnych. Oszacowanie strat, związanych m.in. z obniżoną dyspozycyjnością, naprawialnością, awaryjnością i wydajnością zakupionego wyposażenia – możliwe jest m.in. poprzez uwzględnienie wpływu zidentyfikowanych ograniczeń na jednostkowy koszt produkcji (koszty stałe i względnie stałe). Zwiększenie nakładów inwestycyjnych umożliwiających nabycie bardziej efektywnych rozwiązań to jednak działanie wymagające solidnego uzasadnienia. Dostarczyć je powinien system informacyjny przedsiębiorstwa, realizujący funkcje ewidencji i przetwarzania kompleksowych zbiorów danych.

W odniesieniu do kompleksów ścianowych potrzeba bieżącego doskonalenia procesów produkcji, narzuca wprost konieczność analizy wyników produkcyjnych i kosztów w wymiarze

czasu, przestrzeni oraz zdefiniowanych zadań (przedsięwzięć) wydobywczych. Opis warunków geologiczno-górnich, zastosowanego wyposażenia i technologii, sposobu organizacji produkcji, liczebności i kwalifikacji załogi, dostępności infrastruktury (m.in. transportowej) pozwala w drodze zastosowania technik inteligentnych na ujawnienie ukrytych zależności. Umożliwia to nie tylko uzasadnienie decyzji zakupowych, lecz przede wszystkim przeprowadzenie obiektywnej predykcji wyników i kosztów charakteryzujących przyszłe przedsięwzięcia wydobywcze na bazie uprzednio zaobserwowanych doświadczeń kopalni, co może znacząco usprawnić procesy planowania.

### **3.5. Adaptacja kluczowych miar efektywności strategii Total Productive Maintenance (TPM) kluczem raportowania Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0.**

Znamienny dla branży górniczej udział kosztów stałych oraz konieczność dysponowania rozbudowanym parkiem maszynowym, zobowiązuje funkcjonujące na rynku przedsiębiorstwa do realizacji ciągłej presji na rzecz wzrostu produktywności i redukcji kosztów prowadzonej działalności. W praktyce oznacza to utrzymanie wysokiej sprawności technicznej oraz wydajności produkcyjnej stosowanych w procesie produkcji maszyn i urządzeń górniczych. Osiągnięcie wymienionych celów wymaga bezwzględnej koncentracji na właściwym względem warunków eksploatacji, planów produkcyjnych i ponoszonych kosztów doborze środków produkcji oraz optymalizacji procesów ich użytkowania i obsługi.

Strategia TPM (*Total Productive Maintenance*) to stosunkowo młoda, rozwijana od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku filozofia zarządzania. Angażuje ona służby utrzymania ruchu oraz operatorów w ciągły proces doskonalenia procesu produkcji poprzez prowadzone zespołowo działania, mające za zadanie maksymalizację potencjału produkcyjnego przedsiębiorstwa. Szczegółowo, ewolucja oraz obecne kierunki rozwoju strategii zostały opisane w literaturze [Brzychczy, 2006; Polak, 2014b]. Przedmiotem strategii TPM w odróżnieniu od TQM (*Total Quality Management*) nie jest bezpośrednio jakość produktu, lecz wyposażenie – maszyny i urządzenia niezbędne do jego wytworzenia.

Skoncentrowanie uwagi wokół procesu użytkowania i obsługi podstawowych środków produkcji, skutkuje w rezultacie zorientowaniem na przyczyny strat w zakresie efektywności wykorzystania posiadanych zdolności produkcyjnych.

Strategia TPM często postrzegana jest na równi z Lean Manufacturing. Jej adaptacja bowiem, w pierwszej kolejności ukierunkowuje wszelkie działania na tworzenie wartości dodanej (produktu), co przekłada się na wypracowanie zysku dla przedsiębiorstwa. Realizacja produkcji zgodnie z filozofią TPM wymaga ciągłego doskonalenia i koncentracji na działaniach umożliwiających w dalszej perspektywie skuteczną prewencję, a więc zapobieganie wszelkim nieprawidłowościom w miejscu dotychczasowych działań, mających charakter korekcyjny. Jest to osiągalne za sprawą pełnego zaangażowania pracowników wszystkich szczebli w wielofunkcyjnych zespołach pracujących nad eliminacją zidentyfikowanych problemów na poziomie organizacji zadań produkcyjnych i obsługowych. Implementacja wymienionych wcześniej postulatów, podobnie jak całej filozofii, wymaga podejścia od góry do dołu (*ang. top – down*).

Kreowanie świadomości i zaangażowanie w proces ciągłego doskonalenia powinno wobec tego rozpoczynać się od najwyższych szczebli zarządzania. Zarówno dla pracowników operacyjnych, jak i kadry zarządczej, ważną rolę odgrywać muszą mechanizmy oceny i afirmacji wyników w obszarze produkcji i efektywności pracy. Stanowią one powinny podstawowy element skutecznego systemu motywowania, ukierunkowanego na osiągnięcie zamierzonych efektów, a nie wyłącznie realizację samych działań.

W aspekcie przygotowywania systemu raportowania budowanego Centrum Zaawansowanej Analityki Danych (CZAD JSW 4.0.) niezwykle istotne stało się określenie miar oraz opracowanie metod analizy, które stanowiłyby wymierne wsparcie w ocenie efektywności wykorzystania podstawowych maszyn i urządzeń górniczych stosowanych w kopalniach JSW S.A. Miary te, umożliwiając powinny analizę wyników produkcyjnych w kontekście zunifikowanych miar efektywności pracy, co dawałoby możliwość m.in. sprawnego motywowania załóg produkcyjnych oraz budowę spójnego, kompleksowego zasobu wiedzy. W dalszej perspektywie, kluczowe miary efektywności stanowiąc powinny podstawę do określenia skali spodziewanych efektów związanych z realizacją różnorodnych działań optymalizacyjnych, poprzez dynamiczny szacunek kosztów cyklu życia wyposażenia oraz jednostkowych kosztów produkcji.

### **3.5.1. Analiza istotnych uwarunkowań i funkcjonalności bieżących systemów informacyjnych w górnictwie**

Na przestrzeni ostatnich lat zaobserwować można ciągły rozwój techniki, a co za tym idzie wzrost kosztów wyposażenia wyrobisk [Polak, 2014b]. Wraz ze wzrostem nakładów inwestycyjnych następuje wzrost kosztów odtworzenia zdolności produkcyjnych oraz kosztów utrzymania wyposażenia. Drastyczne spadki cen zbytu węgla i utrzymujące się wysokie koszty wydobycia, wymagają zwiększenia rentowności posiadanych aktywów i uzmiennienia kosztów operacyjnych.

Wysoki udział kosztów stałych stanowi obecnie podstawową barierę efektywności górnictwa. Ich partycypacja w całkowitych kosztach produkcji jest zróżnicowana w poszczególnych kopalniach. Przeciętnie poziom kosztów stałych (w tym względnie stałych) szacowany jest na poziomie około 70%. Pokonanie tej bariery wymaga wzrostu koncentracji wydobycia, a więc modernizacji modelu kopalni, w tym optymalizacji jej kluczowych procesów, m.in. transportu załogi do przodka, zastosowania wysoko wydajnych i niezawodnych maszyn i urządzeń górniczych. Działania te wiążą się jednak z poniesieniem dodatkowych nakładów inwestycyjnych, na które znaczna część branży zwyczajnie nie może sobie pozwolić. Zmniejszenie jednostkowych kosztów produkcji w warunkach ograniczenia inwestycji, niezbędnych w celu odtworzenia zdolności produkcyjnych, wymaga więc podjęcia stanowczych kroków w zakresie poprawy efektywności wykorzystania posiadanego wyposażenia.

Cel ten możliwy jest do zrealizowania m.in. poprzez sprawnie działający system motywowania, premiujący efektywność zarówno w obszarze produkcji, jak i bezpieczeństwa. Funkcjonowanie programów poprawy efektywności, systemu motywacyjnego, identyfikacja luk, zakłóceń i strat chronicznych występujących w procesie produkcji, nie są jednak możliwe bez skutecznych mechanizmów pomiaru efektywności.

Kompleks ścianowy stanowi układ znajdujący się bezpośrednio na początku łańcucha produkcji; w zdecydowanej mierze determinuje on wyniki produkcyjne, stąd też w aspekcie badawczym rozważany być powinien jako podstawowy przedmiot uwagi. W kopalniach funkcjonują różnorakie systemy i kanały informacyjne, umożliwiające ewidencję podstawowych informacji o jego pracy. W znacznej części kopalń istnieje problem integracji informacji ewidencjonowanych w poszczególnych obszarach informacyjnych, m.in. raportów o awariach, postępie eksploatacji, czasach pracy maszyn, warunkach górniczo-geologicznych. Wynika to po części ze sposobu bezpośredniego delegowania zakresu odpowiedzialności na poszczególne, słabo skomunikowane ze sobą działy. Często istnieje silna klasyfikacja informacji na istotne, wykorzystywane w ramach realizowanych cyklicznie procesów oraz te, nad którymi nadzór nie został jednoznacznie i trwale sformalizowany lub obejmuje dłuższy horyzont czasowy, wykorzystując inne źródło danych [Polak, 2014b].

Sytuacja taka dotyczy m.in. raportów zmianowych z przodka ścianowego. Informacje te są zazwyczaj dostępne i wykorzystywane w sposób bieżący. W górnictwie węgla kamiennego brakuje jednak trwałych zasad i mechanizmów ich długookresowej analizy, skutkujących wypracowaniem jednolitego standardu informacyjnego. W rzeczywistości wiążące są wykonywane w znacznie dłuższym przedziale czasu odbiory, które stanowią znacznie bardziej wiarygodne źródło danych, pomimo że ich szczegółowość jest mocno ograniczona. Kontrola produkcji w krótszym horyzoncie czasowym najczęściej odbywa się co dobę na poziomie całego zakładu. Jest to informacja porównywalna i wiarygodna, jednak w żaden sposób nie umożliwia pomiaru efektywności, określenia poziomu strat oraz identyfikacji ich podstawowych przyczyn.

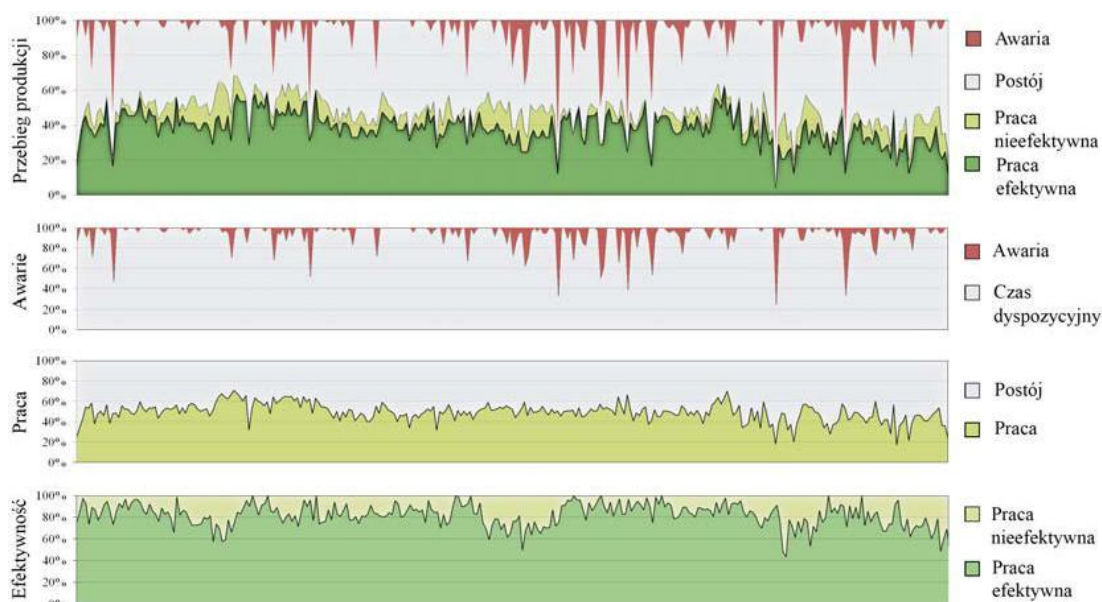
Istotnym wsparciem dla kadry zarządczej jest dostęp do systemów SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). W odróżnieniu od rozwiązań klasy MES (*Manufacturing Execution System*) systemy te umożliwiają śledzenie informacji w krótkim horyzoncie czasowym. Ponieważ wspomagają one kontrolę operacyjną, podstawowe wymagania względem ich funkcjonalności dotyczą wsparcia pracy dyspozytora w sposób on-line zarówno w zakresie utrzymania ruchu, jak i kontroli parametrów bezpieczeństwa. W związku z czym nie posiadają one zintegrowanych narzędzi, umożliwiających analizę zgromadzonych danych w dłuższym przedziale czasu oraz z reguły cechują je ograniczenia w zakresie eksportu i opisu przechowywanych danych.

Wysoki udział kosztów stałych w całkowitych kosztach kopalni przemawia wprost za prezentacją kluczowych miar efektywności pracy kompleksów ścianowych w wymiarze czasowym. Biorąc przykład z najlepszych praktyk, zasadne wydaje się zastosowanie elementów stosowanej w branży produkcyjnej strategii TPM, a dokładnie zastosowanie wskaźnika równoważnego OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), który procentowo umiejscawia wszystkie miary efektywności na osi czasu. W ten sposób możliwa jest identyfikacja zarówno czasu tworzenia wartości dodanej (produkcji), jak i powstających w tym procesie strat. Podejście takie może być niezmiernie przydatne, mając na uwadze fakt, że w kopalni podziemnej czas niemalże wprost może być utożsamiany z ponoszonym kosztem.

Koncentracja na produktywności wyposażenia, znamienne dla strategii TPM, z pewnością znaleźć może zastosowanie w przypadku kopalń. Niemniej warunki charakteryzujące produkcję seryjną – w tym m.in. stacjonarność, znikoma ilość zmiennych losowych, ograniczony wpływ otoczenia – pozwalają na skrupulatne zaplanowanie i rozliczanie zadań produkcyjnych.

W przypadku ruchomego układu produkcyjnego jakim jest kompleks ścianowy, pracującego w skrajnie nieprzyjaznych i niepewnych warunkach środowiskowych, procesy te są niezwykle utrudnione, a często wręcz niemożliwe. Stąd też harmonogramując lub rozliczając wydobyte z poszczególnych ścian, za bezpieczny okres rozliczeniowy przyjmuje się miesiąc. W krótszym horyzoncie następuje wzajemna koordynacja działań produkcyjnych w obrębie przodków ścianowych, celem osiągnięcia planowanych parametrów produkcji (w tym również jakości produktu handlowego) na poziomie całego zakładu.

Planując lub rozliczając produkcję dla ściany, trudno jest egzekwować wykonanie normy, a nawet ją wyznaczyć na poziomie poszczególnych zmian roboczych. Ustalając za normę cząstkowe, proporcjonalne wartości wyliczone z planu miesięcznego, może się okazać, że w niektóre dni jej wykonanie wyniosło ponad 180%, a w inne zaledwie 11% (rys. 3.28). Dobowe wykorzystanie zdolności produkcyjnych maszyn górniczych charakteryzuje się bowiem dużą zmiennością w czasie.



Rys. 3.28. Przebieg produkcji dla przykładowego kompleksu ścianowego [Polak, 2014b]

Obserwowany w górnictwie stopień wykorzystania czasu pobytu załogi w ścianie (TUD) zmienia się w zakresie od 30 do 90%, natomiast stopień wykorzystania proceduralnego (PUD) od 20 do 95%. Różnice wynikają m.in. ze sposobu organizacji produkcji, wystąpienia ograniczonych w czasie zakłóceń w postaci awarii, pogorszenia warunków górnictwo-geologicznych, konieczności wykonania prac konserwacyjnych, które są niezbędne do realizacji dalszych zadań produkcyjnych.

Optymalizacja procesów zarządzania środkami produkcji w górnictwie z wykorzystaniem elementów filozofii TPM w pierwszej kolejności wymaga zdefiniowania systemu kontroli i miar efektywności wykorzystania potencjału produkcyjnego sprzętu. Trudno bowiem minimalizować straty pojawiające się w procesie produkcji bez właściwego i skutecznego systemu ich identyfikacji i oceny. Informacja z ruchu stanowiąca swoiste sprzężenie zwrotne stanowi podstawę oceny podjętych działań. Jej brak uniemożliwia całkowicie prowadzenie efektywnego zarządzania środkami produkcji.

Aby móc kontrolować określone, kluczowe wskaźniki efektywności należy móc je mierzyć oraz obserwować ich zmiany w funkcji podjętych działań (cykl PDCA – *Plan Do Check Act*).

### 3.5.2. Możliwości adaptacji kluczowych miar efektywności strategii TPM

Ponieważ w filozofii TPM główny przedmiot uwagi stanowi wyposażenie produkcyjne, podstawowe miary wykorzystania potencjału produkcyjnego stanowi wskaźnik całkowitej efektywności sprzętu – OEE oraz instalacji (zakładu) – OPE (*Overall Plant Effectiveness*). Analiza podstawowych przyczyn strat ujętych we wskaźniku OEE umożliwia m.in. optymalny dobór programów obsługi sprzętu oraz doskonalenie procesów produkcyjnych (np. Kaizen), co z kolei wpływa na wzrost całkowitej produktywności, a więc poprawę wskaźnika. Co istotne, uniwersalna budowa wskaźnika OEE umożliwia szeroko rozumiany benchmarking oddziałów wydobywczych, linii i układów produkcyjnych lub kopalń należących do grupy kapitałowej w dziedzinie różnorodnych działań związanych z produkcją. Nie bez znaczenia jest również możliwość odniesienia osiągniętych wyników do standardów i norm światowych, co w dalszej perspektywie skutkuje zobiektywowaną oceną, prowadzącą do adaptacji najlepszych praktyk na wzór liderów danej branży. Wielostopniowa budowa wskaźnika OEE umożliwia identyfikację poziomu głównych strat chronicznych, występujących w procesie produkcji. Wartość wskaźnika określa jak efektywnie wykorzystywany jest sprzęt oraz czas przeznaczony na produkcję.

Wskaźnik OEE obejmuje iloczyn trzech kluczowych miar: dostępności (*ang. Availability*), wydajności (*ang. Throughput Rate*) oraz jakości (*ang. Quality Rate*):

- Miara dostępności (*ang. Availability*) standardowo liczona jest jako stosunek czasu operacyjnego do harmonogramowego czasu pracy. Podstawowy wymiar strat dostępności stanowi czas nieplanowanego zatrzymania produkcji (*ang. Down-time Loss*).
- Miara wydajności określana jest poprzez odniesienie bieżącej wydajności do osiągalnej wydajności maksymalnej. Straty wydajności określane są jako utrata „prędkości” produkcji (*ang. Speed Loss*).
- Miara jakości obliczana jest na podstawie ilości wytworzonych produktów spełniających wymagania jakościowe w relacji do całkowitej produkcji. Straty związane z tym elementem opisywane są jako straty jakości (*ang. Quality Loss*).

Literatura krajowa i zagraniczna szeroko opisuje próby dopasowania elementów TPM do specyfiki górnictwa. Istnieje również szereg prac poświęconych zagadnieniom związanym z oceną efektywnego czasu pracy, efektywności cyklu produkcyjnego realizowanego w przodkach ścianowych [Brzychczy, 2008; Kicki, 2011; Polak, 2014a].

Wartość wskaźnika OEE stanowi miarę wartości dodanej (*ang. Net Value Added*) utworzonej w harmonogramowym czasie pracy, który określony jest przez zapotrzebowanie na produkt (plany produkcyjne). Metodyka liczenia wskaźnika OEE nie uwzględnia zatem strat związanych z planowanymi przestojami.

W przypadku górnictwa, supremacja kosztów stałych (m.in. utrzymanie wyrobisk, odwadnianie, przewietrzanie), mechanika górotworu oraz otoczenie wpływające na przyspieszone starzenie obiektów technicznych, przemawia za realizacją zadań produkcyjnych



w sposób ciągły. Dni „czarne”, rozumiane jako dni z wydobyciem, stanowią podstawowy okres realizacji zadań produkcyjnych. Zwykle obejmują one dwie do czterech zmian produkcyjnych i jedną konserwacyjną. Przydzielenie zadań dla zmian produkcyjnych jest elastyczne, plan pracy ulega bowiem zmianom w przypadku wystąpienia pewnych zdarzeń lub sytuacji, np. nieplanowany postój innej ściany, konieczność realizacji prac konserwacyjnych, wystąpienie trudnych warunków górniczych.

Proces wydobywania kopaliny w przodku ścianowym obejmuje zarówno postęp ściany, jak i wykonywanie prac towarzyszących wydobywaniu. W trakcie czasu przeznaczanego na produkcję realizowana jest m.in. bieżąca obsługa sprzętu (m.in. kontrola stanu technicznego, procedura uruchomienia) oraz szereg innych działań umożliwiających utrzymanie wyrobisk i zapewnienie ciągłości produkcji (m.in. pobierka spągu, przebudowa lub likwidacja chodników przyścianowych, rabunek obudowy, przekładka przenośnika, kruszenie kęsów i udrażnianie dróg transportu, obryw i rozbijanie skał). Ze względów bezpieczeństwa bądź ograniczeń technologicznych wykonanie znacznej części prac wymaga zatrzymania produkcji. Czas realizacji prac oraz postoju określa rzeczywisty, dostępny czas, który może zostać przeznaczony na wydobywanie, stanowiący miarę gotowości technologiczno-organizacyjnej. Wymiar tego czasu nie podlega bezpośredniemu planowaniu, jego oszacowanie możliwe jest na poziomie kontroli operacyjnej. Równocześnie poza czasem awarii trudno jest jednoznacznie określić przyczynę zatrzymań produkcji. Szczegółowa ewidencja czasu realizowanych czynności i postojów innych niż awarie jest w praktyce niezwykle kłopotliwa.

Analizując wyłącznie czas pracy kombajnu, zauważyć można wyraźnie zmienną wydajność produkcji. Wynika to głównie z krótkich zatrzymań (m.in. trudności przy przestawieniu obudowy, zmiana położenia ramion), start proceduralnych (m.in. wyrównanie końca ściany) oraz zmniejszenia postępu wynikającego z pogorszenia warunków górniczo-geologicznych (m.in. obecność skały płonnej, wydzielanie się metanu, zaciskanie obudowy zmechanizowanej).

Ostatecznie rozpatrywać można jakość realizowanej produkcji, gdzie za produkcję w pełni jakościową przyjąć można eksploatację w granicach pokładu. Poziom strat w takim układzie oznaczać powinien udział przybierki stropu i spągu wraz z opadem skał w całkowitej masie wydobytego urobku.

Wszystkie opisane składniki informacyjne są możliwe do pozyskania z obecnie funkcjonujących systemów informowania. Zasadniczo ich ewidencja sprowadza się do określenia: ile dni w analizowanym przedziale czasu stanowiły dni z produkcją oraz wyodrębnienia wraz z określeniem udziału czasowego stanu: awarii, postoju i pracy. Składniki odwzorowujące wydajność i jakość produkcji oszacować można analizując parametry ścian, postęp i wagę wydobytego urobku w określonym czasie. Typową budowę wskaźnika OEE postanowiono zmodyfikować poprzez uwzględnienie obciążenia oraz wyszczególnienie informacji o awariach. Poszczególne elementy wskaźnika stanowią:

- obciążenie – miara planowanego wykorzystania dni kalendarzowych,
- gotowość techniczna – miara niezawodności i naprawialności, uwzględniająca czas awarii,
- gotowość technologiczno-organizacyjna – miara czasu postoju i realizacji innych prac,

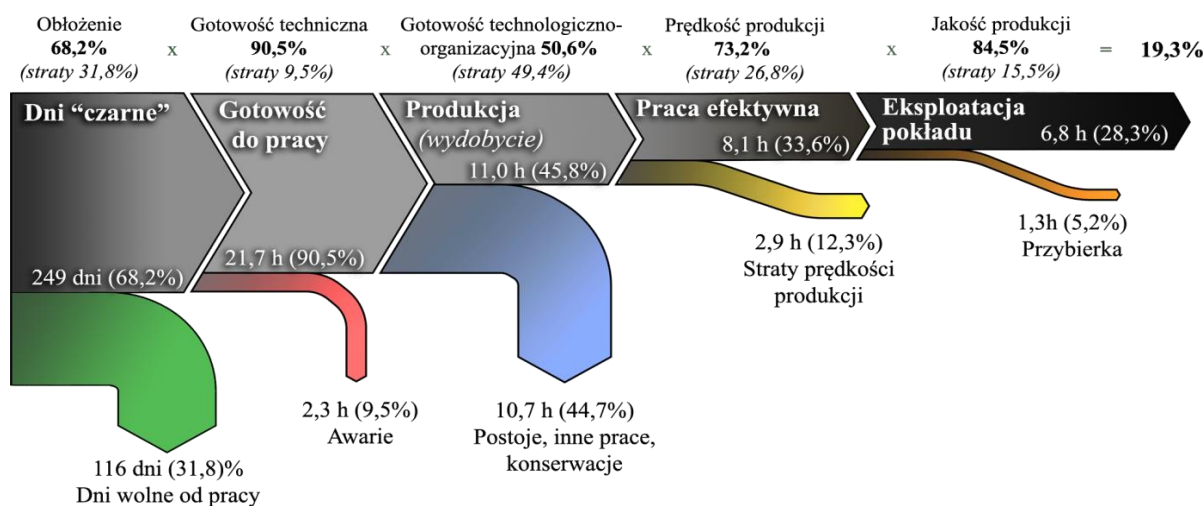


- wydajność – miara drobnych zatrzymań i redukcji „prędkości” produkcji określana przez odniesienie do osiągalnej i wyznaczonej empirycznie wydajności maksymalnej (w analizach CZAD JSW 4.0 przyjęto średnią wartość wydajności produkcji dla 10% najlepszych wyników),
- jakość – miara tworzenia wartości dodanej (eksploatacja pokładu).

Na rysunku 3.29 za pomocą wykresu strumieniowego przedstawiono obliczony według przyjętej metodyki, zagregowany dla kilku ścian wskaźnik efektywności wykorzystania kompleksu ścianowego. Dane obejmują ściany eksploatowane w ciągu ponad dwóch lat.

Zaproponowaną strukturę oraz kolejność poszczególnych poziomów strat określono poprzez przeprowadzenie oceny wpływu zmian poszczególnych miar efektywności, tj. weryfikację czy zmniejszenie strat na poziomie  $n$  spowoduje względnie proporcjonalną zmianę czasu trwania stanów na poziomie  $n + 1$ . Pewne zastrzeżenia budzić może kolejność uwzględnienia gotowości technicznej i technologiczno-organizacyjnej. Przyjęty układ wynika zarówno ze sposobu ewidencjonowania czasu trwania awarii, jak również braku wyraźnej korelacji pomiędzy czasem produkcji a czasem awarii, rozpatrywanymi w dłuższej perspektywie.

Wystąpienie awarii jest nadrzędnym zdarzeniem losowym, jedynie w pewnym stopniu zależnym od procesów starzeniowych i innych czynników występujących wyłącznie podczas produkcji. Innymi słowy, całkowite zatrzymanie postępu ściany nie może być utożsamiane z osiągnięciem pełnej gotowości technicznej (wyeliminowaniem awarii). Dodatkowo, za zastosowaniem przyjętego układu przemawia fakt, że poza czasem postojów i konserwacji, czas zatrzymań produkcji w celu realizacji wymaganych prac jest niemalże wprost uzależniony od postępów ściany, a więc przy stałej wydajności jest on proporcjonalny do czasu produkcji.



Rys. 3.29. Diagram strumieniowy przedstawiający bezpośrednie straty czasu produkcji [Polak, 2014b]

Należy pamiętać, że wzajemne porównanie przodków ścianowych ze względu na mocno zróżnicowany potencjał produkcyjny, powinno być zawsze wykonywane na bazie wielowymiarowych analiz, z uwzględnieniem wszystkich istotnych cech mogących wpłynąć na osiągnięte wyniki produkcyjne, m.in. miąższość pokładu, uciążliwość warunków, długość dróg transportowych czy stopień zagrożenia tapaniami.

### 3.5.3. Podstawowe statystyki charakteryzujące przebieg procesu eksploatacji

Optymalne planowanie produkcji w górnictwie stanowi nie lada wyzwanie z zakresu zarządzania ryzykiem, analizy kosztów oraz opłacalności nowych inwestycji w kontekście sytuacji na rynku. Podejmowanie decyzji w warunkach braku dostępu do pewnej informacji, jest niejako wpisane w charakter działalności górniczej. Dotyczy to zarówno warunków naturalnych, jak i parametrów eksploatacyjnych nowo zakupionych maszyn i urządzeń górniczych, takich jak dyspozycyjność, niezawodność, naprawialność, łączne koszty utrzymania i użytkowania.

Budowa trwałych i skutecznych mechanizmów analizy danych, pochodzących z przodka ścianowego, jest zatem niezmiernie istotna zarówno na poziomie bieżącej optymalizacji procesu produkcji, jak również zarządzania wiedzą. Uporządkowanie i usystematyzowanie informacji dają podstawę do empirycznego oszacowania kluczowych wskaźników efektywności planowanych ścian, jak również odgrywa istotną rolę na etapie wsparcia decyzyjnego.

Wdrożony w 2018 roku w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0 system informatyczny optymalizujący proces zbierania i analizy szerokiego spektrum danych dotyczących środków produkcji w sposób automatyczny przygotowuje statystyki charakteryzujące przebieg eksploatacji kopalń JSW S.A.

Wyniki analizy danych zagregowanych w czasie na poziomie poszczególnych przodków (kompleksów) ścianowych zaprezentowano w tabeli 3.3. Analizy dokonano na przykładzie przodków ścianowych o łącznym wybiegu wynoszącym ponad 10 km. W ramach przeprowadzonych badań przeanalizowano około 1000 dni produkcyjnych. Za pomocą bazy danych zestawiono i połączono podstawowe informacje dotyczące ścian z meldunkami o ich postępach, awariach oraz odczytami z czujników monitorowanych w systemach SCADA.

#### Wskaźniki statystyczne zagregowane na poziomie poszczególnych ścian [Polak, 2014b]

Tabela 3.3.

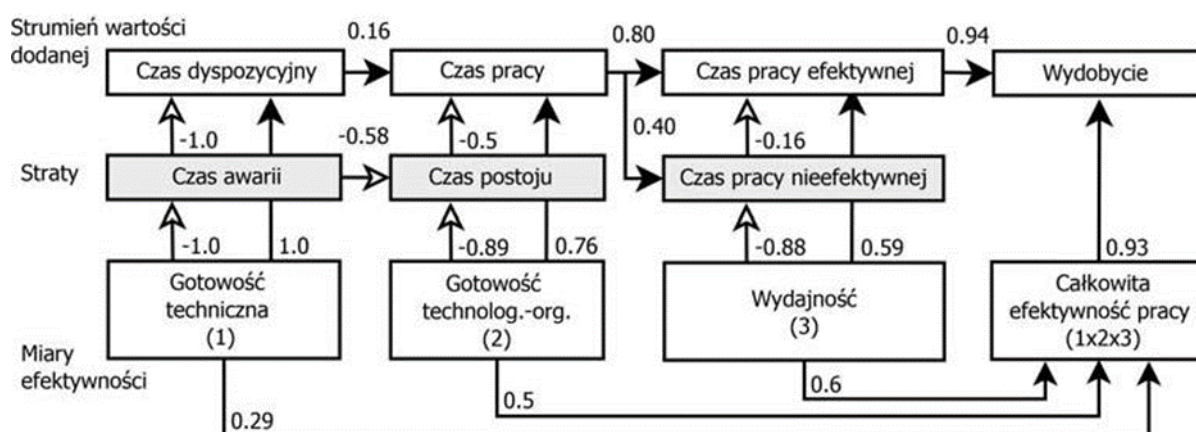
Wyszczególnienie	Maks.	Min.	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności
Średni czas awarii [h]	3,3	0,7	2,3	1,1	47,83%
Średni czas postoju [h]	15,7	8,7	10,7	2,8	26,17%
Średni czas pracy [h], w tym:	12,0	7,6	11,0	1,8	16,36%
Średni czas pracy efektywnej [h]	9,2	5,3	8,1	1,5	18,52%
Średni czas pracy nieefektywnej [h]	3,7	2,0	2,9	0,7	24,14%
MTTR [h]	3,3	1,6	2,7	0,7	25,93%
MTBF (dla czasu pracy kombajnu) [h]	18,1	9,6	13,2	3,5	26,52%
MTBF (dla czasu ogółem) [h]	55,3	17,2	20,7	15,8	76,33%
Postęp na godzinę pracy [m]	0,49	0,43	0,49	0,03	6,12%

Wydobycie na godzinę pracy (brutto) [Mg]	555,1	379,0	444,1	82,3	18,53%
Wydobycie dobowe w dni czarne (brutto) [Mg]	5 908,3	4 303,8	4 589,9	698,8	15,22%
Wykorzystanie czasu kalendarzowego [%]	69,6%	67,2%	68,2%	1,0%	1,47%
Gotowość techniczna (dyspozycyjność) [%]	97,3%	86,2%	90,5%	4,7%	5,19%
Gotowość technologiczno-organizacyjna [%]	57,8%	32,7%	50,6%	10,0%	19,76%
Prędkość (wydajność) produkcji [%]	82,2%	69,0%	73,2%	5,3%	7,24%
Jakość produkcji [%]	85,3%	83,6%	84,5%	0,6%	0,71%

Analizując dane zawarte w tabeli 3.3, zauważyć można znaczne różnice w średnim czasie awarii oraz wskaźniku rozkładów średniego czasu do awarii MTBF (*Mean Time Between Failures*) dla poszczególnych kompleksów. Znacznym wahaniom podlega również względny czas produkcji, wynikający głównie ze sposobu organizacji zmian roboczych oraz pokonywanej przez załogę odległości do przodka.

Jak zaobserwowano wahania wydajności jednostkowej powiązane są silnie z miąższością ściany oraz w ograniczonym stopniu zależą od jej długości. Obserwując niemalże stałą prędkość postępu ścian o zróżnicowanych gabarytach urabianej calizny węglowej, jest to w pełni uzasadnione. W dalszej kolejności dokonano wzajemnej korelacji obliczonych uprzednio parametrów na poziomie poszczególnych dni produkcyjnych. Korelacje wykonano dla znormalizowanych wyników, charakteryzujących przebieg produkcji różnych ścian. Łącznie uwzględniono około 1000 obserwacji (dni produkcyjnych), wartość krytyczna R dla testu dwustronnego  $\alpha = 0,01$  wyniosła 0,082.

Poza oczywistymi związkami przyczynowo skutkowymi (rys. 3.30) dostrzec można ujemną korelację pomiędzy dyspozycyjnością techniczną i technologiczno-organizacyjną ( $r_s = -0,32$ ). Wytłumaczyć to można faktem, iż podczas wystąpienia awarii istnieje możliwość wykonania dodatkowych czynności, wymagających normalnie zatrzymania procesu wydobywczego. Podobnie w analizowanym zbiorze danych występuje dodatnia korelacja pomiędzy dyspozycyjnością techniczną a wydajnością produkcji ( $r_s = 0,23$ ). Stąd też wysunąć można wniosek, że wystąpienie awarii chwilowo ogranicza zarówno czas wydobycia, jak i oddziałuje negatywnie na wydajność urabiania.



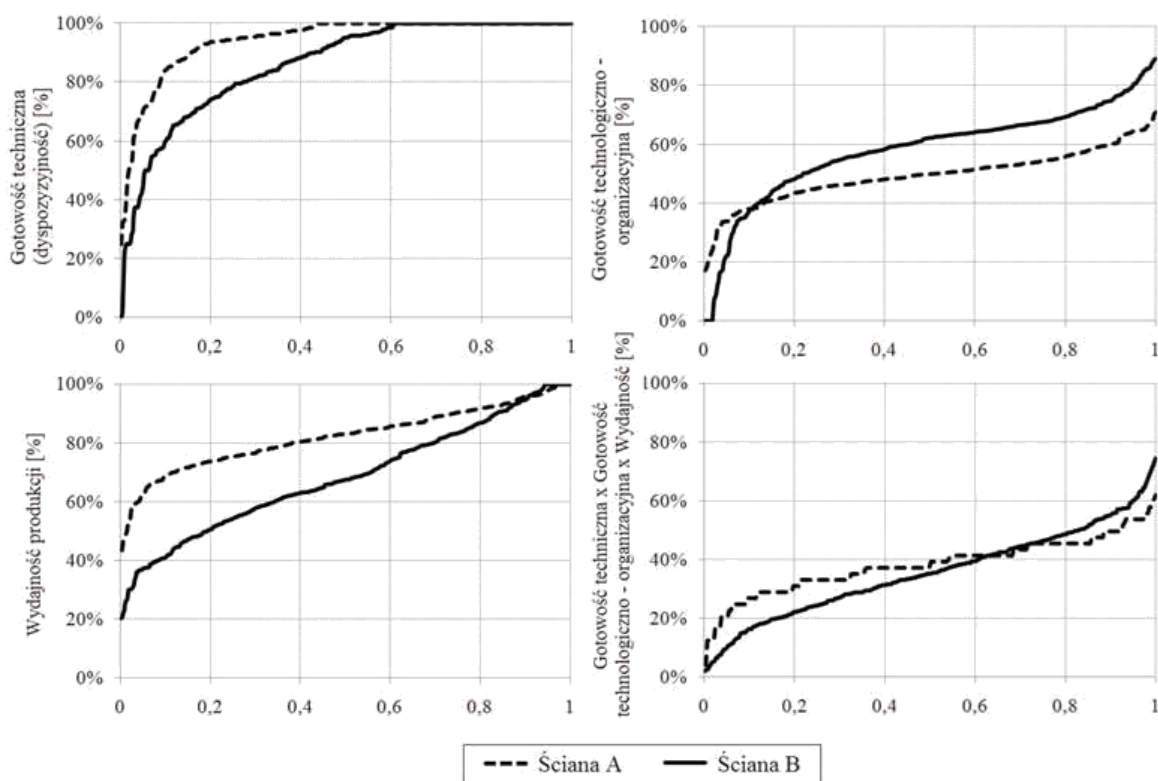
Rys. 3.30. Podstawowe związki przyczynowo-skutkowe i odpowiadające im korelacje [Polak, 2014b]

W dalszej kolejności analizie poddano rozkład zbioru obserwacji zanotowanych dla poszczególnych ścian. Trudno jednoznacznie przyporządkować typ rozkładu, jednak w znacznej części przypadków kształt rozkładu zbliżony jest do normalnego lub logarytmicznie normalnego. Rozkład logarytmicznie normalny, nierzadko możliwy jest do zaobserwowania w analizie obciążeń górniczych przenośników taśmowych. Przy stałej prędkości taśmy, pomijając opory własne, parametr ten w sposób liniowy zmienia się w funkcji ilości urobku, a więc stanowi równorzędną miarę poziomu produkcji.

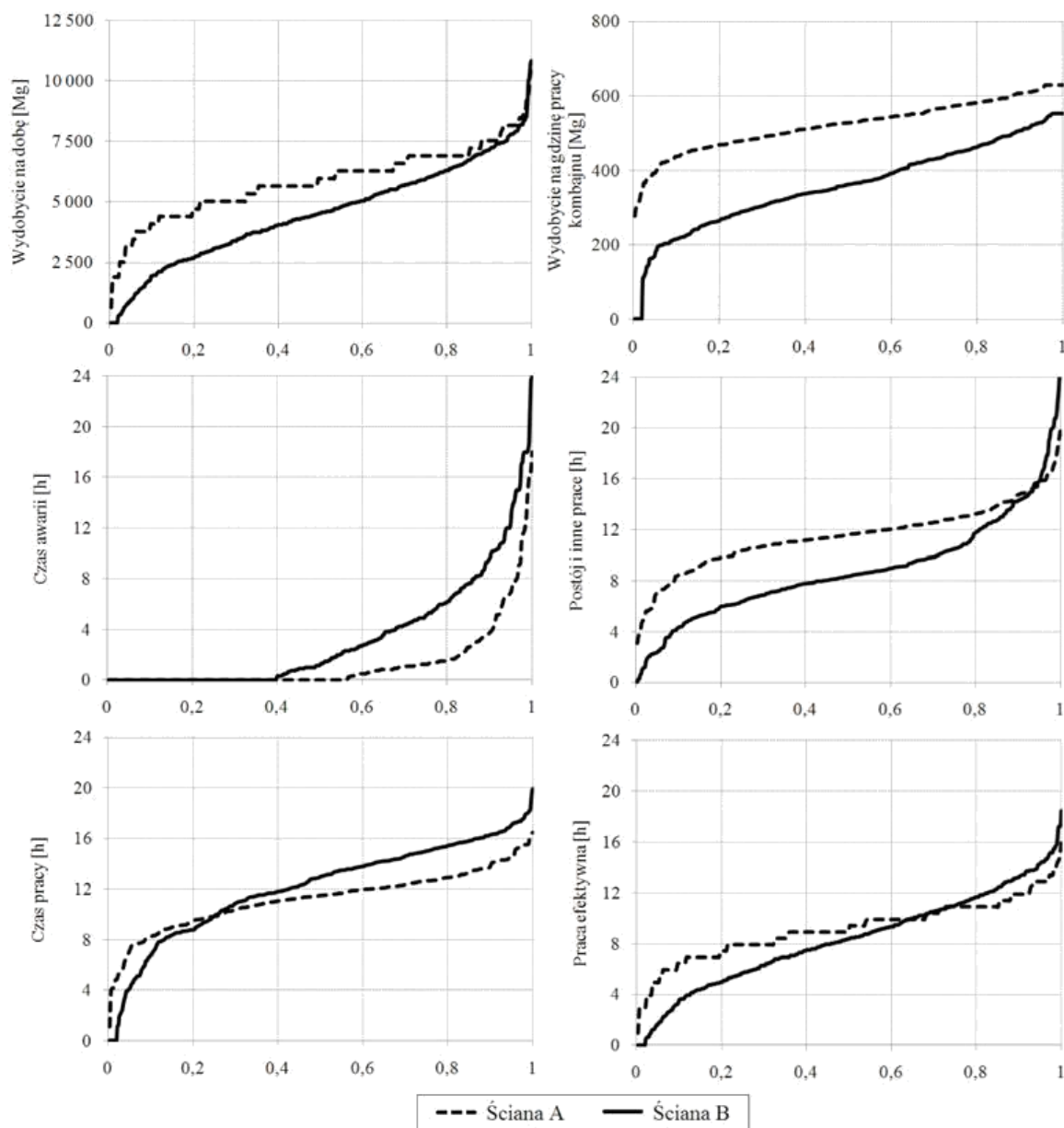
Na rysunku 3.31 i 3.32 zamieszczono wykresy uporządkowane bezwzględnych i względnych miar efektywności, sporządzone dla dwóch skrajnie różniących się przodków ścianowych. W pierwszym przypadku zamieszczono poziomy wydobywania i czasy trwania poszczególnych stanów, w drugim względne stopnie obliczenia wskaźnika efektywności wykorzystania wyposażenia. Kształt rozkładów na rysunkach 3.31 i 3.32 jest zbliżony, tym niemniej zauważyć można pewne charakterystyczne przesunięcia i przeskalowania.

Porównując miary względne i bezwzględne zauważyć można bezpośredni wpływ parametrów i warunków prowadzenia ściany na uzyskiwane wyniki produkcyjne. Pomimo niemal identycznej średniej wartości wskaźnika wykorzystania sprzętu kompleks ścianowy A ma istotnie lepsze wyniki produkcyjne od kompleksu B.

Wynika to w zdecydowanej mierze z większej miąższości pokładu i mniejszej uciążliwości warunków górniczo-geologicznych, co w praktyce umożliwia osiągnięcie i utrzymanie wyższej wydajności produkcji.



Rys. 3.31. Wykres uporządkowany względnych miar efektywności sporządzony dla dwóch różnych przodków ścianowych (oś X przedstawia udział w całkowitej liczbie zmian produkcyjnych) [Polak, 2014b]



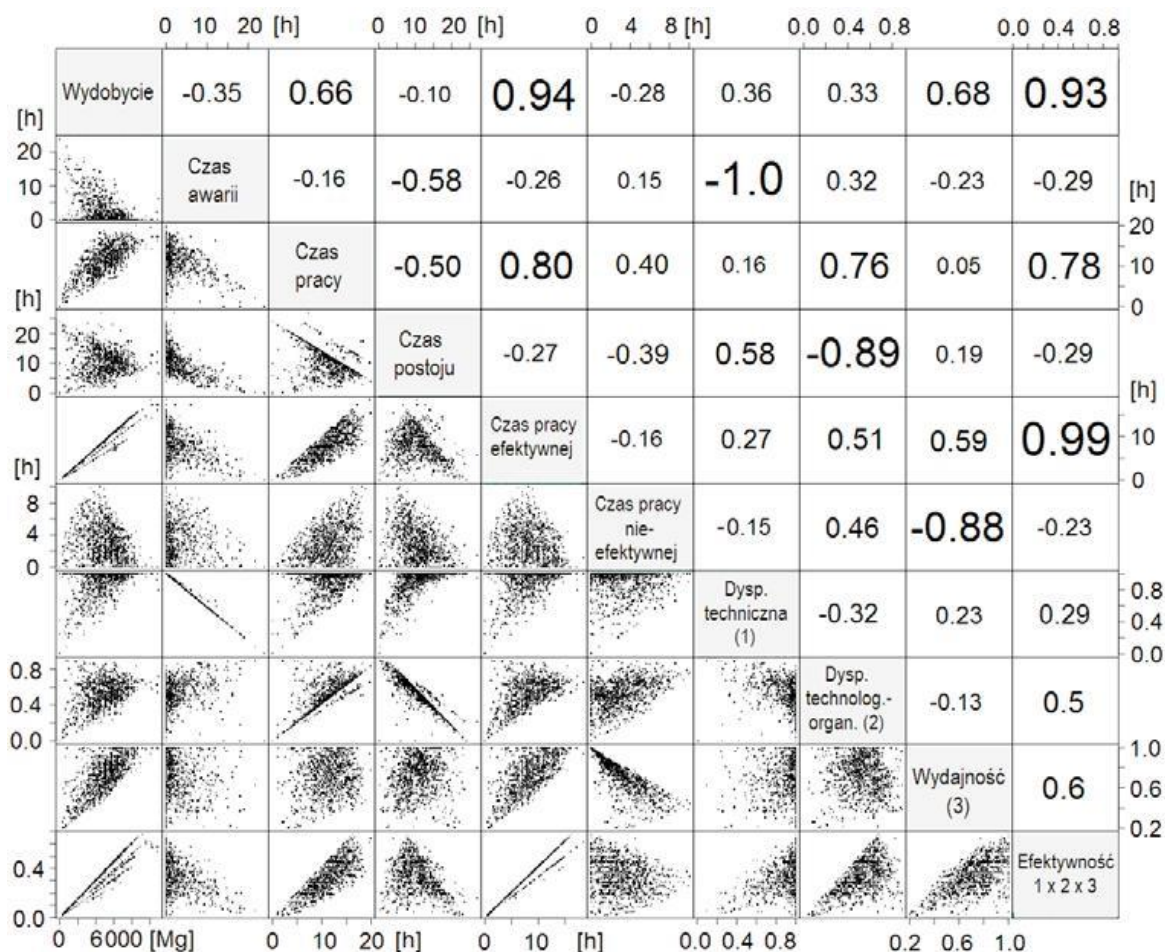
Rys. 3.32. Wykres uporządkowany poziomu wydobywania i udziału poszczególnych czasów sporządzone dla dwóch różnych przodków ścianowych (oś X przedstawia udział w całkowitej liczbie zmian produkcyjnych) [Polak, 2014b]

W tym miejscu zaznaczyć należy, że znajomość opisanych zależności jest potrzebna zarówno w celu identyfikacji i uwzględnienia prawidłowości, jak i przeprowadzenia pełnego wiarygodnego szacunku efektywności ekonomicznej przyszłych przedsięwzięć (tabela 3.4).



## Współczynniki korelacji rangowej poszczególnych parametrów [Polak, 2014b]

Tabela 3.4.



Jastrzębska Spółka Węglowa w 2018 roku wdrożyła system informatyczny w oparciu o PI system firmy OSIsoft, mający na celu zbieranie i analizę szerokiego spektrum danych dotyczących środków produkcji.

Infrastruktura danych została oparta o trzy warstwy systemu: zbierania danych, przetwarzania oraz dostarczania i składa się z czterech kluczowych elementów tj.:

- **PI Data Archive** – służącego do zbierania, porządkowania i archiwizowania danych oraz dostarczania ich do użytkowników.
- **PI Asset Framework** – umożliwiającego jednoznaczne zdefiniowanie w systemie urządzeń i jednostek organizacyjnych przedsiębiorstwa.
- **PI Event Frames** – organizującego dane wg kluczowych parametrów, jak czasy postoju, zmiany itp.
- **PI Notifications** – monitorującego zebrane dane i alarmującego użytkowników w razie wykrycia zdefiniowanych odchyleń od norm.

Jak ustalono w drodze realizowanego wdrożenia, skuteczny system informacyjny winien realizować procesy ewidencji i wielowymiarowej strukturalizacji gromadzonych danych (np. zgodnie z wielowymiarowym modelem OLAP). Analiza kompleksowych baz danych daje bowiem możliwości ujawnienia szeregu pozornie ukrytych informacji.

Tworzenie tego typu zasobów wiedzy umożliwić powinno opracowanie systemów eksperckich, bazujących na doświadczeniach kopalni zanotowanych w ściśle określonych warunkach otoczenia, przy określonym systemie organizacji produkcji, zastosowanej technologii oraz doborze wyposażenia [Kicki, 2011].

### 3.5.4 Mechanizmy analizy miar efektywności wykorzystania kompleksów ścianowych

Pewne problemy natury poznawczej ze względu na wpływ czynników losowych stwarza analiza szeregów czasowych oraz pełna identyfikacja korelacji, szczególnie tych nie liniowych lub niemonotonicznych. W przypadku badania wzajemnej zależności parametrów, czynniki losowe i wielorakie powiązania zaburzają wartość wskaźników korelacji liniowej i rangowej. Stosując test Kołmogorowa – Smirnowa dla dystrybuant w poszczególnych kwartałach badanej cechy, w znaczącym stopniu możliwa jest identyfikacja zależności. Niemniej, w przypadku analizy szeregów czasowych, rozwiązanie problemu wymaga opracowania skutecznego rozwiązania w zakresie m.in. eliminacji lokalnych wahań parametrów, charakteryzujących przebieg procesu produkcji.

Opracowując dane na potrzeby algorytmizacji raportów dla Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0 posłużono się następującą procedurą, wspomagającą ocenę korelacji i okresowych trendów w szeregach czasowych:

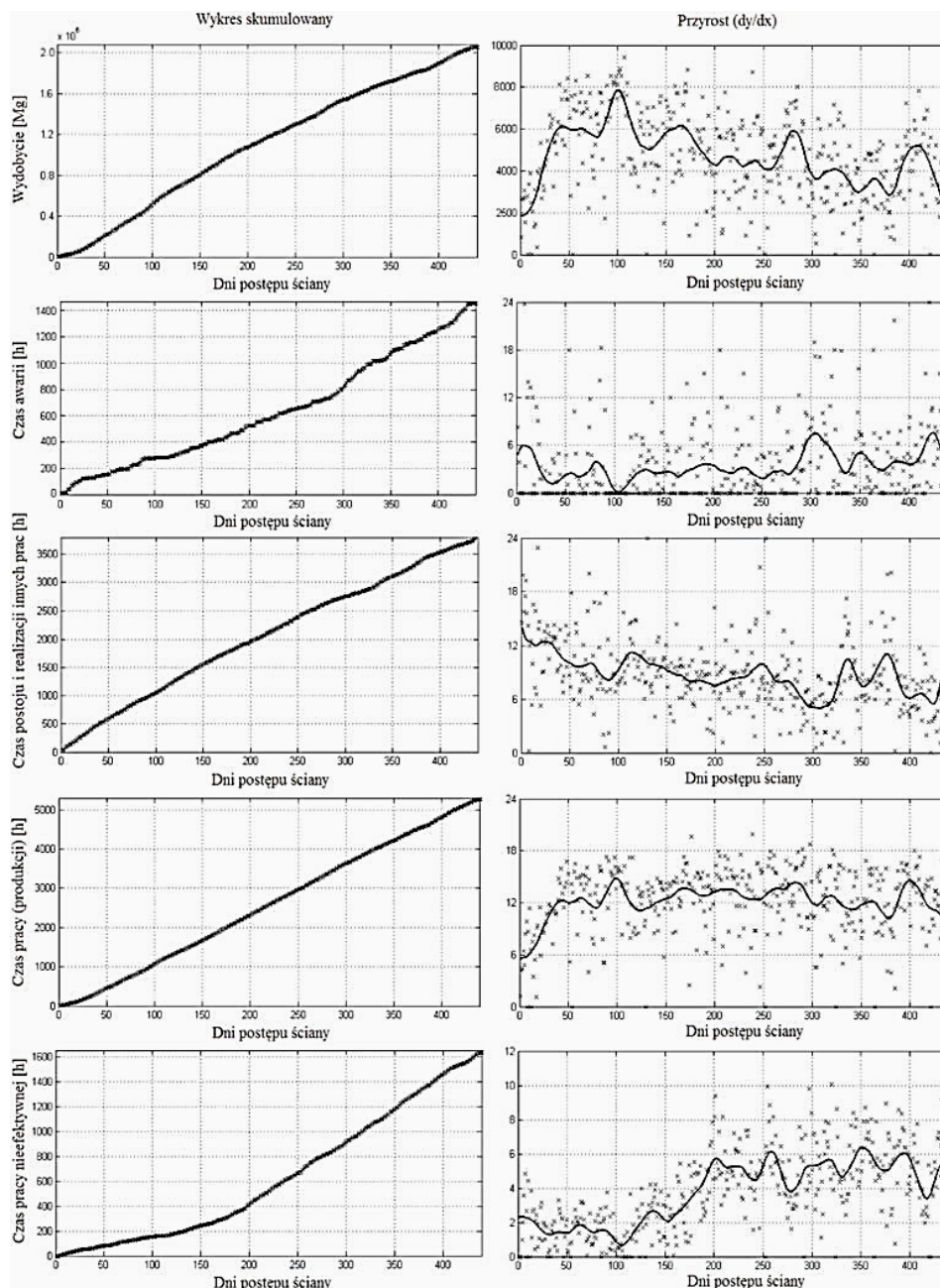
- Próbki opisane miarami przypisane dla danego okresu (zmiany, doby) uszeregowane zostały według wybranej cechy (w przypadku analizy szeregów czasowych – czasu).
- Wybrane zostały dwa parametry, które następnie poddano sumowaniu, w efekcie czego uzyskano przebieg skumulowany zmiennej  $Y$  i  $X$ . Gdzie  $X$  dobrano jako parametr teoretycznie proporcjonalny do analizowanej wartości  $Y$ , np. (czas gotowości technicznej – czas produkcji; łączny czas zmian produkcyjnych – postępowanie, czas pracy kombajnu – wydobywanie).
- Umieszczone na płaszczyźnie punkty aproksymowano metodą lokalnej aproksymacji ważonymi najmniejszymi kroczącymi kwadratami MWLS (*Moving Weighted Least Squares*) przy dobranym empirycznie stopniu wielomianu, liczbie węzłów w gwieździe i parametrach wygładzania.
- Przeprowadzono różniczkowanie otrzymanej krzywej.
- Otrzymane wartości i/lub odchylenia od prostej proporcjonalnej zaprezentowano na wykresie, przy czym na osi  $X$  umieszczone zostały kolejne numery próbek, wynikające uszeregowania przeprowadzonego w pkt. 1 (dla szeregów czasowych – jednostka czasu).

W celu identyfikacji wzajemnych zależności, opisana metoda służyła do oceny kształtu dystrybuanty, uporządkowanej uprzednio według wartości wybranego parametru. Korelacje niemonotoniczne, możliwe były do uchwycenia na wykresie pochodnej, natomiast test na zgodność przeprowadzany był na wykresie skumulowanym w odniesieniu do prostej proporcjonalnej.

Stosując aproksymację MWLS wyeliminowano istotne ograniczenia (okresowość, problemy przy krawędziach) domyślnie stosowanej w podobnych przypadkach średniej ruchomej. Stosując wykres skumulowany, zapewniono prosty i przejrzysty sposób weryfikacji przebiegu krzywej aproksymującej kolejne próbki oraz zapewniono zgodność sum

całkowitych. Przez wprowadzenie parametru  $X$  domyślnie proporcjonalnego do  $Y$  – wykluczono potrzebę stosowania dodatkowych przekształceń analizowanej wartości w przypadku wystąpienia więcej niż jednej korelacji. Działanie metody pozwoliło na uwzględnienie lokalnych zakłóceń i wahań przy jednoczesnym zwiększeniu czytelności przebiegu procesów produkcji.

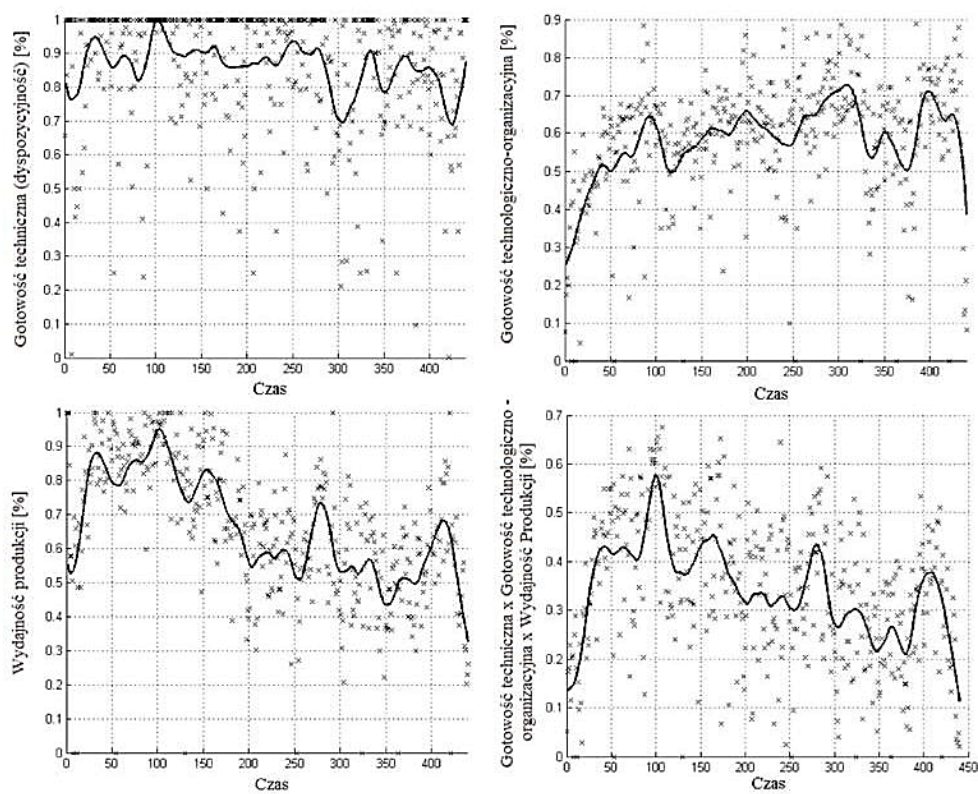
Na rysunku 3.33 stosując opisaną uprzednio metodę, wyznaczono przebieg podstawowych parametrów efektywnościowych, w tym wydobywania dobowego brutto.



Rys. 3.33. Wyniki zastosowania procedury przetwarzania danych dla poziomego wydobywania i udziału poszczególnych czasów przykładowego przodka ścianowego [Polak 2014b]

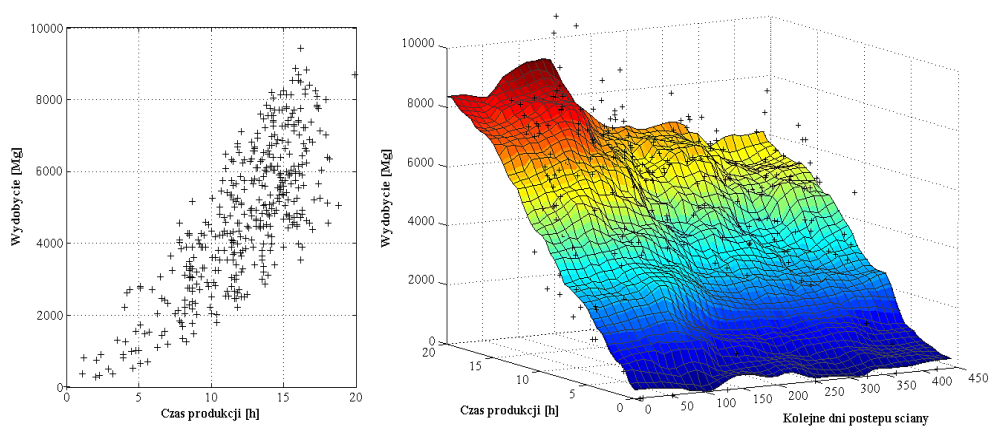


Rysunek 3.34 przedstawia podstawowe miary efektywności, służące do wyznaczenia ogólnego wskaźnika wykorzystania wyposażenia, sporządzone dla tego samego przedziału czasu i ściany z zastosowaniem tożsamej metody.



Rys. 3.34. Podstawowe miary efektywności przykładowego przodka ścianowego [Polak 2014b]

Spadek jednostkowej wydajności produkcji zauważyć można zarówno obserwując wzrost nieefektywnego czasu pracy (rys. 3.33), jak i spadek wydajności produkcji (rys. 3.34). W tym konkretnym przypadku czynnik ten stanowi podstawową przyczynę ograniczenia dobowego wydobywania. Zmienność tę w funkcji czasu zobrazowano za pomocą wykresu 3D, zamieszczonego na rysunku 3.35. Do aproksymacji płaszczyzny wykorzystano ponownie metodę MWLS.



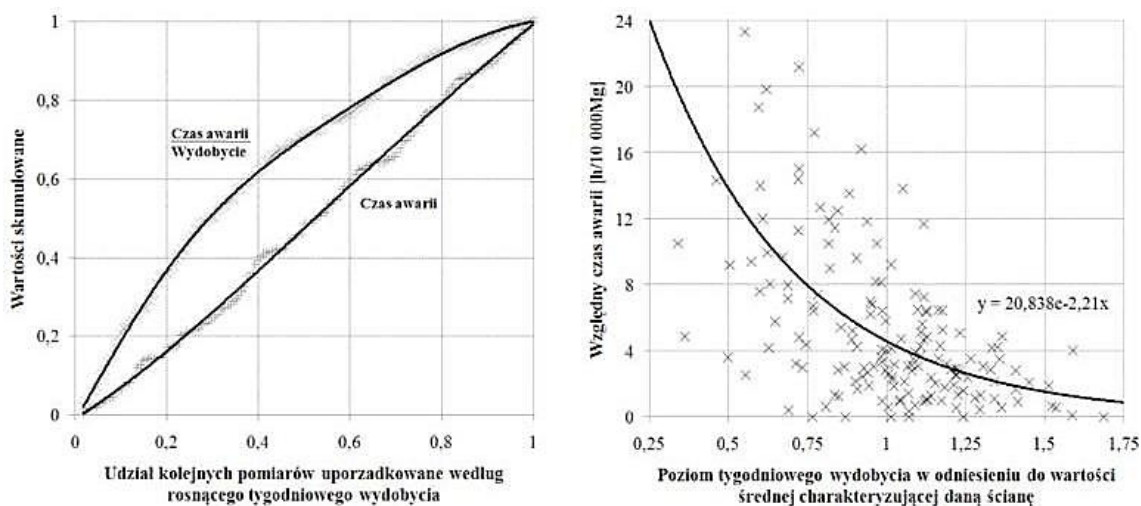
Rys. 3.35. Zależność czasu produkcji (pracy kombajnu) i wydajności w kolejnych dniach postępu ściany [Polak, 2014b]

Analizując poszczególne przedziały czasu, zauważyć można ścisłą korelację wydobywania oraz czasu pracy, co przy ograniczonym wpływie strat wydajności jest uzasadnione. Możliwe do zaobserwowania jest również całkiem wyraźne zmniejszenie wydajności produkcji dla krótszych czasów pracy kombajnu.

Zależność tę tłumaczyć można zwiększonym udziałem stałych strat proceduralnych, które kompensowane są przy dłuższym czasie produkcji, co przekłada się w rezultacie na jednostkowy wzrost wydajności. W ograniczonym zakresie stanowić to również może konsekwencję awarii, których wystąpienie ogranicza zarówno czas, jak i wydajność produkcji.

Opisana procedura pozwoliła na zupełnie wiarygodne wyliczenie wpływu poziomu wydobywania na liczebność i całkowity czas trwania awarii. Jak ustalono na bazie dostępnych danych, zmniejszenie poziomu wydobywania może ograniczyć awaryjność, lecz wyłącznie w wymiarze czasu.

Przeliczając czas awarii na postęp ściany lub wydobywanie, względny wskaźnik gotowości technicznej ulega znacznemu pogorszeniu (rys. 3.36).

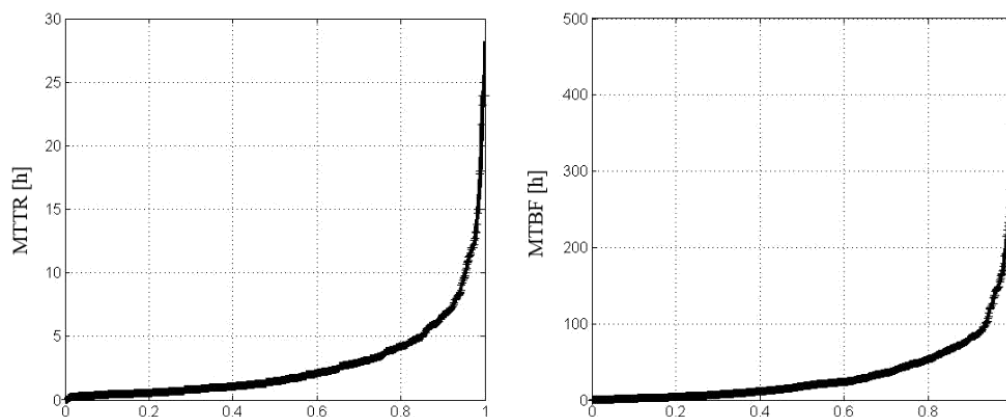


Rys. 3.36. Zależność względnego czasu awarii (przeliczonego na wydobywanie) w funkcji poziomu wydobywania [Polak, 2014b]

Wykonując analizę zastosowano tygodniowy okres agregacji danych. Ze względu na fakt, że wydobywanie jest parametrem wtórnym w stosunku do dyspozycyjności (gotowości technicznej), jego wartość zanotowana w krótszym okresie agregacji może być w sposób bezpośredni ograniczona przez wystąpienie awarii.

W konsekwencji prowadzić by to mogło do wysunięcia zupełnie odwrotnych wniosków. Istotne jest zatem, aby analizując korelację określić horyzont czasowy zjawisk oraz wzajemne oddziaływanie wyodrębnionych stanów układu w przypadku wystąpienia zdarzeń losowych bądź innych zaburzeń w krótszych okresach dekretacji danych.

Łącznie w ramach algorytmizacji systemu raportowania dla CZAD JSW 4.0 przeanalizowano ponad 850 awarii kompleksów zmechanizowanych. Dane te oprócz obliczeń wymiaru czasowego posłużyły do określenia rozkładów średniego czasu do awarii – MTBF (*Mean Time Between Failures*) oraz średniego czasu do odzyskania zdatności (naprawy) – MTTR (*Mean Time To Repair*) (rys. 3.37).



Rys. 3.37. Wykres uporządkowany podstawowych wskaźników niezawodności i naprawialności – średniego czasu pomiędzy awariami – MTBF i średniego czasu do naprawy – MTTR (oś X przedstawia udział w całkowitej liczbie zmian produkcyjnych) [Polak, 2014b]

Dokonując podstawowej analizy danych, zauważyć można wprost konieczność rozpatrywania poszczególnych miar w co najmniej dwóch wymiarach: czasu i postępu ściany. Analiza awarii w funkcji czasu i postępu, przy ograniczeniu poziomu wydobycia, pozwala na wyciągnięcie zupełnie odmiennych wniosków względem istniejących zależności. Realizacja znacznej części prac, wystąpienie trudnych warunków górnictwo-geologicznych oraz ponoszone koszty, w istotnym stopniu uwarunkowane są bowiem postępem ściany. Traktując ścianę jako przedsięwzięcie zasadne jest zatem, aby zmienność poszczególnych miar efektywności rozpatrywać zarówno w funkcji czasu jak i stopnia jego realizacji, zdefiniowanego przez bieżący postęp eksploatacji.

Jak stwierdzono podczas algorytmizacji systemu raportowania dla CZAD JSW 4.0 większość danych będących przedmiotem rozszerzonej analityki jest dostępna w istniejących systemach informacyjnych i podlega ewidencji. Przykładowo, rejestrując ręcznie czas awarii oraz w pełni zdalnie czas pracy kombajnu, czas postoju może być wyliczany automatycznie na podstawie ilości i czasu trwania zmian roboczych. Podobnie identyfikacja warunków geologicznych już dziś możliwa jest za pośrednictwem cyfrowych modeli złoża i systemów wspomagających profilowanie. Synergia danych możliwa jest już dziś w obie strony, ponieważ sam proces harmonogramowania uwzględnia empirycznie potwierdzone wskaźniki osiągalnego poziomu wydobycia w poszczególnych pokładach i warunkach eksploatacji.

Odrębne zagadnienie stanowiła na etapie analizy ekonomiczna ocena efektywności pracy wyposażenia, a więc uzupełnienie opisanych struktur o koszty prowadzonej działalności. Uwzględnienie wydatków na poziomie poszczególnych jednostek dekretacji, takich jak dzień lub zmiana robocza, wymaga bowiem zastosowania specjalnego podejścia. Wynika to z potrzeby eliminacji naturalnych rozbieżności będących efektem sposobu dekretacji kosztów, w odniesieniu do faktycznych miejsc i okresu ich powstawania.

### **3.6. Dynamiczny szacunek kosztów cyklu życia podstawowych środków produkcji, maszyn i urządzeń górniczych środkiem do zarządzania produkcją w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0.**

Metoda analizy kosztów cyklu życia (*LCCA*, ang. *Life Cycle Cost Analysis*) stanowi narzędzie wspomagające wyznaczenie uzasadnionych biznesowo kierunków działań w obszarze zarządzania produkcją i aktywami przedsiębiorstwa górnictwa.

Zastosowanie tej metody jako kryterium decyzyjnego w aspekcie planowanych inwestycji znajduje szczególne uzasadnienie względem obiektów lub systemów, których koszty utrzymania wielokrotnie przewyższają koszty zakupu. Uwzględniając relatywnie wysokie koszty obsługi, energii i materiałów sytuacja ta dotyczy wielu podstawowych maszyn i urządzeń stosowanych w górnictwie. Wykorzystanie w tym celu wyliczeń sporządzonych przez producenta jest celowe względem obiektów technicznych, których przyszłe warunki pracy, ich uciążliwość oraz intensywność eksploatacji są znane i nie podlegają silnemu zróżnicowaniu.

W przypadku większości podstawowych maszyn eksploatowanych w górnictwie podziemnym, podejście to stanowi zbyt wielkie uproszczenie. Świadczą o tym badania przeprowadzone już pod koniec lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku [Polak 2015], gdzie w ponad 50% kopalń stwierdzono, iż koszty obsługi maszyn były ponad dwukrotnie wyższe niż założył ich producent. Rozbieżność ta przemawia za realizacją szacunku kosztów kluczowych obiektów w sposób dynamiczny, z szerokim wykorzystaniem własnych doświadczeń eksploatacyjnych w miejscu uproszczonych założeń i hipotetycznych modeli kosztowych. Wykorzystanie w tym celu kluczowych miar efektywności strategii zarządzania wyposażeniem ukierunkowanej na produktywność (*TPM*, ang. *Total Productive Maintenance*), wydaje się właściwym rozwiązaniem. Daje to bowiem realną możliwość odniesienia kosztów cyklu życia bezpośrednio do ilości wykonanej pracy, a więc przeprowadzenia szacunku strat wynikających z ograniczeń poziomu produkcji. Budując systemowe założenia zarządzania procesem produkcji w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0., nieuniknione stało się rozstrzygnięcie dylematu: czy dynamiczny szacunek kosztów cyklu życia uwzględniający podstawowe miary efektywności produkcji stanowić może przydatne narzędzie wsparcia procesu decyzyjnego na etapie planowania, realizacji i podsumowania zamierzeń inwestycyjnych związanych z użytkowaniem podstawowych maszyn i urządzeń górniczych. Aby problem ten rozstrzygnąć podjęto próbę opracowania szczegółowych założeń dotyczących analitycznego modelu rozliczania kosztów w JSW S.A., jak również przedstawiono przykład kalkulacji, obejmujący cykl życia kluczowego środka produkcji każdej kopalni węgla kamiennego, czyli kompleksu ścianowego.

#### **3.6.1. Analiza kosztów cyklu życia środków produkcji jako systemowe narzędzie wsparcia procesu podejmowania decyzji w górnictwie**

Decyzje w obszarze gospodarki majątkiem produkcyjnym są na ogół trudne i obciążone dużą dozą ryzyka. Zgodnie z zaproponowanym, trójplaszczynowym układem klasyfikacji, wyróżnić można problemy o charakterze technicznym, organizacyjnym, normatywno-prawnym lub ekonomicznym.

Planując cykl życiowy wyposażenia, przedsiębiorstwa produkcyjne na ogół kierują się aspektami ekonomicznymi, zawężając liczbę rozważanych scenariuszy do tych, które spełniają

wymagania techniczne i normatywno-prawne. Zasadniczo w tym celu użyte być mogą cztery alternatywne kryteria decyzyjne [Polak 2015]:

- minimalnych kosztów pozyskania (IC – *ang. Minimum Initial Cost Design*),
- minimalnych kosztów utrzymania (RC – *ang. Minimum Running Cost Design*),
- minimalnych kosztów pozyskania i utrzymania (IC-RC – *ang. Reduction Design*),
- minimalnych kosztów cyklu życia obiektu w ściśle nieokreślonych warunkach eksploatacji (*ang. Life Cycle Costs Design Under Uncertain Circumstances*).

Zainteresowanie analizą LCC jako narzędziem wsparcia decyzyjnego wciąż rośnie, znajduje ona bowiem szerokie zastosowanie w praktyce inżynierskiej oraz na etapie planowania inwestycji w wielu gałęziach gospodarki. Samo pojęcie cyklu życia trudno jednoznacznie zdefiniować, pojawia się bowiem ono pod różną postacią między innymi w ekonomii, zarządzaniu projektami, zarządzaniu produkcją oraz badaniach obejmujących oddziaływanie wyrobu na środowisko.

Na potrzeby algorytmizacji systemu raportowania dla CZAD JSW 4.0 przyjęto definicję zgodną z normą PN-EN 60300-3-3:2006, która określa rachunek kosztów cyklu życia wyrobu jako „proces analizy ekonomicznej mającej na celu ocenę kosztu ponoszonego w całym cyklu życia wyrobu lub w części tego cyklu”, natomiast cykl życia wyrobu jako „przedział czasu od powstania koncepcji wyrobu do jego końcowego zagospodarowania”. Rachunek ten stanowić może instrument wsparcia przydatny z perspektywy producenta koncentrującego uwagę na aspektach rynkowych – koszcie cyklu życia produktu (*ang. Product Life Cycle Costing*), jak i jego potencjalnego nabywcy, który stosując tę metodę w głównej mierze próbuje oszacować łączne koszty alternatywnych zakupów i scenariuszy eksploatacji. W aspekcie, analizy rzeczonoego kompleksu ścianowego stanowi on zarówno wyrób, założony system techniczny wymagający obsługi, jak i instalacji produkcyjnej, realizującej przedsięwzięcie związane z dostarczeniem na rynek konkretnego produktu (Tabela 3.5).

#### Różne definicje faz cyklu życia [Polak, 2015]

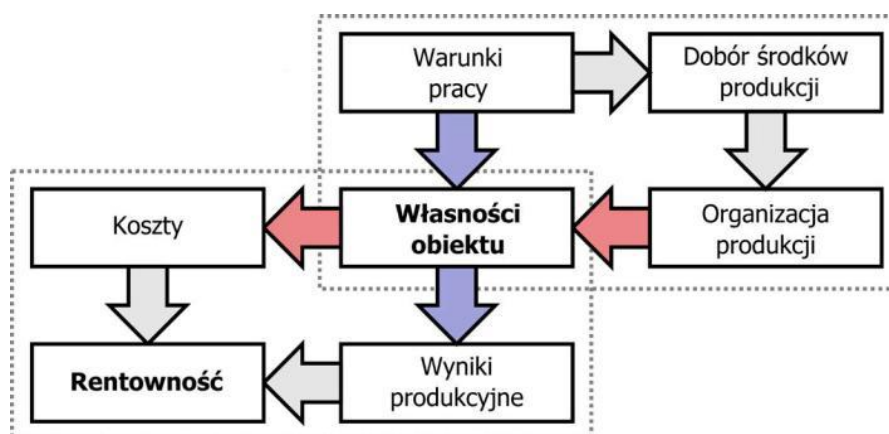
Tabela 3.5.

Cykl życia wyposażenia (TPM)	Cykl życia produktu (LCC)	Cykl życia projektu	Eksploatacja systemem ścianowym
Specyfikacja potrzeb	Koncepcja i definiowanie	Planowanie i formułowanie	Projektowanie i harmonogramowanie
Projektowanie, modyfikowanie i zakup wyposażenia	Projektowanie, badania i rozwój		
Zabudowa, instalacja i uruchomienie	Wytwarzanie i dystrybucja	Przygotowanie i inicjacja	Roboty przygotowawcze, zbrojenie ściany
Użytkowanie i obsługa	Eksploatacja	Realizacja	Eksploatacja pola
Likwidacja	Wycofanie	Zakończenie i ewaluacja	Likwidacja ściany

Dualizm ten odgrywa zasadniczą rolę w aspekcie opisanego w pracy podejścia, koncentrującego uwagę nabywcy na wyrobie (majątku przedsiębiorstwa) i jednostkowych kosztach produkcji właściwych dla okresu jego posiadania.

Model analizy kosztów cyklu życia zaproponowany w pracy ma na celu identyfikację i minimalizację całkowitego kosztu obejmującego opracowanie, rozwój, produkcję, eksploatację oraz utylizację wyrobu, na drodze analizy alternatywnych scenariuszy. Jest to jednocześnie jedna z wielu metod analizy kosztów cyklu życia, których szczegółowy przegląd znaleźć można w pracy. Alternatywna koncepcja opisana w literaturze proces analizy ukierunkowuje bezpośrednio na optymalizację kosztów posiadania majątku z uwzględnieniem różnych scenariuszy eksploatacji obiektu. Identyfikacja scenariuszy eksploatacji znajduje szczególne uzasadnienie w przypadku złożonego układu produkcyjnego jakim jest kompleks ścianowy.

Na płaszczyźnie obiekt techniczny–człowiek–środowisko (rys. 3.38) oddziałuje tu szereg różnorodnych czynników.



Rys. 3.38. Uproszczona ilustracja modelu odwzorowującego kluczowe aspekty efektywności pracy maszyn górniczych [Polak, 2015]

Powoduje to, iż rzeczywisty poziom kosztów posiadania może zostać wiarygodnie oszacowany wyłącznie na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych, właściwych dla określonych warunków środowiska i metod organizacji pracy. Tego typu podejście ogranicza jednak zastosowanie analizy kosztów cyklu życia do oceny w ujęciu ex-post. Zdaniem autora względem podstawowych środków produkcji kopalń wskazane w tym zakresie jest opracowanie rozwiązania pośredniego, umożliwiającego wykorzystanie wiedzy nabytej w drodze praktyki ruchowej bezpośrednio na etapie podejmowania kluczowych decyzji inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

Tradycyjna kalkulacja kosztów cyklu życia zgodnie z normą PN-EN 60300-3-3:2006 obejmuje wszystkie fazy cyklu życia obiektu (przedprodukcyjną, produkcyjną, poprodukcyjną). W najprostszym ujęciu z perspektywy użytkownika koszty te wyrazić można jako sumę kosztu nabycia, posiadania i likwidacji obiektu (wzór 1) [Polak, 2015].

$$LCC = P + \sum_{j=1}^n U_j + L \quad (3.1)$$

gdzie:

- n – czas eksploatacji (najczęściej lata),
- P – koszt inicjacyjny (koszt pozyskania),
- $U_j$  – zdyskontowane koszty utrzymania charakterystyczne dla kolejnych okresów eksploatacji,



L – koszt likwidacji.

Elementarnym etapem analizy LCC jest budowa analitycznego modelu kosztów, jego ewaluacja oraz opracowanie scenariuszy procesu eksploatacji [Polak, 2015]. W odniesienia do obiektów tworzących bezpośrednio ciąg produkcyjny, oprócz podstawowych kosztów utrzymania oznacza to potrzebę oszacowania strat wynikających z zaniżonych parametrów jakościowych wywierających wpływ między innymi na:

- ergonomię i bezpieczeństwo pracy,
- wydajność produkcyjną,
- dostępność (normatywną gotowość do wykonywania pracy),
- niezawodność – średni czas pomiędzy awariami (*MTBF – Mean Time Between Failures*),
- naprawialność – średni czas naprawy (*MTTR – Mean Time To Recovery*),
- operatywność (zdolność do pracy w różnych warunkach),
- kompatybilność (zgodność z standardami),
- trwałość użytkową.

Model obejmować powinien wszystkie skorelowane nośniki kosztów jawnych i utajonych, które ulec mogą zmianie chociażby w aspekcie właściwości technicznych obiektu. Posługując się przykładem kompleksu ścianowego: poziom automatyzacji może mieć istotny wpływ na liczebność załogi, natomiast zastosowana technologia urabiania na gabaryty chodników przyscianowych. Tak więc w celu zagwarantowania porównywalności przeprowadzonych szacunków, kwalifikacja kosztów uwzględniać powinna zarówno koszty wynagrodzeń, jak i robót przygotowawczych. Biorąc pod uwagę często skomplikowane relacje obiektu z otoczeniem, granica pomiędzy kosztami kwalifikowanymi a niekwalifikowanymi w zdecydowanej mierze podlega subiektywnej ocenie.

Identyfikacja wpływu poszczególnych czynników na koszty cyklu życia obiektu to jednocześnie realizacja postulatów filaru strategii TPM – tzw. wczesnego zarządzania wyposażeniem (EEM, ang. Early Equipment Management). Kierunek ten opisać można jako gromadzenie i wykorzystanie dostępnych danych i technologii na etapie planowania i budowy ciągów technologicznych w celu uzyskania maksymalnej niezawodności, łatwości utrzymania, operatywności i bezpieczeństwa, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów utrzymania oraz strat związanych z użytkowaniem sprzętu. Analiza kosztów cyklu życia jako jedna z wielu metod rachunku kosztów stanowić może wymierne wsparcie w zakresie specyfikacji szczegółowych wymagań względem środków produkcji oraz metod realizacji przedsięwzięcia produkcyjnego, definiując bezpośrednio funkcję celu wielowymiarowej optymalizacji lub jedno z jej głównych ograniczeń.

### 3.6.2. Cykl życia kompleksu ścianowego

Kompleks ścianowy stanowi zarazem istotny kosztowo element ciągu technologicznego, jak i pierwsze ogniwo łańcucha produkcji. Sprawia to, iż przebieg jego eksploatacji w znacznym stopniu decyduje o wynikach produkcyjnych, co przy wysokim udziale kosztów stałych znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w sytuacji ekonomicznej przedsiębiorstwa. W celach zarządczych, bez wątpienia konieczne jest zatem poznanie kluczowych miar

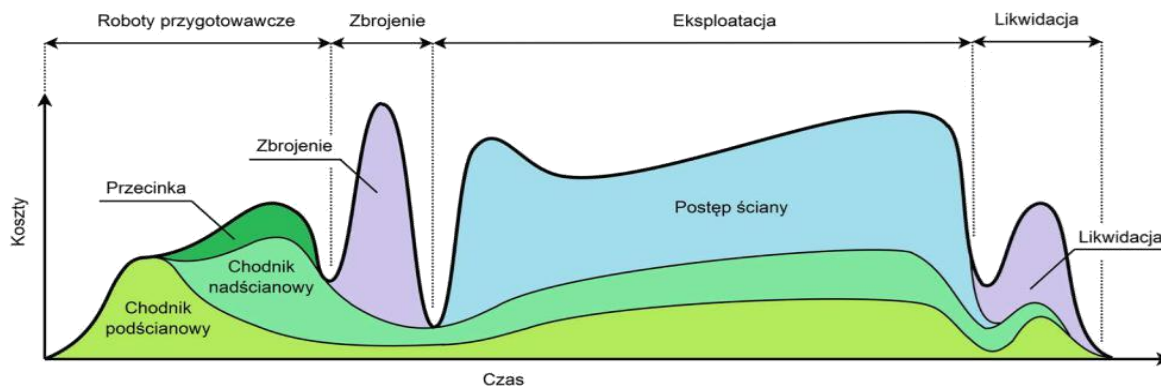


efektywności charakteryzujących poszczególne kompleksy ścianowe, jak również określenie przyczyn i kosztów strat wynikających z zaburzeń lub ograniczeń produkcji.

Jednym z pierwszych działań realizowanych w ramach projektu związanego z wydobyciem surowca jest planowanie procesu wydobywczego. Etap ten obejmuje szczegółowe rozpoznanie warunków zalegania złóż, modelowanie i optymalizację parametrów pól ścianowych oraz szeroko pojętą optymalizację procesu wydobywczego. Jest on kluczowy biorąc pod uwagę wpływ na późniejsze efekty związane z praktyczną realizacją zainicjowanych działań. W odniesieniu do podstawowych środków produkcji istotny jest przede wszystkim właściwy dobór technologii i technicznych rozwiązań, umożliwiających realizację planów produkcyjnych.

Kompleks ścianowy stanowi złożony system, w którym wzajemne zestawienie maszyn i urządzeń oraz dopasowanie do warunków geologiczno-górnicych w znacznej mierze determinuje przyszłe wyniki produkcyjne i koszty utrzymania. Stąd też decyzja o zakupie lub dzierżawie kompleksu ścianowego najczęściej wiąże się bezpośrednio z realizacją konkretnych, zaplanowanych przedsięwzięć wydobywczych. Harmonogram realizacji tych przedsięwzięć narzuca jednocześnie cykl działań obsługowych takich jak zbrojenie, likwidacja ściany oraz planowane remonty.

Tradycyjna metoda szacunku kosztów cyklu życia bazująca na ściśle ustalonym okresie eksploatacji obiektu i stałych rocznych kosztach jego utrzymania nie znajduje uzasadnienia w kontekście dynamiki zmian kosztów, intensywności procesu użytkowania i uciążliwości warunków charakteryzujących kolejne fazy realizacji zadań wydobywczych (rys. 3.39).



Rys. 3.39. Ilustracja kosztów ponoszonych w poszczególnych fazach realizacji zadania wydobywczego w technologii urabiania kombajnem ścianowym [Polak, 2015]

Dodatkowe trudności generuje potrzeba jednoznacznego określenia wieku wycofania obiektu z eksploatacji. W praktyce decyzja o wycofaniu, generalnym remoncie lub modernizacji kompleksu ścianowego zależy bowiem od wielu indywidualnych czynników i najczęściej nie jest wynikiem całkowitej utraty zdolności do wykonywania użytecznej pracy.

W zdecydowanej mierze stanowi konsekwencję wyeksploatowania perspektywicznych złóż, rosnących wraz z wiekiem kosztów utrzymania, obniżonych wskaźników niezawodnościowych oraz przestarzałości technologicznej, w związku z czym dalsza eksploatacja wyposażenia staje się nieuzasadniona ekonomicznie. Wskazane zatem wydaje się przyjęcie założenia determinującego okres eksploatacji kompleksu ścianowego od czasu niezbędnego w celu realizacji rozpatrywanych dla niego przedsięwzięć wydobywczych. W tym

szczególnym przypadku cykl jego życia charakteryzować będzie stała ilość wydobytego urobku, a więc szacunek kosztów będzie w pewnym stopniu odzwierciedlać jednostkowe koszty wydobycia.

Stosując zaproponowane podejście uzyskać można porównywalność rachunku kosztów, natomiast straty wynikające m.in. z zaniżonych właściwości eksploatacyjnych obiektu, znajdują odzwierciedlenie w kosztach ponoszonych w warunkach ograniczenia produkcji, a więc w samoistnym zwiększeniu czasu i kosztów realizacji zadań produkcyjnych. Wyjątek stanowi koszt rzeczywistych strat produkcji w postaci niewydobytego z powodów stosowanej technologii bądź doboru wyposażenia surowca, którego wydobycie byłoby możliwe z zastosowaniem innych środków technicznych. Dotyczy to również możliwej do uniknięcia z zastosowaniem innych środków technicznych przybierki, którą wprost opisać można kosztami technologicznymi i gospodarczymi transportu i składowania skały płonnej. Zastosowanie opisanych założeń wydaje się trafnym rozwiązaniem, szczególnie mając na względzie alternatywne zabiegi zakładające bezpośrednie uwzględnienie w rachunku dodatkowego, uogólnionego kosztu symbolizującego utratę produkcji. W tabeli 3.6 zamieszczono podstawowe kategorie strat produkcyjnych wraz z zaproponowanym w pracy sposobem ich uwzględniania w dynamicznym modelu kosztowym.

#### Główne kategorie strat produkcyjnych wraz ze sposobem ich odwzorowania w modelu kosztowym [Polak, 2015]

Tabela 3.6.

Kategoria strat produkcyjnych	Sposób odwzorowania
Opóźnienie harmonogramu wydobycia	Przesunięcie przychodu w czasie (koszty kredytu udzielonego na okres opóźnienia o wartości stanowiącej iloczyn przychodu i udziału kosztów stałych).
Zmniejszenie wydobycia (wydajność znamionowa, dostępność, naprawialność, przerwy i zatrzymania produkcji, postoje planowane)	Wpływ kosztów stałych w czasie oraz kosztów gotowości organizacyjnej na łączne koszty realizacji zadania wydobywczego (koszt jednostkowy produkcji).
Eksploatacja powyżej miąższości pokładu (operatywność, organizacja produkcji)	Koszt przyspieszonego zużycia środków produkcji. Koszt wydobycia, transportu i zagospodarowania skały płonnej.
Eksploatacja poniżej miąższości pokładu (operatywność, organizacja produkcji)	Zmniejszenie ilość surowca wydobytego w związku z realizacją zadania (wpływ na jednostkowe koszty produkcji).
Obniżona efektywność pracy maszyn (wykorzystanie wydajności znamionowej)	Koszt energii, zużycia technicznego obiektu oraz materiałów eksploatacyjnych wynikający z wydłużenia czasu pracy. Koszty zmniejszenia wydobycia.
Zmniejszona niezawodność, ograniczona skuteczność systemu obsługi	Koszt uszkodzeń stanowiących następstwo awarii. Koszty zmniejszenia wydobycia.
Trwałość, kompatybilność, ergonomia	Wzrost kosztów utrzymania (remonty, materiały, obsługa). Koszty zmniejszenia wydobycia.

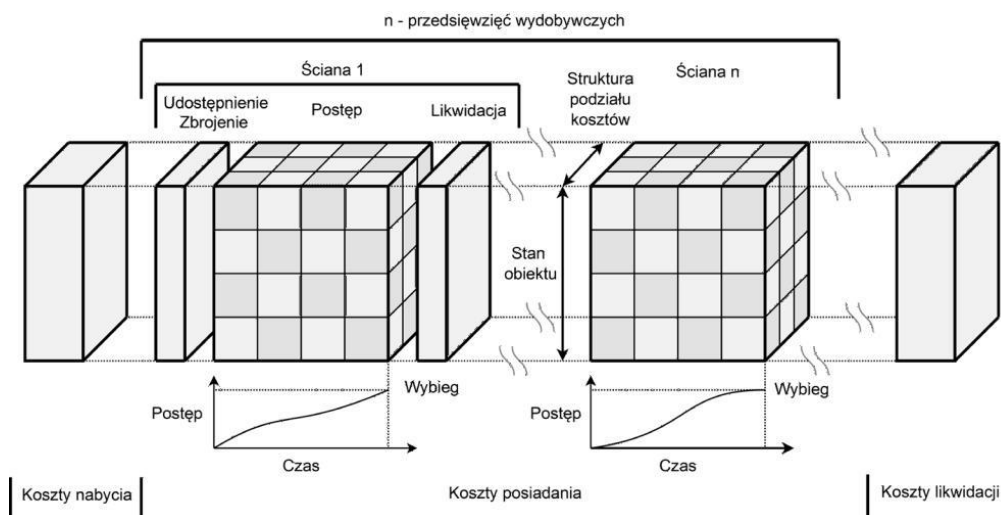
Uzależnienie czasu eksploatacji obiektu od realizacji przyjętych zadań stanowi kryterium, którego słuszność budzić może pewne wątpliwości. W analizowanym przypadku przeciwdziała to jednak sytuacji, w której zmniejszona trwałość wyposażenia lub obniżone właściwości produkcyjne skutkują wycofaniem z eksploatacji przed zakończeniem przydzielonych zadań, co stawia pod znakiem zapytania użyteczność porównań na podstawie tradycyjnej analizy kosztów cyklu życia w ściśle określonym horyzoncie czasowym. W zaprezentowanym ujęciu obiekty o obniżonej trwałości charakteryzować będzie szybciej narastający wraz z wiekiem

i ilością wykonanej pracy przyrost kosztów oraz strat produkcyjnych. Zastosowanie tego uproszczenia, jest szczególnie uzasadnione z perspektywy przedsiębiorcy, który inwestuje w zakup środków niezbędnych w celu wykonania określonej pracy, w najbardziej efektywny ekonomicznie sposób, przy jednoczesnym zapewnieniu maksymalnego bezpieczeństwa pracowników i minimalizacji oddziaływania na środowisko naturalne. Podejście to wymaga jednocześnie umiejętnego odwzorowania procesów starzenia i zużycia eksploatacyjnego, które stanowią funkcję wielu czynników takich jak: trwałość obiektu, czas, warunki środowiskowe, intensywność użytkowania, sposób obsługi, ilość wykonanej pracy (łączy postęp, ilość wydobytego surowca, liczba skrawów). W przyjętym modelu procesy niszczenia odwzorowane zostały przez wydatki na zakup materiałów oraz remonty, przy czym dla konkretnych warunków ściany są one funkcją opisaną w wymiarze czasu, stanu ruchowego, postępu eksploatacji oraz czynników powodujących nagły wzrost obciążenia.

Zważywszy na to, iż całkowity czas eksploatacji kompleksu ścianowego jest stosunkowo długim okresem, rozbić cykl życia na poszczególne projekty wydobywcze – charakteryzujące się względnie jednorodnymi warunkami realizacji wydaje się w pełni uzasadnione. Względem kompleksu ścianowego – obiektu znajdującego się niemal nieustannie w ruchu związku z realizacją zadań wydobywczych, dekretna taka umożliwia zarówno wiarygodne oszacowanie łącznego poziomu kosztów, jak również wysunięcie wniosków w odniesieniu do poszczególnych doświadczeń eksploatacyjnych, szczególnie w aspekcie opłacalności podjętych przedsięwzięć.

### 3.6.3. Dynamiczny model kosztów cyklu życia kompleksu ścianowego

Budowa analitycznego modelu kosztów ma na celu wyodrębnienie i zwymiarowanie kluczowych parametrów eksploatacyjnych w płaszczyźnie kosztowej. Wartość kosztów utrzymania zależy od wielu czynników, dla uproszczenia przyjąć można, iż są one właściwe dla danego obiektu w kontekście określonego zadania wydobywczego, warunków i przebiegu jego realizacji. Model kosztów może w takim przypadku przyjąć formę wielowymiarowej macierzy. Tworząc macierz kosztów posiadania w okresie postępu ściany przyjęto dwa wymiary: struktury kosztów oraz kluczowych z perspektywy kosztów i efektywności produkcji stanów eksploatacyjnych, w jakich znajdować się może obiekt (rys. 3.40).



Rys. 3.40. Ilustracja przyjętego modelu kosztowego [Polak 2015]

Zaproponowana struktura stanów eksploatacyjnych odzwierciedla budowę wskaźnika wykorzystania wyposażenia (*OEE, ang. Overall Equipment Effectiveness*), adaptacja tej miary efektywności do warunków funkcjonowania kompleksów ścianowych została przeprowadzona w tej monografii.

Procedura budowy macierzy kosztów dla przedsięwzięć wydobywczych wymaga identyfikacji kluczowych nośników kosztów. W odniesieniu do kompleksu ścianowego może nim być: czas, stan pobytu załogi w przodku, stan pracy kompleksu, wystąpienie awarii, postęp eksploatacji, wzrost obciążenia w związku z pogorszonymi warunkami geologiczno-górnictwymi np. występujące przerosty. W efekcie umożliwia to identyfikację stanów pracy charakteryzujących się określonym, w uproszczeniu proporcjonalnym do czasu ich trwania poziomem kosztów. Rozbicie łącznej sumy kosztów według struktury podziału na poszczególne stany eksploatacyjne, może być realizowane na bazie modeli obliczeniowych, analitycznych lub w wyniku oceny eksperckiej. Na potrzeby realizacji niniejszej pracy opracowano i wykorzystano następującą procedurę zbliżoną do metod pomiaru kosztów pośrednich w rachunku kosztów działań (*ABC, ang. Activity-Based Costing*):

1. Dla każdego stanu wykonano analizę, jakie czynniki właściwe tylko dla niego wpływać będą na zwiększenie kosztów (np. stan pracy nieefektywnej – praca napędów bez obciążenia, stan pracy efektywnej – znamionowe obciążenie napędów).
2. Oszacowano wpływ tych czynników na poszczególne elementy struktury kosztów (np. koszty obsługi w czasie zmian produkcyjnych).
3. Obliczono skumulowane wartości kosztów, przekazując właściwe dla każdego stanu koszty w górę zgodnie ze strukturą podziału wskaźnika efektywności.
4. Obliczono i zweryfikowano stosunek wzrostu kosztu względem stanów nadrzędnych.
5. Oszacowano całkowite koszty przyjmując czas trwania stanów właściwy dla analizowanego przedsięwzięcia, wartość tą oraz strukturę wydatków porównano z rzeczywistym kosztem.
6. Na podstawie relacji z pkt. 4 oraz informacji o rzeczywistych, łącznych kosztach przedsięwzięcia obliczono alternatywne (skorygowane) koszty jednostkowe i przeprowadzono interpretację odchyleń.
7. Przeprowadzono dyskusję wyników w kontekście innych przedsięwzięć wydobywczych, w szczególnych przypadkach przeprowadzono analizę sposobu dekretacji kosztów. Estymacja jednostkowej macierzy kosztów możliwa jest również na drodze zastosowania metod programowania liniowego lub programowania ograniczeń, przyjmując jako zmienne decyzyjne koszt  $K_{ij}$  oraz jako funkcję celu minimalizację błędu wynikającego ze spełnienia układu równań liniowych, przyporządkowujących każdemu ze stanów jednostkowy koszt trwania (wzór 2) [Polak, 2015].

$$K_p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (S_{pi} \cdot K_{ij}) \quad (3.2)$$

gdzie:

p – numer przedsięwzięcia,

- $i$  – liczba stanów eksploatacyjnych,  
 $m$  – liczba składników kosztowych,  
 $K_p$  – całkowite koszty przedsięwzięcia  $p$ ,  
 $S_{pi}$  – łączny czas trwania stanu –  $i$  w trakcie realizacji przedsięwzięcia –  $p$ ,  
 $K_{ij}$  – jednostkowy składnik –  $j$  kosztu trwania stanu –  $i$ .

Układ równań dotyczy wyłącznie jednorodnych przedsięwzięć, w pozostałych przypadkach konieczne jest uwzględnienie dodatkowych czynników, takich jak: warunki eksploatacji, liczebność załogi, wiek wyposażenia, poziom cen usług i materiałów. Określenie jednostkowego składnika kosztu trwania stanu ( $K_{ij}$ ) w funkcji wielu zmiennych, możliwe jest na drodze programowania matematycznego, zastosowania metod analizy statystycznej bądź systemów uczących się w przypadku zależności nieliniowych. Wprowadzenie hipotetycznych nośników kosztów umożliwia uniknięcie zafałszowań wynikających z sposobu ewidencji kosztów, nieodzworowującego rzeczywistego procesu ich powstawania w czasie. W takim ujęciu jednak realizacja każdego przedsięwzięcia wydobywczego wymaga przeprowadzenia dodatkowej oceny wpływu na zużycie techniczne obiektu w celu prawidłowej dekretacji kosztów remontowych skumulowanych w przyszłości.

### 3.6.4. Kalkulacja kosztów cyklu życia pracy analizowanego kompleksu ścianowego

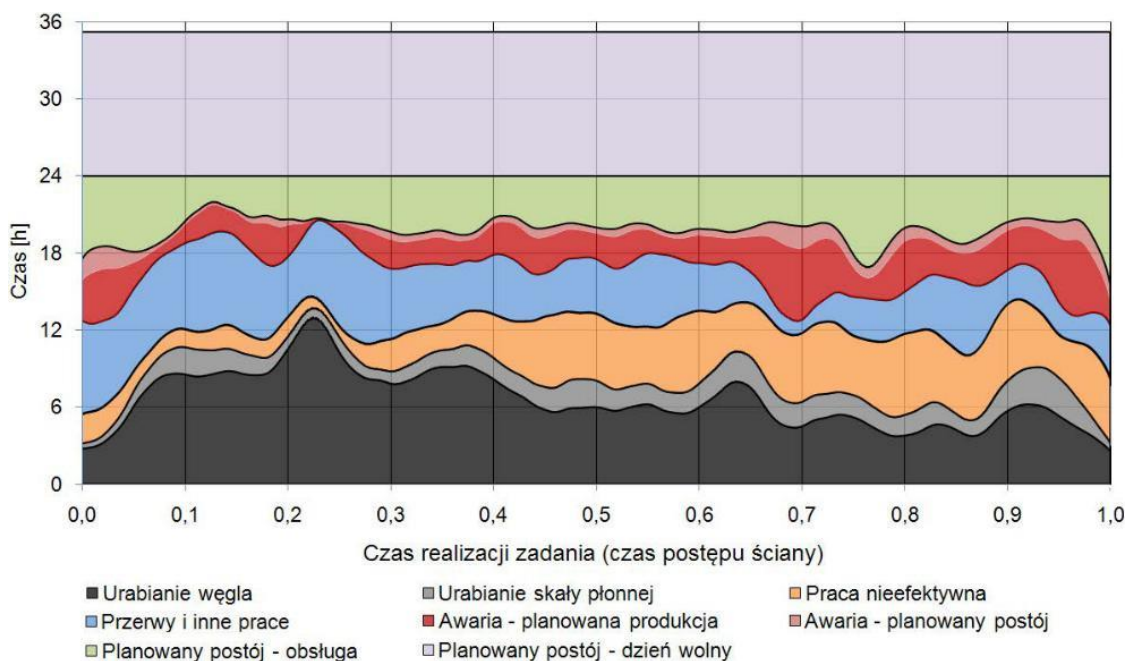
Przeprowadzając przykładowy rachunek kosztów cyklu życia wykorzystano dane opisujące przebieg eksploatacji jednego z kompleksów ścianowych analizowanych w pracy [66]. W celu estymacji całkowitej miary efektywności wyodrębniono poszczególne stany eksploatacyjne obiektu, zachowując zasady budowy wskaźnika OEE. Uśrednione dla całego okresu postępu ściany dane zamieszczone zostały w tabeli 3.7.

#### Kluczowe miary efektywności pracy analizowanego kompleksu ścianowego [Polak, 2015]

Tabela 3.7.

Wyszczególnienie					Udział czasowy			
					względny	skumulowany		
Postój – dzień wolny (11 h 11 min)	Dzień produkcyjny (24 h)				68,2%	68,2%		
	Postój – obsługa (4 h 53 min)	Planowana produkcja (19 h 07 min)			79,7%	54,3%		
	Czas gotowości (4 h 11 min)	Awaria (3 h 19 min)	Czas gotowości (16 h 30 min)			86,2%	46,8%	
			Przerwy i inne prace (4 h 30 min)	Czas pracy (12 h)			72,7%	34,0%
				Praca nieefektywna (3 h 44 min)	Praca efektywna (8 h 16 min)		68,9%	23,4%
					Skąła płona (1 h 40 min)	Węgiel (6 h 36 min)	79,9%	18,7%

Ostatecznie udział czasu wydobycia węgla z wyznaczoną w empiryczny sposób znamionową wydajnością wyniósł 18,7% łącznego czasu. Ponieważ stan awarii oraz gotowości organizacyjnej do pracy są w znacznej mierze niezależne, w celu zachowania jednolitych zasad budowy wskaźnika zastosowano podział na czas jej wystąpienia podczas zmian produkcyjnych oraz planowanego postoju. Suma obu wartości dostarcza tym samym informacje o całkowitym czasie trwania awarii. Stosując aproksymację metodą ruchomych, ważonych, najmniejszych kwadratów (*MWLS – Moving Weighted Least Squares*) oraz techniki opisane w pracy [Polak, 2014b] wyznaczono uśrednione czasy trwania poszczególnych stanów eksploatacyjnych, właściwe dla poszczególnych okresów postępu ściany (rys. 3.41).



Rys. 3.41. Ilustracja przebiegu produkcji dla kolejnych dni postępu ściany [Polak, 2015]

Prezentowany powyżej wykres przebiegu produkcji dostarcza informacji o dużej zmienności kluczowych miar efektywności wykorzystania wyposażenia w czasie, co ma bezpośrednie odzwierciedlenie w poziomie wydobycia. Wzrost czasu pracy nieefektywnej wprost informuje o wystąpieniu czynników organizacyjnych, technicznych bądź naturalnych w znacznym stopniu ograniczających postęp eksploatacji. Pomimo iż zaprezentowana analiza obejmuje wyłącznie okres eksploatacji jednego przodka ścianowego, przykład ten można wykorzystać do oceny alternatywnych scenariuszy eksploatacji obiektu. W tym celu przyjęto następujące założenia względem scenariuszy:

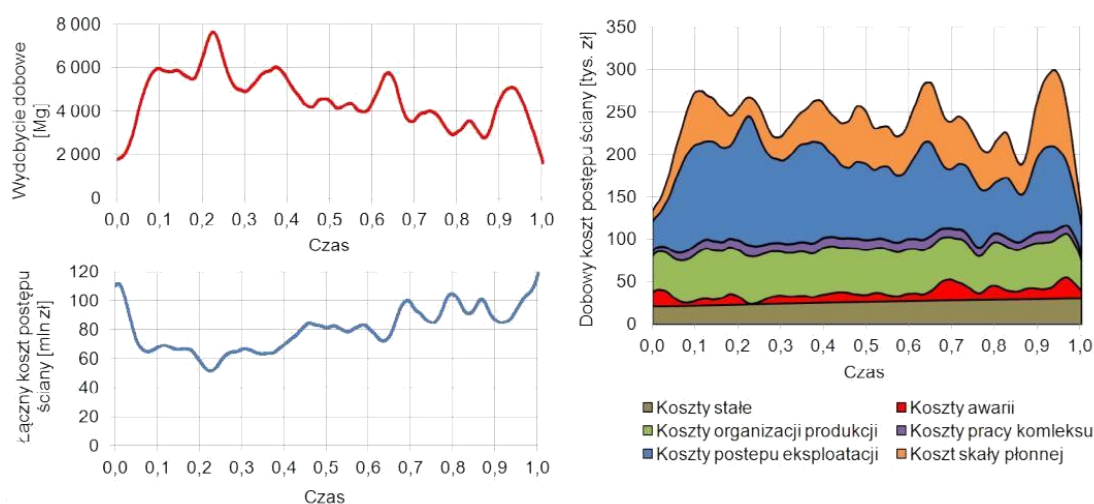
- Scenariusz bazowy – czas trwania poszczególnych stanów eksploatacyjnych stanowi średnią z całego okresu postępu ściany (czas realizacji zadania pozostaje bez zmian).
- Scenariusz pesymistyczny – czas trwania poszczególnych stanów eksploatacyjnych właściwy dla okresu charakteryzującego się najwyższym kosztem jednostkowym produkcji.
- Scenariusz optymistyczny – czas trwania poszczególnych stanów eksploatacyjnych właściwy dla okresu charakteryzującego się najniższym kosztem jednostkowym produkcji.



Ponieważ dane charakteryzujące skrajne scenariusze odzwierciedlają trendy długookresowe, przeprowadzenie analizy poszczególnych przypadków umożliwia ocenę wpływu przebiegu produkcji na wyniki rachunku całkowitych kosztów cyklu życia obiektu. Oddziaływanie to stanowi kluczową cechę realizacji tego szacunku w sposób dynamiczny.

W celu przeprowadzenia rachunku kosztów cyklu życia przyjęto następujące założenia:

- cykl życia obiektu obejmuje okres realizacji 8 zadań wydobywczych (wartość przykładowa),
- wskaźniki eksploatacyjne (m.in. MTBF, MTTR) nie ulegają pogorszeniu wraz z wiekiem (uproszczenie wynika z braku danych niezbędnych do wyznaczenia zmienności tych parametrów w czasie),
- brak waloryzacji kosztów robocizny i materiałów (z uwagi na dynamikę zmian sytuacji rynkowej nie uwzględniono żadnych założeń dotyczących zmian kosztów),
- stała stopa dyskontowa na poziomie 5%, roczne koszty opóźnienia harmonogramu wynoszące 3,3% wartości produkcji (z uwagi na dynamikę zmian sytuacji rynkowej przyjęto przykładową wartość stopy dyskontowej, dla określenia kosztów opóźnienia harmonogramu przyjęto udział kosztów stałych na poziomie 66%),
- stały jednostkowy koszt czasu trwania stanu pracy w okresie postępu ściany wyznaczony na podstawie danych kosztowych obejmujących eksploatację pola ścianowego zgodnie ze strukturą podziału kosztów (tabela 3.8),
- stały koszt nabycia, transportu i montażu oraz odsprzedaży (likwidacji) wyposażenia, stały koszt oraz czas realizacji robót przygotowawczych, zbrojenia i likwidacji ściany (uproszczenie wynika z braku danych niezbędnych do wyznaczenia zmienności kosztów i czasu prac),
- koszt cyklu życia wyliczony przy użyciu analitycznego modelu kosztów dla każdego



z trzech scenariuszy postępu ściany, zakładających odmienne czasy trwania ośmiu podstawowych stanów eksploatacyjnych (rys. 3.42).

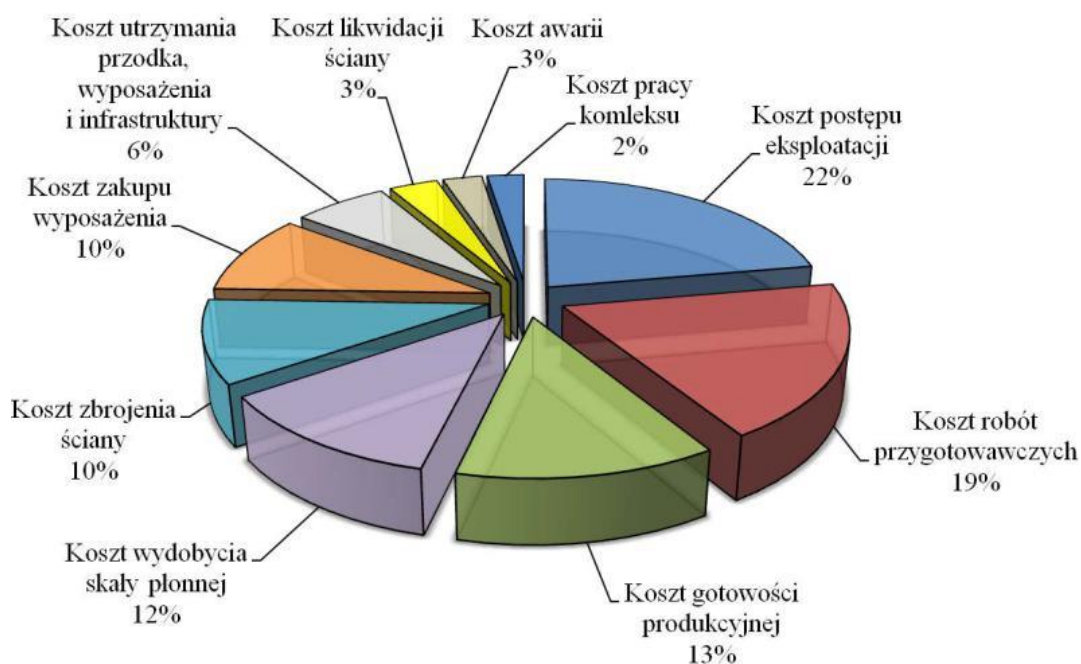
Rys. 3.42. Wpływ poziomu wydobywania na koszty eksploatacji [Polak, 2015]

Przeprowadzając kalkulację przy udziale kosztów stałych na poziomie około 11% oraz względnie stałych (organizacja zmian produkcyjnych) na poziomie 22%, łączny koszt



charakteryzujący okres postępu ściany wyniósł 76 521 tys. zł. Pomijając około 30 dni początkowego i końcowego okresu eksploatacji lokalna projekcja kosztu realizacji zadania zmieniała się w zakresie od 51 486 tys. zł do 104 802 tys. zł. Przy względnie niskim udziale wydatków stałych, projekcja ta wykazuje wysoką dynamikę zmian (rys. 3.42), tym bardziej, że dane opisują trendy długofalowe.

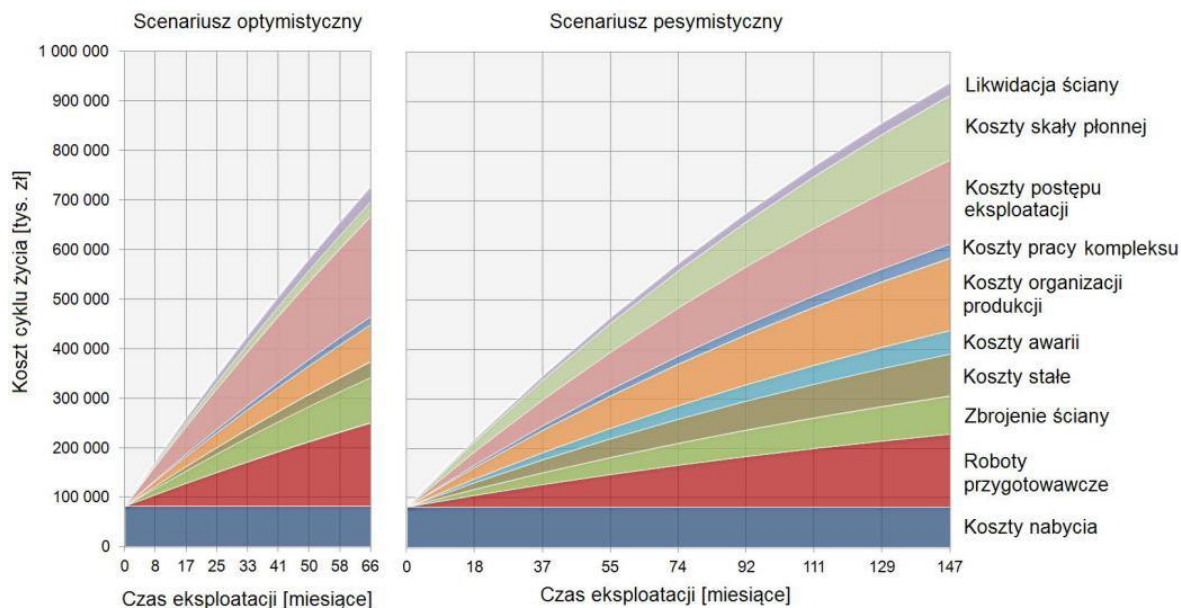
Analizowane scenariusze różnił wyłącznie przebieg produkcji w okresie postępu ściany, tym niemniej koszt charakteryzujący scenariusz pesymistyczny był o 65% większy niż w przypadku scenariusza optymistycznego. Tak znaczące zróżnicowanie wyników otrzymanych na bazie rzeczywistych obserwacji tłumaczy konieczność stosowania dynamicznego modelu kosztów cyklu życia. W sytuacji wystąpienia dodatkowych opóźnień związanych z realizacją robót przygotowawczych, zwiększeniem czasu zbrojenia i likwidacji ściany, należy spodziewać się zdecydowanie większego zróżnicowania wyników.



Rys. 3.43. Składniki zdyskontowanych kosztów cyklu życia dla wariantu bazowego [Polak, 2015]

Na rysunku 3.43 przedstawiono strukturę kosztów cyklu życia kompleksu ścianowego dla wariantu bazowego. Jak można zauważyć, cena zakupu stanowi szóstą pod względem wielkości pozycję kosztową i stanowi około 10% całkowitego kosztu cyklu życia. Przyjęcie tej wartości jako głównego kryterium decyzyjnego budzić więc może uzasadnione wątpliwości.

Analizując skrajne scenariusze eksploatacji podstawowa różnica obejmuje wzrost udziału: kosztów wydobycia skały płonnej (z 4 do 14%), kosztów awarii (z 0,1 do 5%) kosztów stałych (z 4 do 9%) oraz kosztów organizacji produkcji (z 10 do 16%). Na rysunku 3.44 zaprezentowano kumulację kosztów w ciągu cyklu życia wyposażenia.



Rys. 3.44. Wartość wybranych składników kosztu cyklu życia skrajnych scenariuszy eksploatacji [Polak, 2015]

Jak można zauważyć koszty charakteryzujące scenariusz optymistyczny narastają znacznie dynamiczniej w funkcji czasu, jednak ich końcowa wartość jest wyraźnie mniejsza. Uzależniając więc procesy starzenia od postępu eksploatacji, może to prowadzić do wysunięcia błędnych wniosków związanych m.in. z występowaniem awarii – w przypadku zmniejszenia tempa produkcji będą one występowały rzadziej, co jednak nie zmniejszy ich łącznej liczby w aspekcie realizacji całego zadania. Różnice kosztów nabycia, robót przygotowawczych, zbrojenia, postępu i likwidacji ściany wynikają z rachunku dyskonta. Udział kosztów stałych i względnie stałych w czasie w łącznym koszcie cyklu życia kompleksu wyniósł około 19%. Uwzględniając jednak starty z tytułu opóźnienia produkcji, skrócenie czasu realizacji zadań wydobywczych o połowę umożliwi redukcję wyliczonego kosztu cyklu życia obiektu o około 30%. Prowadzi to do konkluzji, że zawartość skały płonnej w urobku brutto i stopień wykorzystania potencjału produkcyjnego stanowią kluczowe czynniki związane ze środowiskiem pracy kompleksów ścianowych, wywierające decydujący wpływ na wynik rachunku ekonomicznego.

### 3.6.5. Karta miar efektywności jako narzędzie oceny efektywności i środek do optymalizacji działalności górniczej

Jak już wspomniano Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0 – tworzy zespół analityków GK JSW, jego nadrzędnym celem jest optymalizacja działalności górniczej Spółki powodująca zwiększenie produktywności wykorzystywanych maszyn i urządzeń poprzez podniesienie ich wydajności i obniżenie kosztów eksploatacyjnych.

W ramach prowadzonych analiz CZAD JSW 4.0 wykorzystywane są dane z:

- raportów służb utrzymania ruchu,
- systemów monitoringu pracy maszyn i urządzeń oraz lokalizacji załogi, tj. ZEFIR, SAURON, EH, ARGUS, EMAC,
- systemów BI – SAP BO, SZYK2, HPR.

W myśl zasady „nie możesz zarządzać czymś, czego nie da się zmierzyć”, w CZAD JSW 4.0 opracowano określone techniki pomiarowe, mające za zadanie dostarczyć użytecznych decyzyjnie informacji obejmujące:

- wielowymiarowe analizy danych geologicznych, górniczych i produkcyjnych ścian wydobywczych,
- sporządzanie raportów efektywnościowych dotyczących pracy kompleksów ścianowych i spółki,
- wybór narzędzi IT wspomagających analizę danych.

W ostatnich latach tematyce optymalizacji działalności górniczej poświęconych zostało szereg publikacji naukowych [Brzychczy, 2006; Kicki, 2013; Kicki, 2011; Dyczko, 2013; Polak, 2014a, b, c; Polak, 2016; Polak, 2016; Dyczko, 2023]. Zainteresowanie tym tematem nie powinno budzić zdziwienia, biorąc pod uwagę specyfikę branży, w której optymalizacja stanowić powinna element ciągłego procesu doskonalenia działalności operacyjnej. W związku z czym, wdrożenie nawet uproszczonych metod oceny w obszarze użytkowania podstawowych maszyn i urządzeń górniczych wydaje się już nie tyle uzasadnione, co konieczne.

Jak już wspomniano powyżej w ramach wdrażania nowego wymiaru analiz danych konieczne było wprowadzenie w CZAD JSW S.A. 4.0 nowych standardów dotyczących:

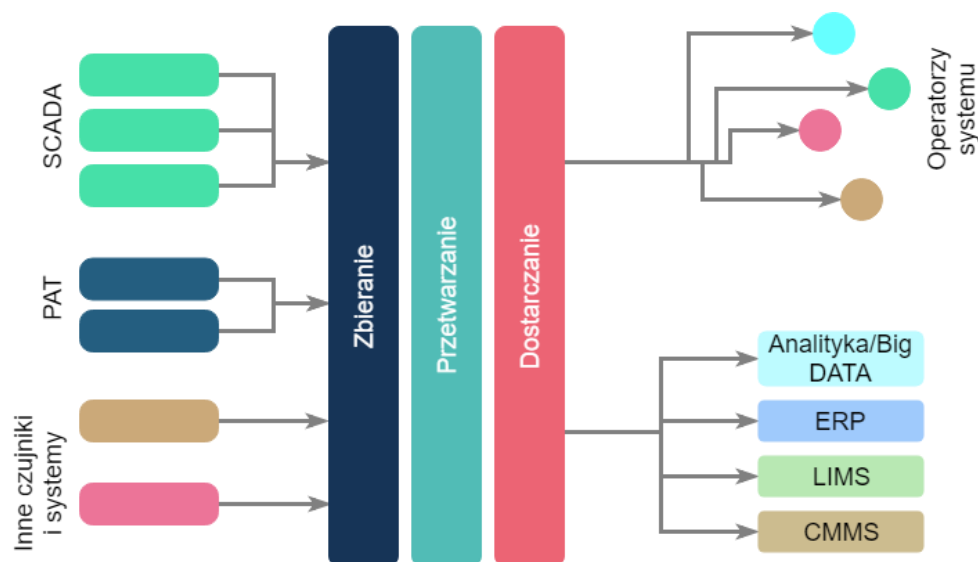
- infrastruktury IT/OT,
- wymiany danych,
- Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówień w zakresie oprogramowania IT/OT,
- warunków dostępu do sieci wydzielonych.

Technika zastosowania karty miar efektywności jako podstawowego narzędzia umożliwiającego śledzenie, ocenę i wielowymiarową analizę efektywności zmechanizowanych systemów wydobywczych JSW S.A. po raz pierwszy zaprezentowana została Spółce przez Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w roku 2016 podczas opracowywania strategicznych scenariuszy wyjścia JSW S.A. z kryzysu lat 2014 - 2016. W roku 2018 zoptymalizowane karty miar efektywności zostały przyjęte przez CZAD JSW 4.0 jako główny miernik oceny efektywności optymalizacji działalności górniczej Spółki.

Pierwotnie funkcjonalność karty zaprezentowano, posługując się przykładem kompleksu ścianowego, stanowiącego ciąg współpracujących ze sobą maszyn i urządzeń m.in.:

- obudowy zmechanizowanej,
- kombajnu ścianowego lub struga,
- przenośnika ścianowego,
- przenośnika podścianowego,
- kruszarki,
- urządzeń pomocniczych.

W toku algorytmizacji przyjętego sposobu raportowania informacji w CZAD JSW 4.0 znacząco poszerzono potencjalny wachlarz zastosowania opisanych narzędzi informacyjnych, jednocześnie uruchamiając monitoring parametrów pracy kluczowych maszyn eksploatowanych na wszystkich wyrobiskach ścianowych i chodnikowych, rozbudowując magistralne sieci światłowodowe o około 170 km, wdrażając Centralny Serwer Danych Technologicznych – centralny dostęp do uporządkowanych danych generowanych w procesie produkcji oraz tworząc oddziały automatyki EDA na wszystkich kopalniach JSW S.A. do utrzymania monitorowanej infrastruktury (rys. 3.45).



Rys. 3.45. Ramowy schemat infrastruktury zbierania danych wdrożonej w CZAD JSW S.A. 4.0

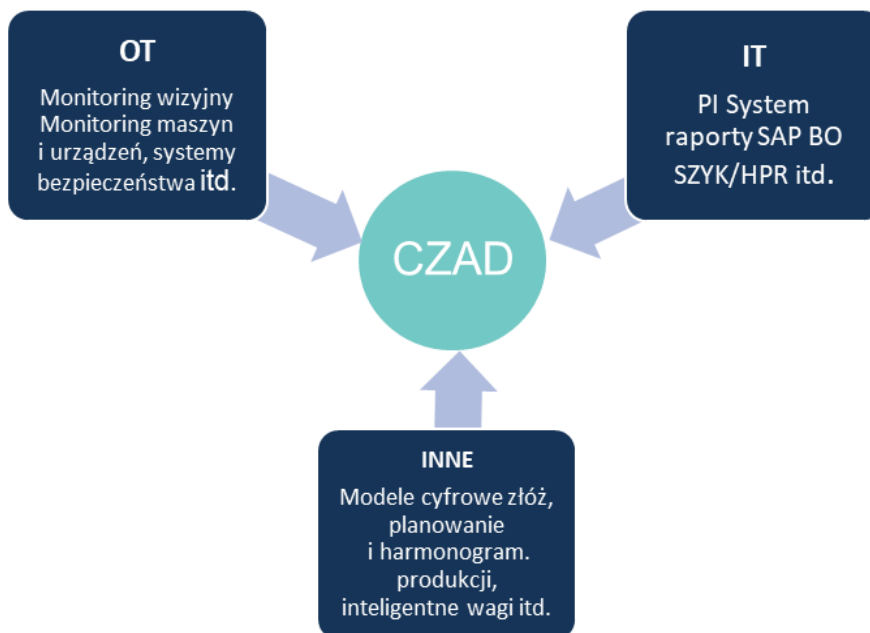
Funkcjonujący w CZAD JSW 4.0 Centralny Serwer Danych Technologicznych wykonany w oparciu o PI system firmy OSIsoft, jest sercem złożonej analityki zbudowanego rozwiązania jego zadaniem jest zbieranie i analiza szerokiego spektrum danych dotyczących środków produkcji GK JSW.

### 3.6.5.1. Koncepcja karty miar efektywności pracy zmechanizowanych kompleksów wydobywczych JSW S.A.

Prezentowana w monografii koncepcja oceny efektywności pracy zmechanizowanych kompleksów wydobywczych JSW S.A. za pomocą karty miar efektywności należy do unikalnych i pionierskich rozwiązań standaryzujących sposób raportowania wdrożonych w polskim górnictwie.

Poszczególne przedsiębiorstwa stosują nieco inny zestaw danych, różnice obejmują również ich szczegółowość, źródło oraz jakość danych. Wynika to po części z faktu, że poza nielicznymi przypadkami, m.in. samojezdnych maszyn górniczych stosowanych w KGHM PM S.A., branża nie wdraża metod wspomagających zarządzanie parkiem maszynowym, opartych na filarach takich jak m.in. TPM (*Total Productive Mainlenance*).

Pierwsze w polskim górnictwie Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0 od samego początku miało być elementem standaryzującym sposób raportowania GK JSW S.A. i wsparciem procesu podejmowania decyzji biznesowych w Spółce. Na rysunku 3.46 pokazano główne źródła danych budujące CZAD JSW 4.0



Rys. 3.46. Główne źródła danych pierwszego w polskim górnictwie Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0

Generowane w CZAD JSW 4.0 analizy, raporty i zestawienia zamiast standardowego podejścia ilościowego koncentrują uwagę na kwestiach jakościowych oraz sposobie osiągnięcia wyniku produkcyjnego, identyfikując tym samym kluczowe stymulanty i destymulanty efektywnego przebiegu wydobywania zgodnie z metodyką analizy zaproponowaną pierwotnie przez konsultantów IGSMiE PAN. W znacznym uproszczeniu wyszczególnić w tym zakresie należy następujące, cyklicznie ewidencjonowane informacje:

- pomiary rejestrowane zdalnie lub lokalnie przez różnorodne systemy techniczne,
- zmianowe i dobowe raporty produkcyjne,
- rejestry zdarzeń (awarii),
- miesięczne koszty operacyjne,
- dokumenty mierniczo-geologiczne (m.in. odbiory i profile geologiczne).

Szczegółowo dla kompleksu ścianowego oznacza to ewidencję:

- zmianowego wydobywania lub postępu przodka ścianowego,
- dobowego lub miesięcznego czasu pracy kombajnu,
- miesięcznych kosztów działalności w układzie rodzajowym i procesowym z dekretacją według miejsc powstawania,
- incydentów (awarii i zatrzymań eksploatacji),
- pomiarów mierniczo-geologicznych (miesięcznych odbiorów).

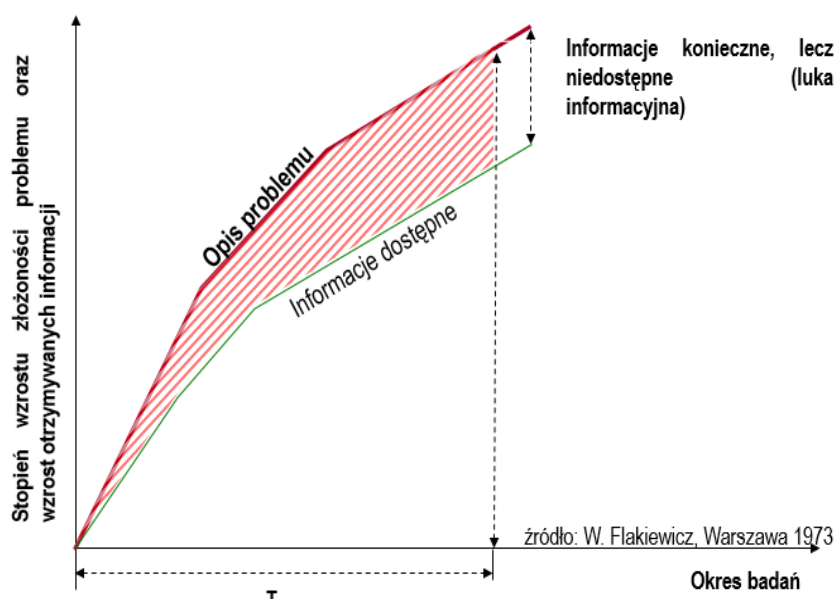
W dalszej kolejności najczęściej analizom poddawane są dane miesięczne, co pozwala wprowadzić niezbędne korekty wynikające z naturalnych ograniczeń doraźnych raportów zgłaszanych drogą telefoniczną oraz faktu, że poszczególne informacje posiadają różny wymiar dekretacji czasowej. Tego typu działanie pozwala na przeprowadzenie uogólnionej regresji kosztów i wyników produkcyjnych w kontekście stosowanego wyposażenia, organizacji produkcji i uciążliwości warunków środowiska pracy, lecz w żaden sposób nie pozwala na szczegółową klasyfikację i identyfikację przyczyn powstawania poszczególnych strat.

Problematyka rejestracji i statystyki strat zgodnie ze strategią TPM [Brzychczy, 2006; Kicki, 2011; Kicki, 2013; Polak, 2014a, b, c; Polak, 2016; Polak, 2016; Dyczko, 2023] wskazuje bezpośrednio na potrzebę identyfikacji poziomu strat sporadycznych - m.in. awarii, oraz strat chronicznych - niemal zawsze obecnych, powtarzających się i mocno rozproszonych w organizacji. Oznaczenie tych pierwszych nie stanowi większego problemu, sprowadza się bowiem do wdrożenia i przestrzegania ustandaryzowanych reguł ewidencji incydentów. Określenie nasilenia strat powtarzalnych, stanowi znacznie bardziej skomplikowane zagadnienie. Wiedza na ten temat podobnie jak same straty, jest bowiem silnie rozproszona w organizacji, w dodatku istnieje najczęściej w postaci subiektywnych przekonań i obiegowych opinii.

Aby uzyskać nową wartość, konieczne jest doprowadzenie do efektu synergii danych rejestrowanych w poszczególnych obszarach m.in.: kontroli operacyjnej i utrzymania ruchu, raportowania produkcji, księgowości, przy zachowaniu możliwie jak najbardziej precyzyjnego okresu czasowej dekretacji danych. Zgodnie z zasadą „Garbage In - Garbage Out” (ang. „*śmieć na wejściu – śmieć na wyjściu*”) jednym z najważniejszych działań CZAD JSW 4.0 jest inicjowanie działań mających na celu poprawę jakości gromadzonych informacji. Tutdzież udział w opracowaniu narzędzi, procedur, zmian w funkcjonujących systemach i kanałach informacyjnych skutkujących zmniejszeniem luki informacyjnej i poprawą jakości ewidencjonowanych danych - jak pokazano na rysunku 3.47. Jakość informacji rozpatrywać należy w kontekście głównych jej cech, takich jak:

- dokładność,
- kompletność,
- aktualność,
- istotność,
- zwiezłość,
- użyteczność,
- dyspozycyjność,
- porównywalność,
- wiarygodność.

Podstawową determinantą skuteczności jakichkolwiek metod analitycznych stosowanych przez CZAD JSW 4.0 jest pozyskanie wymaganej informacji, spełniającej zadane kryteria jakościowe (zapełnienie luki informacyjnej).



Rys. 3.47. Luka informacyjna jakości ewidencjonowanych danych w systemach IT/OT [Flakiewicz, 1991]

Decydującym czynnikiem wyróżniającym Centrum Zaawansowanej Analiz Danych JSW 4.0 pomiędzy innymi jednostkami organizacyjnymi Spółki jest świadome i celowe wykorzystanie w ocenie prowadzonego procesu produkcyjnego zaawansowanych metod analitycznych w tym uczenia maszynowego, realizowanego w procesie inżynierskim, na bazie danych zgromadzonych w systemach informatycznych.

Podstawową cechą metod „inteligentnych”, stanowić powinna zdolność skutecznego wykorzystania doświadczeń oraz efektywnego skondensowania informacji w swej treści.

Wymienić tu należy następujące typy zastosowań:

- szeroko pojętą **eksplorację danych** – mającą na celu pozyskanie wiedzy ukrytej, wspomaganie procesów decyzyjnych poprzez budowę systemów wnioskowania, umożliwiających praktyczne wykorzystanie zdobytych doświadczeń,
- tworzenie **systemów dziedzinowych** korzystających z modeli symulacyjnych umożliwiających analizę działania układów rzeczywistych bądź rozwiązanie złożonych problemów planistycznych lub optymalizacyjnych,
- tworzenie **aktywnych systemów** posiadających umiejętność uczenia się i adaptacji, w tym systemów sterowania przebiegiem procesów technologicznych, szczególnie w warunkach braku dostępu do pełnej informacji (logika rozmyta).

Posiadanie bazy wiedzy, w formie deklaratywnego zbioru faktów opisujących jednoznacznie przeszłe doświadczenia, stanowi wspólny element wszystkich wymienionych zastosowań.

Na tym tle karta miar efektywności pracy sporządzana w formie raportu, umożliwić powinna dekompozycję ekonomicznej efektywności przedsięwzięcia wydobywczego

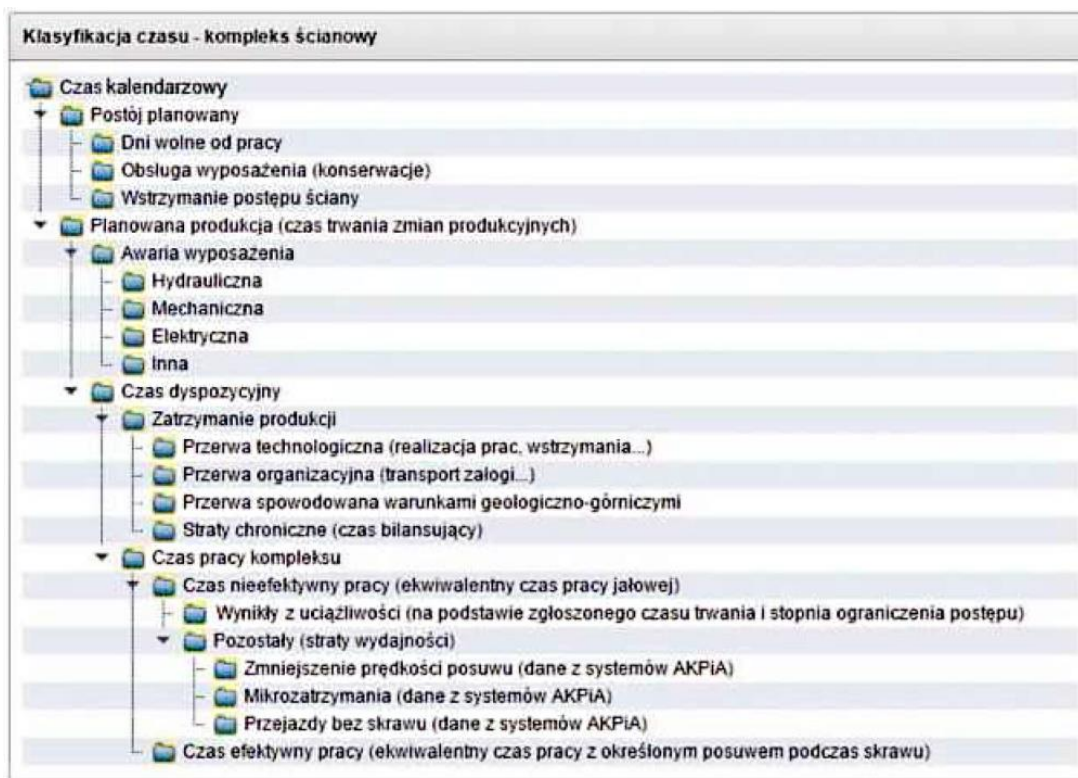


związanego z użytkowaniem wyposażenia. W praktyce zadanie to sprowadza się do wielowymiarowej klasyfikacji stanu w jakim w danym czasie znajduje się obiekt. Klasyfikacja ta korespondować może z różnymi stopniami aktywności w wymiarze kosztowym, jak i naturalnym łańcuchem tworzenia wartości dodanej.

W celu oceny systemów wydobywczych wskazać w tym zakresie można następujące, zunifikowane poziomy opisu:

- dostępność produkcyjna (dni robocze),
- dyspozycyjność techniczna i technologiczna (awarie i zatrzymania),
- dyspozycyjność organizacyjna (czasowe obłożenie zmian produkcyjnych),
- postoje podczas zmian produkcyjnych,
- praca jałowa (czas pracy bez wykonywania użytecznych operacji),
- wydajność produkcyjna,
- jakość produkcji,
- wartość produktu,
- koszt produkcji.

Przykładowa struktura pozwalająca na bardzo precyzyjną klasyfikację stanu w jakim znajduje się kompleks ścianowy została zaprezentowana na rysunku 3.48. Wykorzystanie w praktyce takiego układu (rys. 3.48) jest dość kłopotliwe, karta miar efektywności powinna bowiem być możliwa do oszacowania na podstawie danych, które są powszechnie ewidencjonowane w poszczególnych przedsiębiorstwach.



Rys. 3.48. Hierarchia klasyfikacji stanu pracy kompleksu ścianowego [Polak, 2016]

### 3.6.5.2. Przykład karty efektywności pracy kompleksów ścianowych JSW S.A.

Kompleks ścianowy to wyposażenie znajdujące się na początku łańcucha produkcji, stąd też jego niezakłócone i efektywne działania w znacznym stopniu determinuje rentowność produkcji całej kopalni. Obiekt ten użytkowany jest w sposób ciągły w skrajnie niekorzystnym środowisku o zdywersyfikowanym nasileniu uciążliwości, co na ogół wywiera znaczący wpływ na przebieg jego pracy. Co najmniej część obaw związanych z oceną efektywności pracy kompleksów ścianowych wynika z przeświadczenia, że poszczególnych przodków i kopalń nie można ze sobą porównywać z racji na specyficzne różnice. Stwierdzenie to jest silnie uzasadnione, jednak należałoby zaznaczyć, że porównań nie można wykonywać w sposób uproszczony i nieprzemysłany. Właściwe podejście do oceny pracy kompleksu ścianowego powinno skutkować identyfikacją poziomów efektywności, na których porównanie jest miarodajne lub daje możliwość odniesienia strat bezpośrednio do czynników, które je wywołują. Propozycja wieloaspektowego układu, zwymiarowanego w funkcji czasu o analogicznej budowie jak wskaźnik OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) wraz z modyfikującą jej budowę kartą miar efektywności pracy kompleksu ścianowego przedstawiono w tabeli 3.8 [Polak, 2016].

#### Propozycja karty miar efektywności sporządzona dla kompleksu ścianowego [Polak, 2016]

Tabela 3.8.

Lp.	Wskaźnik względny (W1)	Wskaźnik bezwzględny (W2)	Kategoria strat (S)
1	Dni robocze [%]	Dni robocze [h] (w wymiarze średniodobowym lub dniach)	Dni wolne od pracy
2	$\frac{\text{Czas dni z wydobyciem}}{\text{Czas dni roboczych}}$ [%]	Dni z wydobyciem [h] (w wymiarze średniodobowym lub dniach)	Czas nieplanowanego postoju skutkujący zatrzymaniem produkcji (uzupełnienie wykresem Pareto przyczyn zatrzymań)
3	$\frac{\text{Czas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas dni z wydobyciem}}$ [%]	Czas zmian z wydobyciem (dobowy) [h]	
4	$\frac{\text{Czas obłożony przez załogę podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas zmian z wydobyciem}}$ [%]	Czas gotowości załogi produkcyjnej (dobowy)[h]	Czas postoju organizacyjnego (chroniczny)
5	$\frac{\text{Czas dyspozycyjności podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas obłożony przez załogę w zmiany z wydobyciem}}$ [%]	Czas gotowości i dyspozycyjności do pracy (dobowy) [h]	Czas nieplanowanego postoju skutkujący wstrzymaniem produkcji podczas zmiany produkcyjnej
6	$\frac{\text{Czas pracy kompleksu podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas dyspozycyjności podczas zmian z wydobyciem}}$ [%]	Czas pracy kompleksu (dobowy)[h]	Czas postoju i wykonywania prac towarzyszących wydobyciu
7	$\frac{\text{Czas wydobywania podczas zmian z wydobyciem}}{\text{Czas pracy kompleksu podczas zmian z wydobyciem}}$ [%]	Czas wydobywania (dobowy) [h]	Czas pracy kompleksu bez wydobywania (m.in. przerwy technologiczne i realizacja innych czynności)
8	$\frac{\text{Postęp}}{\text{Czas wydobywania podczas zmian z wydobyciem}}$ [m/h]	Postęp przodka (dobowy) [m]	Straty wydajności produkcji (mikrozatrzymania, zmniejszony posuw lub zabiór)

9	$\frac{\text{Wydobycie brutto}}{\text{Postęp}}$ [Mg/m]	Wydobycie z oddziału brutto (dobowe) [Mg]	Straty wydajności wynikające m.in. z miąższości pokładu
10	$\frac{\text{Wydobycie netto}}{\text{Wydobycie brutto}}$ [%]	Wydobycie z oddziału netto (dobowe) [Mg]	Straty wynikające z przerostów, zaburzeń pokładu i zastosowanej technologii wydobycia (np. przybierka spągu)
11	Wartość surowca [zł/Mg]	Przychód z oddziału (dobowy) [zł]	Wartość kopaliny w złożu eksploatowanym przez oddział
12	Koszt jednostkowy dla oddziału [zł/Mg]	Koszt oddziału (dobowy) [zł]	Koszt eksploatacji w oddziale

Zaprezentowana w tabeli 3.8 karta miar efektywności, wykorzystywana w raportowaniu CZAD JSW 4.0, jest prosta w budowie oraz możliwa w pełni do przygotowania na bazie danych ewidencjonowanych obecnie przez przedsiębiorstwa górnicze.

Pierwsza kolumna metryki (W1) zawiera uporządkowane przestrzeni przyczynowej miary względne, których kolejny iloczyn w wierszach 1-11 tworzy wartość drugiej kolumny (W2). Zabieg ten ma za zadanie uprościć interpretację wpływu poszczególnych miar efektywności na końcowy wynik ekonomiczny (rentowność) oraz uwidocznic częste przypadki korelacji poszczególnych miar efektywności. Trzecia kolumna metryki stanowi miejsce na zamieszczenie stosownych komentarzy oraz wykresów pomocniczych, takich jak: wykres pareto, wykres korelacji (m.in. W1 i W2 dla poszczególnych tygodni obserwacji), lub rozkłady wartości (m.in. osiągniętej wydajności produkcyjnej). Miary ujęte w karcie stanowią:

- klasyfikację czasu (wiersze 1-7),
- miary wydajności (wiersze 8-9),
- miary jakości (wiersz 10),
- miary ekonomiczne (wiersz 11-12).

Ponieważ elementy kolumny W2 stanowią iloczyn kolejnych elementów kolumny W1, przy wskaźnikach nr 1-7, mieszczących się w przedziale  $<0, 1>$  skutkuje to ciągłym ubytkiem czasu, począwszy od dostępnego czasu kalendarzowego, a skończywszy na czasie wydobycia (co dodatkowo umożliwia zilustrowanie na wykresie strumieniowym). Przy czym czas zawarty w kolumnie W2 obejmować może dowolny okres m.in.: kwartał, miesiąc, tydzień, stanowić może czas średniodobowy lub po prostu kolejny bezwymiarowy współczynnik, który podzielony przez dowolną z miar W1 umożliwia jej wyeliminowanie. Przykładowo: bezwymiarowy współczynnik W2 w wierszu nr 7 podzielony przez miarę W1 w wierszu nr 1 i pomnożony przez 24 dostarczy informacji na temat średniego czasu wydobycia w dni robocze. Iloczyn wskaźników W1 z wiersza 4,5,6,7,8 jest jednoznaczny ze średnim postępowaniem na 1 godzinę trwania zmiany roboczej. Współczynnik W1 w wierszu 3 pomnożony przez liczbę zmian w funkcjonującym systemie pracy (przy założeniu równego czasu ich trwania) dostarczy informacji na temat średniej liczby zmian z produkcją w dzień roboczy. Tym samym, dostarczając 12 elementarnych informacji, możliwe jest uzyskanie bardzo wielu kombinacji, których śledzenie może przebiegać według scenariusza od ogółu do szczegółu.

Zaproponowany układ wskaźników wspomaga funkcję prognozowania. Zmieniając jeden z ujętych parametrów, wprost ocenić można w jaki sposób wpłynie to na wynik końcowy.

Przykładowo umożliwia to odpowiedź na pytanie: o ile zwiększy się czas wydobycia i postęp dobowy w przypadku skrócenia czasu transportu załogi o 15 minut, przy założeniu niezmienności pozostałych miar efektywności lub zastosowaniu empirycznych lub teoretycznych charakterystyk.

Zastosowany tabelaryczny układ karty pozwala na szybką identyfikację poziomu ponoszonych strat w przestrzeni wytypowanych dwunastu miar efektywności, umożliwiając analizę kolejnych wskaźników w danej kolumnie. Przygotowując opisaną kartę indywidualnie dla każdego z analizowanych obiektów w poszczególnych polach zamieszczona być może:

- wartość liczbowa miary (bardzo ograniczone zastosowanie),
- wykres zagregowany w funkcji czasu - tygodniowy lub miesięczny.
- rozkład populacji miar właściwy dla wszystkich analizowanych obiektów (wykres uporządkowany) z wyraźnym zaznaczeniem pozycji analizowanego przypadku.

Doświadczenia związane z przygotowaniem i zastosowaniem opisanej karty wskazują, że dwa ostatnie układy stanowiąc mogą niezwykle pomocne narzędzie, umożliwiające błyskawiczną ocenę efektywności pracy wyposażenia produkcyjnego w wielu równoległych aspektach, podsumowanych miarami ekonomicznymi (wiersze 11 i 12). Zestawienie analogicznych danych w jednej linii znacząco przyspiesza ocenę wartości, w szczególności: analizę wzajemnej korelacji kolejnych miar i trendów czasowych dla wykresów zagregowanych w czasie oraz błyskawiczną analizę słabych i mocnych stron analizowanego obiektu, w przypadku zastosowania wykresów uporządkowanych z zaznaczoną wartością i pozycją obiektu w grupie.

W przypadku wykorzystania karty do oceny wielu obiektów w dłuższym czasie, szczególne zastosowanie znajduje obserwacja rozkładów (m.in. dystrybuanty) wydzielonych grup obserwacji spełniających zadane kryteria. Opisany układ pozwala wprost zidentyfikować miary efektywności, których zmienność ma zasadniczy wpływ na wynik końcowy (m.in. dobowe wydobycie netto) oraz ich rozkład dla przedsięwzięć wydobywczych realizowanych w określonych warunkach geologiczno-górnictwowych, organizacyjnych i technicznych.

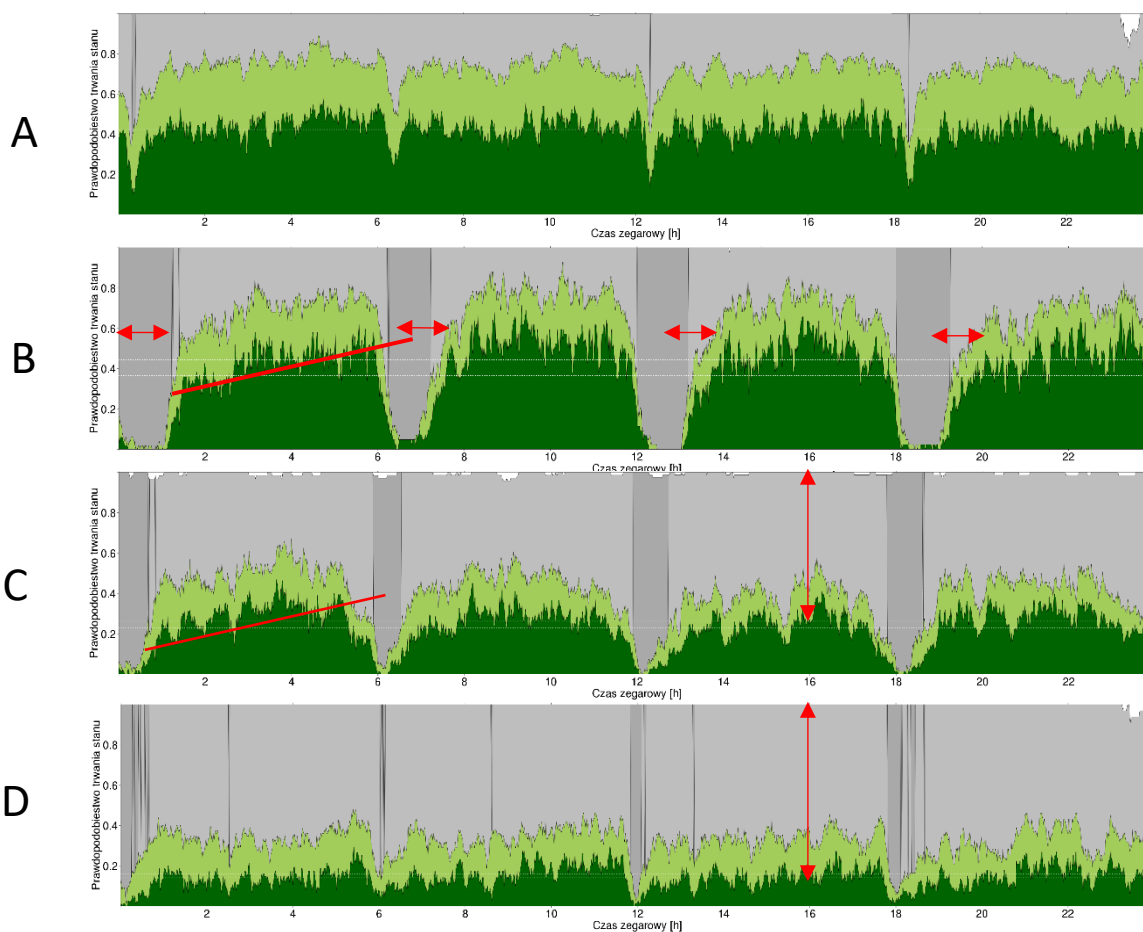
### **3.6.5.3. Uzupełniające techniki analizy danych i wizualizacji wyników**

Istotne uzupełnienie karty miar efektywności stanowić powinien wykaz parametrów związanych z szeroko pojętą uciążliwością warunków pracy oraz wykresy o znaczeniu analitycznym. Do podstawowych typów posiadających największą przydatność opisową zaliczyć można:

- wykres jednostkowego postępu i lub wydajności wydobycia,
- wykres postępu i/lub wydobycia zmianowego oraz dobowego,
- dystrybuanty wartości dobowych dla różnej ilości zmian produkcyjnych,
- wartości poszczególnych obserwacji w funkcji czasu wydobycia,
- wykres czasu trwania klasyfikowanych stanów,
- wykres kołowy,
- wykres zagregowany dla czasu,

- wykres skumulowany i uporządkowany na poziomie doby,
- wykres 3D w układzie czas zegarowy - czas kalendarzowy,
- wykres zagregowany dla czasu zegarowego,
- wykres długości trwania cyklu wydobywania i przerw pomiędzy kolejnymi cyklami,
- wykres pudełkowy dla kolejnych okresów,
- wykres względnych i bezwzględnych miar efektywności,
- wykres w funkcji czasu,
- wykres strumieniowy,
- wykres typu heat map,
- wykres wartości równoległych (tzw. „sieć rybacka”),
- wykres wzajemnej korelacji dla kolejnych obserwacji (m.in. tygodnia),
- wykres pareto podstawowych przyczyn zatrzymań,
- dystrybuanta rozkładu czasów MTBF (*Mean Time Between Failures*) i MTTR (*Mean Time To Repair*),
- wykres mocy i prędkości urabiania w dwuwymiarowej płaszczyźnie ściany (długość, wybieg),
- wykres korelacji wyników produkcyjnych ścian w obrębie kopalni, w tym w szczególności w przypadku wspólnych dróg odstawy i ciągnięcia urobku.

Ze względu na ilość i różnorodność metod szczegółowej analizy danych, na rysunkach 3.49 oraz 3.50 zaprezentowano jedynie wybrane przykłady wykresów wspomagających ocenę przebiegu użytkowania kompleksu ścianowego [Polak, 2016].



Rys. 3.49. Czasowe charakterystyki przebiegu użytkowania kompleksu ścianowego [Polak, 2016]

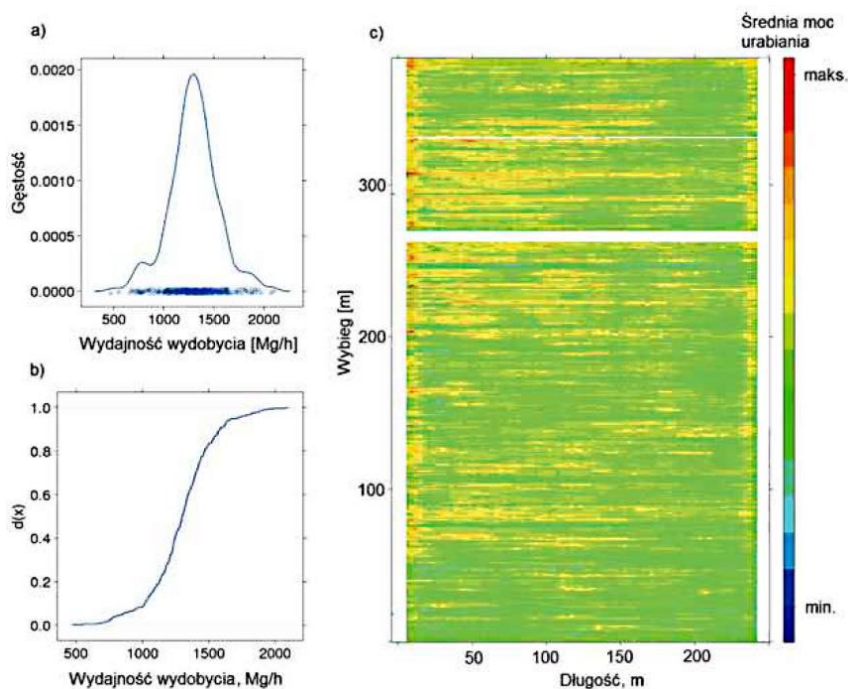
Rysunek 2.49 a) zawiera zapis stanu pracy kompleksu ścianowego w układzie czas godzinowy - czas kalendarzowy. Tego rodzaju wykres jest wyjątkowo użyteczny, pozwala bowiem na początkowym etapie analizy ocenić wstępnie:

- sposób organizacji i przebieg produkcji (dni wolne od pracy, dni bez produkcji, liczba zmian produkcyjnych ogółem, średnia liczba zmian z produkcją),
- poziom strat organizacyjnych (chronicznych, występujących pomiędzy zmianami),
- występowanie strat sporadycznych (awarie i zatrzymania),
- przybliżoną wartość i rozkład dobowego czasu pracy kompleksu ścianowego,
- średni czas trwania cyklu produkcyjnego oraz przerw produkcyjnych.

W dalszej części, klasyfikując czas według stanów wskazanych na rysunku 3.30, sporządzony może być uporządkowany wykres zaprezentowany na rysunku 3.49 b). Budowa wykresu wykorzystuje miary efektywności opisane uprzednio w karcie i polega na cyklicznym kumulowaniu zagregowanych dla doby kolejnych mierników efektywności i uporządkowywaniu ich według wartości. Wykres ten dostarcza informacji zbliżonej jak dystrybuanta poszczególnych miar efektywności, przy czym ich zestawienie na jednej płaszczyźnie pozwala m.in. dodatkowo zidentyfikować w jakich warunkach wystąpiły straty o charakterze sporadycznym, m.in. czy był to dzień z wydobyciem oraz jaka część zatrzymań obejmowała całą dobę. Na rysunku zauważyć można, że nie wszystkie zmiany w dni robocze,

które charakteryzowały się brakiem wydobywania mają podany powód zatrzymania, ewidencja zatrzymań traktowana być powinna wyłącznie jako informacja uzupełniająca. Rysunek 3.49 c) przedstawia zagregowany w funkcji czasu przekrój zmian produkcyjnych, co pozwala na identyfikację strat chronicznych o charakterze organizacyjnym (m.in. zmiana załogi).

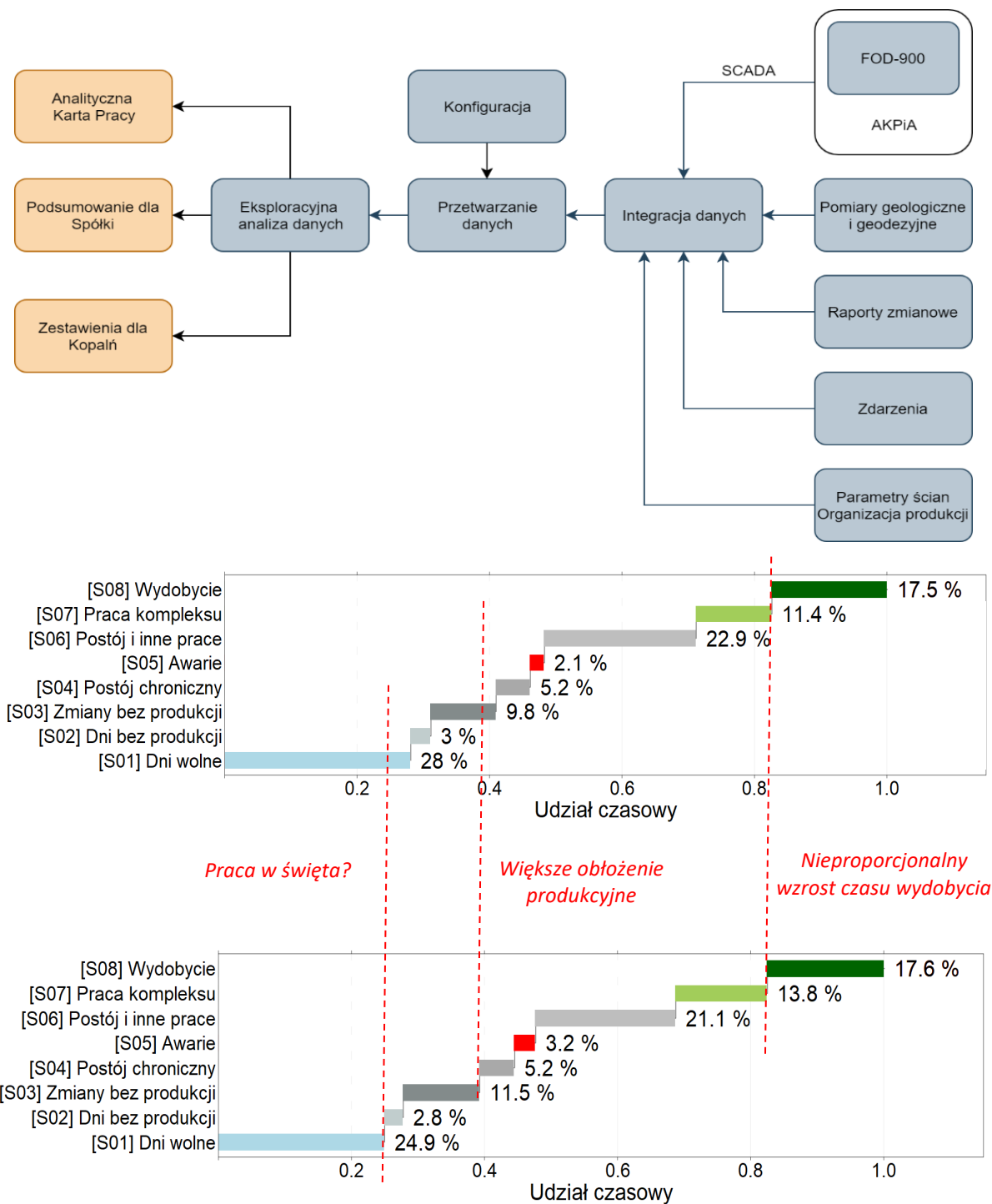
Na rysunku 3.50 zobrazowano zmienność parametrów dynamicznych, takich jak wydajność produkcyjna (rys. 3.50 a, b) oraz moc pobierana przez organy urabiające (rys. 3.50 c) wybranego kompleksu ścianowego. Dane obejmują około 400 m wybiegu i pochodzą z systemu automatyzacji pracy kompleksu oraz wagi tensometrycznej zabudowanej na drodze odstawy taśmowej urobku. Kształt rozkładu wydajności jest zbliżony do rozkładu Gaussa z wartością średnią na poziomie około 1300 Mg/h i współczynnikiem zmienności na poziomie około 19%. Analogiczne wykresy jak na rysunku 3.50 c) wykonane być mogą dla parametrów, takich jak m.in. prędkość posuwu kombajnu lub średni czas cyklu pracy (detekcja miejsc występowania mikrozatrzymań).



Rys. 3.50. Dynamiczne charakterystyki przebiegu użytkowania kompleksu ścianowego: a) gęstość rozkładu wydajności wydobywania, b) dystrybuanta wydajności wydobywania, c) wykres średniej mocy urabiania w funkcji długości i wybiegi ściany [Polak, 2016]

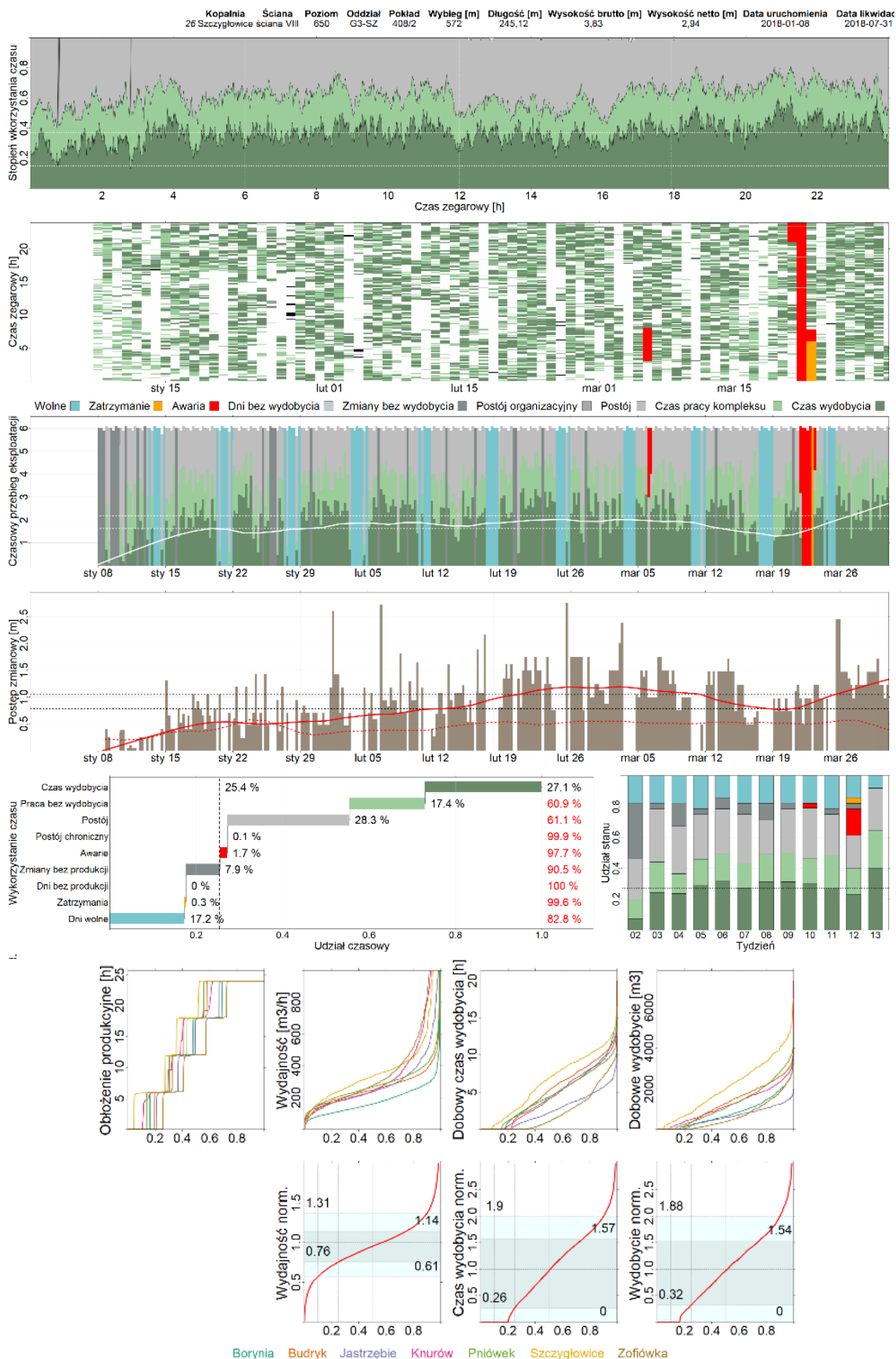
Punktem wyjścia do przeprowadzenia pełnowartościowej analizy efektywności pracy zmechanizowanych systemów wydobywczych jest właściwa dekompozycja łańcucha tworzenia wartości dodanej, z bezpośrednim zaadresowaniem poszczególnych kategorii strat produkcyjnych i ekonomicznych (rys. 3.51. – 3.54).





Rys. 3.51. Źródła danych (schemat powyżej) wraz z prezentacją wyników pracy kompleksów ścianowych – UKŁAD CZASOWY





Rys. 3.53. Raporty kwartalne prowadzenia ścian wraz z wykresami wydajności - przykładowe dane



Rys. 3.54. Przykładowy raport kwartalny prowadzenia ściany BW-1 w KWK Budryk

Na rysunku 3.54 zaobserwować możemy blisko 34% próg pracy efektywnej z niewielkimi czasami zazębiana się kolejnych zmian produkcyjnych.



Rys. 3.55. Przykładowy raport kwartalny prowadzenia ściany B-31 w KWK Borynia z wyraźnie zaznaczoną pracą kompleksu oraz przerwą międzymianową związaną z obstrzeniami metanowymi (ściana B-31 obkładana była w systemie trzymianowym)

Kopalnia	Ściana	Miesiąc	Liczba dni w raporcie	Dni robocze	Dni z wyrobiskiem	Zmiany z wyrobiskiem	Całkowity czas	Czas dyspozycyjny	Czas pracy kompleksu	Czas wydobycia	Prędkość powiększenia (m <sup>3</sup> /h)	Wydobycie brutto (m <sup>3</sup> )	Wydobycie netto (m <sup>3</sup> )	Ranking obciążenie prod.	Ranking czas wydobycia	Ranking dobowy czas wydobycia	Ranking wydajność	Ranking Wydobywalność	Koszt całkowity wydobycia t (tony) [zł]	Dni robocze [%]	Obciążenie prod. dni [%]	Obciążenie zmian [%]	Dyspozycyjność org. [%]	Dyspozycyjność techn. [%]	Praca kompleksu [%]	Urobek [%]	Jednostkowy przep. pow. (m <sup>3</sup> /h)	Wysokość brutto ściany (m)	Użytk. odjętościowy [%]
Bornia	ściana B-31 (409H-2)	1	30	20:17	20:17	18:41	14:34	10:28	7:04	3:35	495	1 831	1 452	1	1	22	5	11	55	85	100	92	78	72	68	51	136	3,36	89
Bornia	ściana C-35 (415D)	1	31	18:49	18:49	17:05	13:35	8:28	4:47	4:02	438	1 179	1 021	1	7	17	15	10	76	78	100	91	80	62	57	84	108	2,69	87
Bornia	ściana E-23 (404H1 IgHd)	1	31	19:20	19:20	15:05	13:55	8:10	5:28	3:51	286	772	686	1	17	15	22	23	102	81	100	78	92	59	67	71	74	2,70	89
Bornia	ściana G-32 (359H1 IgHd)	1	31	18:46	18:46	18:35	17:23	13:34	9:24	5:52	775	1 550	1 232	1	3	8	20	14	61	78	100	99	94	78	69	62	132	2,00	80
Budyk	ściana B-12 (401R)	1	31	18:48	18:48	18:37	13:56	11:00	7:35	5:22	713	1 797	1 547	1	2	10	13	7	78	78	100	99	75	79	69	71	133	2,52	86
Budyk	ściana Bw-3 (401R)	1	31	18:13	18:13	15:30	12:04	9:31	7:28	4:43	407	1 021	749	1	14	10	25	21	122	76	100	85	78	79	63	86	2,51	73	
Budyk	ściana Cz-4a (364Z)	1	31	18:11	18:11	17:36	16:05	13:02	9:09	7:22	1 122	2 210	1 739	1	5	1	19	5	69	76	100	97	91	81	70	80	152	1,97	79
Budyk	ściana D-2 (358H)	1	31	18:14	17:28	13:59	12:10	9:03	7:15	4:53	671	1 650	1 315	23	21	4	16	12	93	76	96	80	87	74	80	67	137	2,46	80
Jastrzębie-Bzie	ściana 26a (510'1)	1	30	17:26	17:26	15:14	11:14	6:47	4:58	2:56	267	984	960	1	16	21	9	16	86	73	100	87	74	60	73	59	91	3,68	98
Jastrzębie-Bzie	ściana 27 (510'1)	1	30	18:15	18:15	13:03	11:13	6:09	3:51	2:36	312	859	712	1	23	20	15	22	75	76	100	72	86	55	63	68	120	2,75	83
Knurow	ściana 16 (261R)	1	31	17:19	17:19	14:02	13:15	8:16	6:23	4:48	469	938	769	1	20	5	24	20	80	72	100	81	95	70	69	75	98	2,00	82
Knurow	ściana 31 (405Z)	1	31	18:08	18:08	16:36	15:54	12:32	8:25	6:09	675	2 493	2 222	1	12	3	8	2	61	76	100	92	96	79	67	73	110	3,69	89
Knurow	ściana 5 (504D)	1	31	17:55	17:55	14:03	13:02	8:49	6:38	4:33	265	882	789	1	19	7	23	19	175	75	100	78	93	68	75	69	58	3,33	89
Prisówek	ściana C-4 (404Z)	1	30	18:51	18:51	16:51	13:05	9:52	5:44	3:49	572	1 855	1 453	1	10	18	6	10	108	79	100	80	78	75	58	67	150	3,26	78
Prisówek	ściana K-2 (363D)	1	31	18:48	18:02	16:52	14:05	10:19	6:47	4:59	522	2 040	1 518	22	8	11	11	8	91	78	96	94	83	73	66	73	105	3,91	74
Prisówek	ściana N-1 (404A)	1	31	18:50	18:50	17:29	15:29	11:17	7:31	5:25	737	1 792	1 556	1	6	9	14	6	66	78	100	93	89	73	67	72	136	2,43	87
Prisówek	ściana N-4 (404A)	1	31	18:21	18:21	16:37	14:08	10:25	7:07	5:24	729	1 677	1 312	1	11	6	18	13	89	76	100	91	85	74	68	76	135	2,30	78
Prisówek	ściana PW-1 (358H)	1	31	17:48	17:48	15:17	11:56	8:26	3:34	2:44	655	1 075	832	1	15	23	12	17	165	74	100	86	78	54	55	77	239	1,64	77
Prisówek	ściana W-2 (362H)	1	31	17:50	17:50	12:59	10:36	6:44	4:26	2:56	229	938	394	1	24	19	26	25	373	74	100	79	82	64	66	66	78	2,22	77
Szczygłowice	ściana XVI (405H)	1	31	17:50	17:50	16:52	14:13	10:53	6:58	4:42	543	1 988	1 760	1	8	14	7	4	90	74	100	95	84	77	64	68	116	3,68	89
Szczygłowice	ściana XVI (407H)	1	23	17:51	17:51	14:43	11:29	8:43	4:10	1:32	291	871	810	1	18	26	1	18	92	74	100	82	78	76	48	97	191	2,99	93
Szczygłowice	ściana XXI (405'1)	1	31	17:28	17:28	15:43	14:17	9:05	6:20	4:31	603	2 236	2 116	1	13	13	3	3	36	73	100	90	91	64	70	71	134	3,71	95
Zońkowska	ściana E6 (505H)	1	31	17:15	14:55	13:11	12:13	8:28	5:06	3:17	468	1 532	1 485	24	22	16	3	9	54	72	86	88	93	69	60	64	143	3,27	97
Zońkowska	ściana F3 (406H)	1	31	17:02	10:04	8:18	6:53	3:18	2:20	1:21	211	364	243	26	25	24	21	26	205	71	59	83	83	48	70	58	157	1,72	67
Zońkowska	ściana G2 (416Z)	1	31	17:40	17:40	17:40	16:38	12:53	11:32	7:08	390	2 492	2 298	1	4	2	10	1	36	74	100	100	94	78	88	62	125	2,80	92
Zońkowska	ściana N4 (505H)	1	31	16:50	14:31	7:32	6:53	2:25	1:44	1:01	112	493	442	25	26	25	4	24	168	70	86	52	78	41	72	59	110	4,41	90

Rys. 3.56. Raporty kwartalne prowadzenia ścian w kopalniach JSW S.A. – RANKING ŚCIAN

Prezentowany na rysunku 3.56 Ranking Ścian kopalń JSW S.A. powstaje i jest szczegółowo analizowany w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych (CZAD JSW 4.0), w wyniku zaawansowanej oceny najlepszych frontów ścianowych kopalń Spółki, na którą składają się: organizacja pracy – ranking wydobycia na zmianie (dostępność); ilość przestojów technologicznych wraz z awaryjnością i pracą kompleksu – ranking dobowego czasu wydobycia (gotowość do pracy); wydobycie wraz z postępem powierzchniowym (ranking wydajności) – wydajność. Wzajemna relacja tych wskaźników pozwala na stwierdzenie, która ściana jest najlepsza w ogólnym zestawieniu.

Proces eksploatacji podstawowego wyposażenia stosowanego w górnictwie to nieustannie poszukiwanie optymalnych rozwiązań zarówno pod względem technicznym, jak i organizacyjnym. Stąd też prawidłowa identyfikacja czynników wpływających na spadek efektywności pracy podstawowego majątku produkcyjnego odgrywa decydujące znaczenie zarówno w kontekście redukcji kosztów inwestycyjnych i operacyjnych, jak również z perspektywy zwiększenia produkcji i poprawy jej jakości.

Wszechobecne systemy działające w oparciu o wykorzystanie technik informatycznych, pozwalają obecnie na ewidencję i raportowanie wyjątkowo obszernych struktur informacyjnych, co sprzyja powstaniu chaosu informacyjnego. Zdaniem autorów, za wyłączeniem osób zajmującymi się strictly procesami analizy danych, cykliczne raportowanie rozbudowanego zbioru informacji w celach zarządczych, niesie ze sobą wiele zagrożeń. Przyczynić się może bowiem do:

- „rozmycia” użyteczności decyzyjnej istotnych wskaźników,
- problemów z interpretacją przyczynowo skutkową i łączeniem informacji,
- pogorszenia jakości danych (niskie wykorzystanie), a w efekcie utratą wiarygodności.

Opracowana w CZAD JSW 4.0 karta miar efektywności, chociaż na pozór bardzo prosta, stanowi wymierne narzędzie wsparcia w zakresie identyfikacji potencjalnych obszarów usprawnień procesu produkcyjnego jastrzębskich kopalń. Jej praktyczne wykorzystywanie od roku 2018 pozwoliło w sposób ustandaryzowany śledzić i interpretować zmienność poszczególnych miar efektywności pracy systemów wydobywczych w aspekcie czasu,

jednostek i struktur produkcyjnych, stosowanego wyposażenia, metod organizacji pracy, warunków naturalnych oraz występujących uciążliwości.

Budując w roku 2018 główne założenia funkcjonowania Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0. postanowiono po uzyskaniu pierwszych wyników kalkulacji kosztów cyklu życia pracy kompleksów ścianowych rozszerzyć docelowy sposób analizy tak o urządzenia transportowe i przeróbcze, jak i stałe koszty związane z odwadnianiem, przewietrzaniem, utrzymaniem wyrobisk oraz dystrybucję mediów. Okazało się bowiem, iż zarządzanie cyklem życia stosowanych w górnictwie środków produkcji za pomocą dynamicznej analizy całości agregowanych przez nie kosztów stanowi bardzo efektywny mechanizm kontrolny skutkujący ukierunkowaniem procesów zarządczych bezpośrednio na aspekty biznesowe, a więc wypracowanie zysku dla przedsiębiorstwa [Dyczko, 2021; Dyczko, 2022a, b; Dyczko, 2023].

Prezentowany sposób oceny gospodarowania środkami produkcji w JSW S.A. stanowi fundament prowadzonych w Centrum Zaawansowanej Analityki Danych JSW 4.0. badań i analiz zmuszając decydentów do wnikliwej interpretacji i odzwierciedlenia w modelu kosztowym Spółki nie tylko technicznych właściwości wyposażenia, lecz również, a może wręcz przede wszystkim poprawy organizacji produkcji oraz warunków eksploatacji. Jak się okazało trafna prognoza kosztów prowadzonej produkcji wymaga od CZAD JSW 4.0 przeprowadzenia eksploracji wielkich ilości danych empirycznych, często z wykorzystaniem zaawansowanych technik ich przetwarzania, wszystko po to, aby przygotować wielowariantowe projekcje kosztów mogące posłużyć osobom decyzyjnym do:

- oceny realizowanych i alternatywnych inwestycji,
- planowania kosztów nowych przedsięwzięć,
- wyceny ryzyka podejmowanych decyzji,
- identyfikacji kluczowych czynników rzutujących na koszty cyklu życia majątku oraz koszty produkcji,
- optymalizacji procesu użytkowania i obsługi wyposażenia,
- nadzoru nad efektywnością wykorzystania majątku (odchylenia od planu),
- wyznaczenia ekonomicznego czasu życia i trwałości poszczególnych obiektów technicznych,
- porównania istniejących instalacji produkcyjnych oraz przedsięwzięć wydobywczych,
- doskonalenia metod szacunku kosztów cyklu życia poprzez weryfikację założeń dotyczących modeli kosztowych, warunków i scenariuszy eksploatacji obiektu.

Jak pokazały badania realizowane w JSW jednym z podstawowych zastosowań analizy LCC w górnictwie może być ocena decyzji zakupowych, w tym zwymiarowanie strat z tytułu inwestycji w przypadku których koszt inicjacyjny stanowił podstawowe lub jedyne kryterium wyboru oferty. Niemniej istotne wydaje się zwymiarowanie skutków niedostatecznego rozpoznania warunków pracy, a co za tym idzie niewłaściwego doboru rozwiązań technicznych i technologicznych. Właściwa wycena ryzyka związanego z decyzjami podejmowanymi w warunkach niepewności stanowić może bowiem jedyne uzasadnienie wydatków koniecznych w celu zwiększenia dostępnego poziomu informacyjnego.

Prowadzone aktualnie w CZAD JSW 4.0 analizy pokazują, iż poszukiwanie i ciągłe wprowadzanie nowych technologii do górnictwa, pogarszające się warunki górnictwo-geologiczne, oraz rosnąca presja redukcji kosztów operacyjnych, uwypukliły nowy obszar zastosowań rachunku LCC w górnictwie. Obejmuje on całokształt działań związanych z doskonaleniem procesów utrzymania ruchu, optymalizacji funkcjonowania organizacji procesu produkcji i technicznej oceny wykorzystywanego majątku.

Aktualnie w JSW trwa algorytmizacja platformy systemowej obejmującej bezpośrednio zagadnienia z dziedziny eksploatacji obiektów technicznych, inżynierii produkcji, logistyki, geologii oraz górnictwa. Badania nad wielokryterialną optymalizacją w tym obszarze są szczególnie istotne w aspekcie koncentracji wydobycia. Zakup wysokowydajnego wyposażenia najczęściej wiąże się bowiem z koniecznością zagwarantowania wysokiego wykorzystania potencjału produkcyjnego w celu zbilansowania podwyższonych kosztów związanych z jego nabyciem i utrzymaniem. Błędne przekonanie, iż samo wprowadzenie nowych technologii lub rozwiązań technicznych wpłynie na poprawę efektywności, stanowi często przyczynę rozczarowań, szczególnie w wymiarze ekonomicznym.

Jak pokazały prace całych zespołów analityków CZAD JSW 4.0 dynamiczny rachunek kosztów cyklu życia stanowić może zasadnicze narzędzie wsparcia w obszarze zarządzania majątkiem produkcyjnym kopalń. Jak udowodniono jego właściwe zastosowanie umożliwia uniknięcie kosztownych błędów, jak również gwarantuje skuteczną realizację procesów ciągłego doskonalenia w obszarze wykorzystania i utrzymania kluczowych środków produkcji.

Analizując bieżący system raportowania, stwierdzono konieczność usystematyzowania gromadzonych danych poprzez ich właściwą strukturalizację. Przykładowo, w odniesieniu do opisów awarii uzasadnione wydaje się wprowadzenie dwóch poziomów przypisania do konkretnych elementów wyposażenia przodków ścianowych, m.in. kombajn – układ sterowania, przenośnik ścianowy – napęd. W dalszej kolejności przydatne wydaje się dodanie dwóch poziomów opisu zdarzenia np. zadziałanie blokady – przekroczenie temperatury oraz konieczność przypisania jej właściwej kategorii, m.in. górnicza, hydrauliczna, mechaniczna, elektryczna.

W wyniku przeprowadzonej analizy danych określono podstawowy zakres informacyjny zgodny z modelem OLAP. W zakresie faktów (miar) wyszczególniono podstawowe elementy:

- wykonana praca: postęp, wydobycie, liczba cykli, wychód surowego węgla,
- profil geologiczny calizny: przerosty, przybierka (głębokość, masa),
- czas trwania stanów: planowany postój, awaria (ze szczegółowym podziałem na kategorie i rodzaj), postój i inne prace, praca nieefektywna, praca efektywna,
- miary efektywności (obliczane w sposób automatyczny): obłożenie, gotowość techniczna, gotowość technologiczno-organizacyjna, efektywność (prędkość) produkcji, jakość,
- ocena uciążliwości warunków (wg stosownej procedury),
- czas i zakres wykonywanych prac dodatkowych (wg stosownej procedury),
- ograniczenie produkcji (iloczyn czasu wystąpienia i stopnia ograniczenia).



Jako podstawowe cechy (wymiary) kostki zdefiniowano:

- czas: rok, miesiąc, dzień, dzień tygodnia, okres dekretacji,
- ściana: nazwa, pokład, poziom, oddział, wybieg, długość, miąższość, zagrożenia pyłowe i metanowe, gabaryty chodników, warunki spągowe i stropowe, pofałdowanie pokładu, zaburzenia pokładu (uskoki), przerosty, nachylenie ściany, warunki prowadzenia (np. ściana zamykająca), twardość węgla, rodzaj węgla, uzysk węgla handlowego, średnia kaloryczność, postęp od pocz. eksploatacji,
- organizacja: dzień z produkcją (t/n), liczba zmian, czas trwania zmian, liczba zmian produkcyjnych, czas trwania zmian produkcyjnych, długość dróg transportowych, transport załogi (długość drogi pokonywanej pieszo), numer załogi, liczba pracowników,
- wyposażenie: technologia urabiania, producent i typ wyposażenia, prędkość i głębokość urabiania, rodzaj sterowania.

Wskaźnik OEE jest wypadkową trzech innych podrzędnych wskaźników:

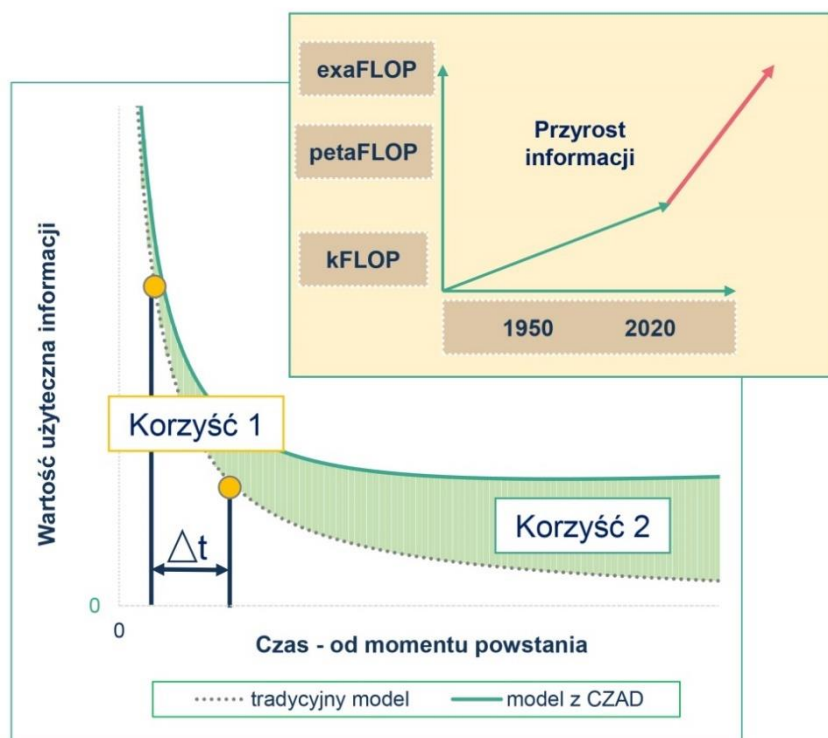
- Dostępności – stosunek czasu zaplanowanego na realizację zadania do czasu, który w rzeczywistości można na to zadanie poświęcić. Dostępność obniżana jest przez i zależnie od przyjętej metody przez przezbieranie i ustawianie maszyn.
- Wykorzystanie (wydajność) – stosunek czasu dostępnego do rzeczywistej pracy. Wykorzystanie (wydajność) jest zaniżane przez straty prędkości wykonywania operacji.
- Jakość – stosunek liczby dobrych do wszystkich produktów.

Wskaźnik wylicza się według wzoru:  $OEE = \text{Dostępność} \times \text{Wykorzystanie} \times \text{Jakość}$ .

World Class OEE – Międzynarodowe badania wskazują, że światowej klasy producenci osiągają wskaźnik (współczynnik) OEE na poziomie 85% lub więcej. I jest on składową parametrem:

- Dostępność: 90,0% Wydajność: 95,0% Jakość: 99,9%. Co po zastosowaniu powyższego wzoru  $90,0\% \times 95,0\% \times 99,9\%$  pozwala na otrzymanie wspomnianych 85%. Uśrednione OEE dla typowych zakładów produkcyjnych wynosi natomiast ok. 60%.
- Automatyzacja wyznaczania OEE – Dążenie do ciągłego podnoszenia OEE sprawia, że wiele zakładów odchodzi od manualnej formy zapisu i kalkulacji współczynników wydajnościowych na rzecz stosowania wyspecjalizowanych systemów informatycznych dla produkcji. Przetwarzanie sygnałów automatycznie pobieranych z procesu produkcyjnego (np. ze sterowników PLC) na temat aktualnego stanu maszyn, wydajności ich pracy, przyczyn przestojów lub mikroprzestojów, wpływa na wiarygodność wyznaczania OEE oraz innych KPI. Dzięki temu możliwe staje się monitorowanie efektywności sprzętu i procesów produkcyjnych w czasie rzeczywistym oraz ich raportowanie za dowolny okres oraz w dowolnym kontekście (np. linia, maszyna, produkt, zmiana, pracownik).
- W utrzymaniu ruchu w zakładach produkcyjnych, istotnym aspektem jest stosowanie narzędzi związanych z koncepcją TPM – Total Productivity Maintenance (ang. Globalne zarządzanie utrzymaniem ruchu). Miarą skuteczności wdrażania inicjatyw TPM jest wskaźnik (współczynnik) OEE.

Żyjemy w epoce informacji. Codziennie mamy do czynienia z coraz większymi zbiorami danych, których analiza wymaga wdrażania dedykowanych narzędzi. Jednocześnie faktem jest, że wartość informacji zmniejsza się w czasie – rysunek 3.57.



Rys. 3.57. Wartość użyteczna informacji

**Im wcześniej uzyskamy** informacje, to tym bardziej są one przydatne w organizacji. Jest to pierwszy rodzaj korzyści zaznaczony na rysunku 3.57 (**Korzyść 1**). Korzyść ta występuje głównie w akcyjnym lub reakcyjnym okresie życia informacji. **Korzyść 2** wynika z **efektywniejszego wykorzystania informacji** w reakcyjnym i historycznym okresie jej życia. Korzyść ta wynika z zastosowania zaawansowanych i wielowymiarowych analiz danych, a także operowaniu na dużych zbiorach historycznych danych, w tym Big Data. Wizja CZAD przewiduje osiągnięcie wyżej wymienionych typów korzyści.

W dużych przedsiębiorstwach wykorzystuje się wiele specjalizowanych systemów informatycznych, które możemy podzielić na następujące kategorie:

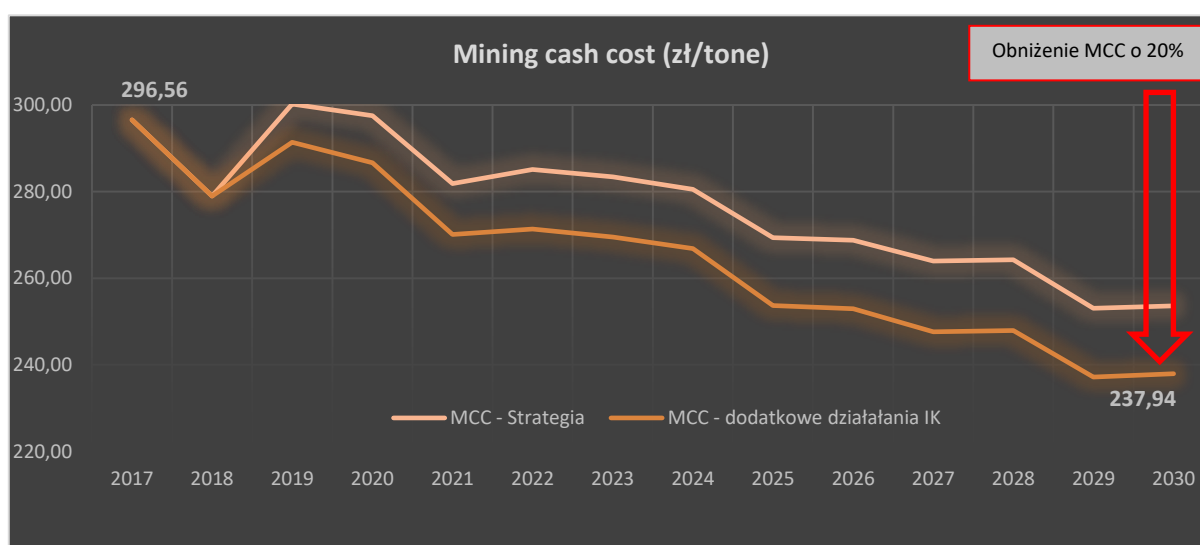
- systemy klasy ERP, np. mySAP – wykorzystywane do ewidencji i rozliczania kosztów obsługiwanego obszaru biznesu,
- systemy do zarządzania majątkiem klasy EAM/CMMS – wsparcia zarządzania utrzymaniem ruchu,
- systemy automatyki przemysłowej SCADA - nadzorujący przebieg procesu technologicznego lub produkcyjnego,
- pozostała specjalizowane systemy „branżowe”, np. APO BDG.

W praktyce dla każdego realnego procesu mamy dane, które są zapisywane w wyżej wymienionych systemach. Poza nielicznymi wyjątkami, analityka wskaźników dla procesu prowadzona jest na podstawie danych z jednego systemu źródłowego, co nie pozwala na

wykorzystanie potencjału synergii, który można osiągnąć dzięki łączeniu danych z wielu systemów. Narzędziami dedykowanymi do tego rodzaju zastosowań są systemy klasy Business Intelligence (BI).

**Wielowymiarowe analizy danych to zatem łączenie i przetwarzanie danych, i informacji o procesach zachodzących w organizacji w nową wiedzę, prezentowaną w różnych przekrojach informacyjnych.**

Opracowana Strategia GK JSW na lata 2017÷2030 obejmowała szereg działań optymalizujących koszty we wszystkich kopalniach JSW S.A. Strategia zakładała stopniowe obniżanie Mining cash cost (MCC) głównie dzięki realizacji działań składających się na Inteligentną Kopalnię JSW 4.0 w zakresie wysokich standardów utrzymania IT/OT oraz realizacji Programu EFEKTYWNOŚĆ – rysunek 3.58.



Rys. 3.58. Strategia GK JSW na lata 2017÷2030 [Ozon, 2019]

**Kończąc niniejszy rozdział monografii należy zwrócić uwagę na fakt, iż jednym z podstawowych problemów związanych z trwałym i sprawnym funkcjonowaniem Centrum Zawansowanej Analizy Danych JSW 4.0 wewnątrz Organizacji, jest kwestia tworzenia, współdzielenia, przechowywania i udostępniania dokumentacji stanowiącej zasoby wiedzy pozyskane przez CZAD JSW 4.0.**

Autor rekomenduje utworzenie środowiska do pracy grupowej stanowiącego wewnętrzną bazę wiedzy w Organizacji służącą m.in. dokumentowaniu prac badawczych, udostępnianiu wyników analiz i podsumowaniu inicjatyw prowadzonych przez CZAD.

Środowisko to może dodatkowo stanowić „bramę” udostępniającą podmiotom zewnętrznym dane, informacje i wiedzę na temat funkcjonowania i przebiegu procesów w Organizacji, wyników prowadzonych prac badawczych. Tutdzież stanowić może miejsce współtworzenia dokumentacji z podmiotami zewnętrznymi, bieżącego opiniowania wyników prowadzonych prac i inicjatyw przy jednoczesnej, ścisłej kontroli dostępu do danych.

Dodatkowym atutem środowiska może być zintegrowanie z modułem zarządzania zadaniami (*workflow*), w celu m.in. koordynacji zadań powierzonych poszczególnym członkom CZAD.

Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń rolę opisanego środowiska może realizować szeroko stosowane w IT oprogramowanie Atlassian Confluence oraz Atlassian Jira.

**Jedną z kluczowych decyzji związanych z funkcjonowaniem CZAD w przyszłości jest wybór środowiska realizacji procesów przetwarzania danych i analiz.**

W chwili obecnej szeroko wykorzystywane są darmowe środowiska m.in.: R, Python, dające dostęp do tysięcy dedykowanych pakietów i bibliotek wspomagających procesy data science, w tym również uczenia maszynowego. Środowiska te cechują się dużymi możliwościami i elastycznością, dostęp do nich jest możliwy za pośrednictwem interfejsów typu Jupyter Notebook, które ułatwiają współdzielenie wyników oraz sprzyjają szerszemu zrozumieniu realizowanego procesu analitycznego. Podkreślić należy jednak, że wykorzystanie opisanych narzędzi wymaga posiadania co najmniej podstawowych umiejętności z zakresu programowania.

Drugą kategorię narzędzi stanowią rozwiązania komercyjne typu: SPSS, SAS, Matlab, Statistica. Są to na ogół rozwiązania łatwiejsze w użytkowaniu, lecz z uwagi na ich mnogość oraz koszt licencji, dostęp do kadr dobrze przeszkolonych w używaniu danego rodzaju oprogramowania (za wyjątkiem środowiska Matlab obecnego niemal na wszystkich uczelniach wyższych) może stanowić istotny problem.

W powyższej sytuacji, również w przypadku wyboru rozwiązań komercyjnych, warto rozpatrzyć korzyści płynące z **równoległego wykorzystania oprogramowania darmowego**, takie jak:

- łatwość pozyskania przeszkolonych kadr (informatycy, matematycy) i szybkiego wdrożenia ich pracy,
- możliwa integracja z komercyjnymi rozwiązaniami,
- brak kosztów licencji, ograniczeń funkcjonalnych związanych z produktem, jak i posiadaną licencją,
- możliwość udostępnienia wybranych zagadnień badawczych społecznościom specjalizującym się w zakresie analizy danych – z bezpośrednim i szybkim wykorzystaniem zaproponowanych najlepszych rozwiązań,
- możliwość implementacji na korporacyjnych platformach obliczeniowych w chmurze.

**Decydującym czynnikiem wyróżniającym CENTRA Zaawansowanych Analiz Danych pomiędzy innymi jednostkami organizacyjnymi powinno być świadome i celowe wykorzystanie zaawansowanych metod analitycznych, w tym sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego, realizowanego w procesie inżynierskim, na bazie danych zgromadzonych w systemach informatycznych.**

#### 4. System zarządzania ciągiem produkcyjnym JSW S.A. w aspekcie stabilizacji i poprawy jakości urobku oraz maksymalizacji efektów ekonomicznych oparty na popycie i jakości eksploatowanego surowca – jego rola i znaczenie w realizacji idei INTELIGENTNEJ KOPALNI JSW 4.0

*Artur Dyczko*

Skuteczna realizacja nowych strategii rynkowych stawia przed przedsiębiorstwami wydobywczymi nowe wyzwania, których realizacja wymaga precyzyjnych instrumentów oceny prowadzonej działalności na szczeblu kopalń, zakładów przerobczych, koksowni, jak i hut. Instrumentami tymi są parametry złożowe, technologiczne i ekonomiczne, które wraz z marginesami bezpieczeństwa określającymi procentowy poziom rezerw każdego z parametrów kształtują rentowność podejmowanych przedsięwzięć.

Opracowana przez autora heurystyczna architektura techniczna systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym JSW S.A. pozwala analizować rentowność procesu produkcyjnego w układzie rachunku ciągnionego w obszarze kopalń, zakładów przerobczych i koksowni grupy górniczej największego europejskiego producenta węgla do celów metalurgicznych.

W części górniczej zbudowany system jest elementem systemu do planowania i harmonogramowania produkcji pozwalającego sterować całym ciągiem technologicznym GK JSW S.A., a więc we wszystkich obszarach obejmujących całość procesu węgla – koks. System budowany był w latach 2018÷2020 i obejmował stworzenie centralnej bazy danych geologicznych zasilenie jej danymi z 250 otworów powierzchniowych, 1 440 otworów dołowych, ponad 14 670 profilowań chodnikowych, 24 000 prób jakościowych, 100 uskoków głównych oraz 150 uskoków lokalnych. Finalnym efektem prac projektowych było stworzenie modeli przestrzennych, strukturalnych i jakościowych eksploatowanego w kopalniach JSW S.A. złoża oraz budowa harmonogramów strategicznych produkcji do roku 2030, wraz z modelem 700 kilometrów projektowanych wyrobisk korytarzowych oraz 480 ścian wydobywczych, w tym 50 typów obudów wyrobisk korytarzowych oraz 25 algorytmów ograniczeń produkcyjnych.

W rozdziale przedstawiono założenia projektowania informatycznej architektury systemu do modelowania złoża oraz harmonogramowania produkcji górniczej, wdrażanego w kopalniach JSW S.A. w latach 2016÷2020. Opracowanie i zastosowanie systemu było istotne z perspektywy realizacji nadrzędnego celu **PROGRAMU JAKOŚĆ** będącego integralną częścią budowy idei **INTELIGENTNEJ KOPALNI JSW 4.0**, czyli zwiększenia efektywności zarządzania jakością złoża i produktu handlowego. W wyniku jej realizacji pokonano wiele barier w zakresie funkcjonowania systemów informacyjnych, opracowano i wdrożono spójną architekturę systemu informacyjnego skutkującą standaryzacją procesów ewidencji i przetwarzania danych z zastosowaniem metod tzw. „inteligencji obliczeniowej”, co pozwoliło wydobyć z danych przydatną i zrozumiałą wiedzę, wspomagającą podejmowanie decyzji, m.in. na poziomie planowania strategicznego, taktycznego i operacyjnego. Obecnie w JSW S.A. to właśnie ta wiedza stanowi podstawowy zasób przedsiębiorstwa decydujący o możliwości inteligentnego funkcjonowania w zmieniającej się sytuacji tak górniczo-geologicznej, jak i biznesowej.

#### 4.1. Strategia i Polityka zarządzania ciągiem produkcyjnym grupy węglowo-koksowej pod kątem badania jakości eksploatowanego złoża i produkowanego koksu

Przygotowywana od początku roku 2020 aktualizacja strategii biznesowej GK JSW, której celem było zapewnienie przede wszystkim bezpieczeństwa i ciągłości produkcji koncernu doprowadziła do przyjęcia w Spółce niezbędnych regulacji uniemożliwiających zasypywanie się kopalń składowanym węglem powyżej poziomu bezpiecznego dla ruchu zakładu górniczego oraz zabezpieczenia własnych składowisk strategicznych, tak aby w razie potrzeby (na przykład kiedy z powodów pandemii stanie ruch kolejowy) istniała możliwość złożenia bezpiecznie wydobytego przez kopalnie węgla w momencie, gdy składowiska przykopalniane niebezpiecznie zbliżają się do poziomu 75% wypełnienia. Wszystkie te działania realizowane w zakresie optymalizacji wielkości produkcji: bieżąca analiza i monitoring zdolności produkcyjnych, badanie i prognozowanie jakości oraz możliwości sprzedaży w oparciu o zapotrzebowanie rynku wewnętrznego i zewnętrznego (eksport oraz sprzedaż krajowa) wraz z powołaniem nowego Biura Zarządzania Jakością złożyły się na przyjętą przez Zarząd „Strategię jakości produktu dla GK JSW na lata 2020-2030” i „Politykę zarządzania jakością badania złoża i produktu w GK JSW” umożliwiając zapewnienie pożądanego poziomu parametrów jakościowych węgla koksowego oraz węgla do celów energetycznych, a także zasad prognozowania poziomu parametrów jakości węgla pokładowego – rysunek 4.1.



Rys. 4.1. Harmonogram budowy proaktywnego sterowania produkcją i stabilizacji parametrów węgla handlowego w GK JSW

Z badań wynika, iż tylko skorelowanie prognoz w zakresie popytu (od cyklu koniunkturalnego zależy oczekiwany wolumen i jakość produktu) oraz podaży (wielkości wydobycia) czyli produkcji i planowanych inwestycji umożliwiających realizację zakładanych planów produkcyjnych pozwalają osiągnąć największy efekt ekonomiczny w okresie wzrostów cen, przy jednoczesnej kontroli kosztów umożliwiającej utrzymanie się ponad progiem rentowności w okresie dekonunktury [Dyczko, 2021, 2022a].

Dlatego też tak ważne jest holistyczne podejście do zagadnień związanych z prawidłowym planowaniem wielkości produkcji, jej jakości oraz wielkości popytu w oparciu o monitoring wszystkich ważnych wskaźników operacyjnych dotyczących realizowanego procesu produkcyjnego. Aktualnie w przedsiębiorstwach górniczych brak jest systemów umożliwiających takie podejście, dlatego też zaproponowano budowę Systemu planowania i rozliczania produkcji sterowanego popytem, a zwłaszcza jakością wydobywanego węgla w całej Grupie Kapitałowej JSW, który za pomocą architektury SOA zintegrował dotychczas rozproszone systemy dziedziczne [Dyczko, 2022a].

Budowę koncepcji systemu rozpoczęto od uporządkowania obszaru zarządzania jakością, przy czym wzięto pod uwagę wyniki badań naukowych [Dyczko, 2020; 2021; 2022a], które potwierdzają, że wdrożenie i funkcjonowanie systemu zarządzania jakością przynosi wiele korzyści. Do korzyści wewnętrznych należy m.in. bieżący monitoring jakości, przewidywalność jakości produkcji, poprawa efektywności działania, uporządkowanie działań w organizacji, zaangażowanie pracowników w kształtowanie jakości wyrobu czy usługi, korzyści ekonomiczne, nadzór i doskonalenie procesów w organizacji, przyporządkowanie uprawnień i odpowiedzialności odpowiednim pracownikom, motywacja do działań doskonalących i innowacyjnych, lepszy i szybszy obieg dokumentów i przepływ informacji, poprawa komunikacji wewnątrz organizacji, mniej skarg i reklamacji oraz większa motywacja pracowników. Z kolei do korzyści zewnętrznych należy m.in. podwyższenie jakości produkowanych dóbr i świadczonych usług, wzrost zadowolenia klientów zewnętrznych, standaryzacja procedur postępowania wobec klientów, zmiana wizerunku – kształtowanie pro jakościowej orientacji organizacji, wzrost wrażliwości na oczekiwania klientów, łatwiejszy dostęp do rynku lokalnego i międzynarodowego. Należy podkreślić też, że certyfikat jakości buduje wiarygodność i zaufanie do organizacji, jest potwierdzeniem rozwoju organizacji, często jest warunkiem uczestnictwa w negocjacjach biznesowych.

Jastrzębska Spółka Węglowa S.A., zajmująca się produkcją węgla koksowego, od kilka lat prowadzi badania nad wdrożeniem Systemu zarządzania opartego na popycie i jakości (SPPJ). Nadrzędnym celem spółki jest bowiem zwiększenie efektywności zarządzania rozpoznaniem jakości złoża i jakością produktu. Umożliwić to może kompleksowe podejście do procesu zarządzania jakością, zgodnie z którym monitorowanie i nadzór nad jakością produktów powinno odbywać się na każdym etapie produkcji w celu zwiększenia potencjału produkcji oraz stabilizacji jakości węgla.



#### 4.2. System do modelowania złoża oraz harmonogramowania produkcji w Grupie Kapitałowej JSW fundamentem heurystycznej architektury „PROGRAM JAKOŚĆ”

Nowa strategia Grupy Kapitałowej JSW zdefiniowała cele dla kluczowych obszarów odpowiedzialności, tak by z jednej strony ograniczyć ryzyka i wyzwania biznesowe z nimi związane, z drugiej by maksymalizować szanse, wynikające ze zmian społeczno-gospodarczych.

Kluczowym elementem strategii biznesowej JSW uczyniono wdrożenie „PROGRAMU JAKOŚĆ” obejmującego szereg działań umożliwiających modelowanie złoża i harmonogramów produkcji oraz bieżące monitorowanie i nadzór nad jakością produkcji, w tym:

- zbudowano i uporządkowano bazy danych geologicznych 6 kopalń,
- wdrożono narzędzia informatyczne do harmonogramowania i modelowania tychże kopalń,
- wykonano modele geologiczne dla strategicznych złóż, partii zasobowych i poziomów wydobywczych wszystkich kopalń JSW S.A,
- stworzono harmonogramy strategiczne produkcji powiązane z modelami złóż,
- zbudowano centralną bazę danych agregującą modele złóż i harmonogramy produkcji na poziomie Biura Zarządu JSW S.A.,
- stworzono centralny model harmonogramowania strategicznego umożliwiający scalenie harmonogramów kopalnianych na poziomie Biura Zarządu JSW S.A.

Dużo wysiłku poświęcono na wyselekcjonowanie i szkolenie odpowiednich pracowników w działach mierniczo-geologicznych wszystkich kopalń JSW. Wystarczy powiedzieć, iż na potrzebę budowy systemu Spółka podpisała odpowiednie porozumienia z Politechniką Śląską i Akademią Górniczo-Hutniczą zatrudniając siedemnastu młodych geologów górniczych, zagospodarowując między innymi całe koło naukowe zajmujące się w Katedrze Geologii Złożowej i Górniczej krakowskiej AGH geostatystyką i modelowaniem parametrów opisujących jakość węgla kamiennego.

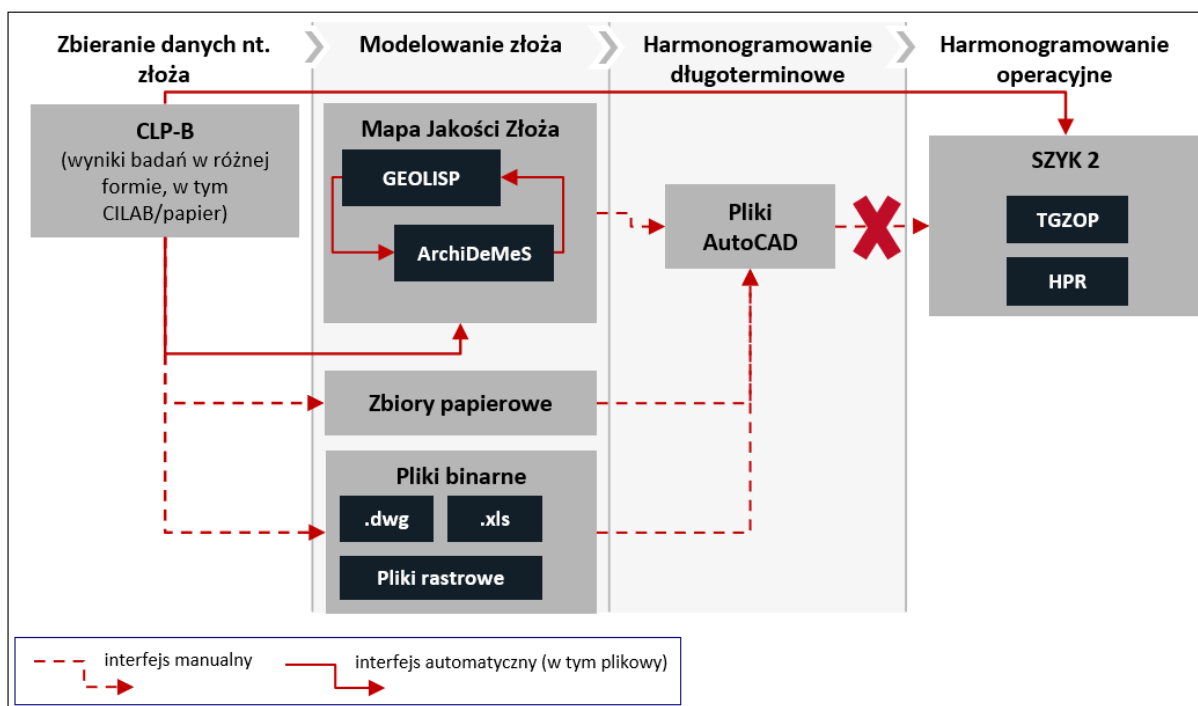
Budowie Zespołów towarzyszył również złożony proces doposażenia kadry w nowoczesne systemy informatyczne i przyrządy pomiarowe służących do pozyskiwania danych do modelowania złoża, automatyzację procesów pomiarowych i wizualizację danych. W tym celu uruchomiono projekt „Inteligentnych Wag” oraz „Analizatorów neutronowych” pozwalających w sposób ciągły kontrolować ilość i jakość wydobywanego węgla transportowanego przenośnikami do zakładów mechanicznej przeróbki węgla.

Przed przeprowadzeniem badań nad opracowaniem i wdrożeniem systemu do modelowania złoża oraz harmonogramowania produkcji, środowisko informatyczne Grupy składało się z systemów Geolisp oraz ArchiDeMeS, które służyły do kartowania poszczególnych pokładów w eksploatowanym i planowanym do eksploatacji złożu (było to nic innego jak budowanie modeli 2D dla poszczególnych pokładów węgla). Z kolei w obszarze planowania produkcji wykorzystywane było środowisko CAD (poprzez nakładki do programu AutoCAD) a w zakresie jej harmonogramowania arkusze Excel wraz z modułem THPR systemu SZYK2. System SZYK to Zintegrowany System Wspomagania Zarządzania Kopalnią,

którego druga generacja – SZYK2 od początku XXI wieku wykorzystywała najnowsze zdobycze informatyki światowej [Łukaszczyk, 2018, 2019]. Moduł THPR m.in. służy do tworzenia i kontroli planów wydobywczych, harmonogramów oraz postępu robót przygotowawczych oraz pozwala na ewidencję elementarnych danych o realizowanych i planowanych robotach górniczych [Puzik, 2012]. W praktyce zarządzanie złożem i harmonogramowanie jego eksploatacji realizowane było przy niskim udziale wsparcia systemów informatycznych.

Większość czynności związanych z zarządzaniem i harmonogramowaniem produkcji było wykonywanych w **sposób rozproszony** w niesystemowych narzędziach (pliki .dwg, .xls bez możliwości automatycznej wymiany danych lub nawet importu plików) na poziomie poszczególnych zakładów wydobywczych. Zdecydowana większość działań realizowana była w sposób **manualny i zdecentralizowany**. Z tego powodu ważne było przeprowadzenie badań i podjęcie działań w celu **ujęcia w scentralizowanych narzędziach informatycznych całego procesu związanego z modelowaniem złóż i harmonogramowaniem produkcji**.

Na rysunku 4.2 przedstawiono architekturę zarządzania złożem i harmonogramowania produkcji w JSW S.A. – stan przed wprowadzeniem dedykowanych systemów informatycznych.



Rys. 4.2. Architektura zarządzania złożem i harmonogramowania produkcji w JSW S.A. – stan przed wprowadzeniem systemu modelowania złoża oraz harmonogramowania produkcji

JSW S.A. przeprowadziła proces wdrożenia systemu do modelowania geologicznego – MineScope oraz do planowania i harmonogramowania produkcji – Deswik. W docelowym kształcie, MineScope miał zastąpić w części modelowanie złoża i dostarczać zatwierdzone modele strukturalne i parametrów jakościowych złoża w poszczególnych ruchach grupy bezpośrednio do platformy Deswik. Z kolei system Deswik miał pobierać dane z systemu MineScope i przetwarzać je w formie wykorzystywanej przez system SZYK – tak jak inne systemy informatyczne w grupie. Wdrożenie systemu modelowania i harmonogramowania

produkcji pozwoliło w pionie geologicznym wszystkich kopalń przejście z map analogowych na mapy cyfrowe. Systemy pozwalają na precyzyjne prognozowanie i sterowanie jakością produkcji.

Pierwszy z systemów – system **do modelowania złoża** – umożliwia opracowanie cyfrowego, przestrzennego modelu geologicznego złoża wraz z możliwością korzystania z wybranej bazy danych do zarządzania danymi geologicznymi i udostępniania ich innym narzędziom informatycznym. **Geologiczny model złoża**, tworzony w systemie, rozumiany jest jako cyfrowy, komputerowy model geologiczny złoża kopaliny opisujący położenie złoża, jego geometrię oraz przestrzenne zróżnicowanie jakości kopaliny. Celem modelowania geologicznego złoża jest jak najdokładniejsze określenie struktury geologicznej złoża oraz ilości i jakości kopaliny w obrębie obszaru górniczego. Model złoża stanowi podstawę wszelkich działań związanych z tworzeniem planów eksploatacji górniczej oraz ich optymalizacją z punktu widzenia rachunku ekonomicznego grupy. Przedmiotem modelowania geologicznego mogą być w wybranym zakresie własności fizyczne skał nadkładu, jak również skał otaczających pokłady węgla. Model może zostać także wzbogacony o informacje uzupełniające pełen obraz sytuacji geologicznej złoża, takie jak np. wyniki obserwacji hydrogeologicznych. Geologiczny model złoża powstaje przede wszystkim na bazie obserwacji geologicznych wykonanych zarówno na powierzchni ziemi, jak również w wyrobiskach górniczych. Duży nacisk położony został w związku z tym na działania zmierzające do cyfryzacji materiałów źródłowych i zgromadzenia ich w bazie danych geologicznych. Warto zaznaczyć, że nieodzownym elementem procesu modelowania geologicznego jest również interpretacja geologiczna zgromadzonych danych wykonywana przez doświadczonego geologa. Dla potrzeb opracowania i wdrożenia systemu przyjęto następujące założenia:

- numeryczny model złoża jest jakościowo nowym sposobem analizy budowy geologicznej złoża, wykorzystującym informacje źródłowe (istniejące aktualnie w formie analogowej lub w formie skanów, m.in. karty otworów geologicznych), jak również zgromadzone w systemie map pokładowych 2D oraz funkcjonującym pod kontrolą oprogramowania GEOLISP oraz ArchiDeMeS,
- docelowo numeryczny model złoża wspiera działania działu geologicznego związane z projektowaniem i prowadzeniem prac geologicznych oraz interpretacją i dokumentowaniem budowy geologicznej złoża,
- najważniejszym celem utrzymywania numerycznego modelu złoża jest jego znaczenie z punktu widzenia celów produkcyjnych Grupy: ma on stanowić podstawę nowych rozwiązań w obszarze projektowania górniczego i planowania wydobycia i produkcji.

Z kolei drugi system – do **planowania i harmonogramowania produkcji Deswik** umożliwia m.in. tworzenie zintegrowanych harmonogramów ścian i robót udostępniająco-przygotowawczych, raportowanie i tworzenie prognoz ilościowo-jakościowych. System pozwala również na graficzną wizualizację planów i harmonogramów wraz z wykresami, bryłami i powierzchniami oraz ich animacjami w 3D. Deswik importuje dane z modelu przestrzennego i pozwala budować optymalne harmonogramy produkcji, przewidując różne jego scenariusze.

Systemy zostały wprowadzone w stacjach roboczych w Biurze Zarządu Grupy oraz w sześciu ruchach, a projekt objął 10 złóż i 90 pokładów – w sumie ponad 580,3 mln ton zasobów operatywnych. Dzięki wdrożeniu systemu do **modelowania złoża oraz planowania i harmonogramowania produkcji** dokonano następujących działań:

- zbudowano i uporządkowano bazy danych geologicznych dla poszczególnych ruchów,
- wdrożono narzędzia informatyczne do harmonogramowania i modelowania w ruchach,
- wykonano modele geologiczne dla strategicznych złóż, partii zasobowych i poziomów wydobywczych wszystkich kopalń/ruchów,
- stworzono harmonogramy strategiczne produkcji powiązane z modelami złóż w sześciu ruchach,
- zbudowano bazę danych, agregującą modele złóż i harmonogramy produkcji na poziomie Biura Zarządu Grupy,
- stworzono model operacyjnego działania harmonogramowania strategicznego umożliwiającego scalenie harmonogramów na poziomie Biura Zarządu Grupy.

W literaturze opisanych zostało wiele badań w zakresie modelowania geologicznego złóż, m.in. [Kokesz, 1992; Sermet, 2017; Mielimąka, 1991; Borowicz, 2014; Naworyta, 2016; Mucha, 2017; Wasilewska-Błaszczuk, 2014; Probierz, 2000, 2004, 2007; Marcisz, 2017, 2021; Probierz, 2017] oraz harmonogramowania produkcji górniczej, m.in. [Dyczko, 2014; Dzedzej, 2008, 2013; Gumiński, 2014; Serafin, 2007; Grzesica, 2014; Szot, 2010; Kijanka, 2017]. Jednakże opisany w niniejszej monografii wdrożony przez JSW S.A. system jest nowym rozwiązaniem, ujmującym w scentralizowanych narzędziach informatycznych cały proces związany z modelowaniem złóż i harmonogramowaniem produkcji. Stanowi oryginalne rozwiązanie, które dotychczas nie było stosowane w praktyce górniczej. Jest on wyrazem kompleksowego podejścia Grupy JSW S.A. do jakości, zgodnie z którym monitorowanie i nadzór nad jakością produktów powinno odbywać się na każdym etapie produkcji w celu zwiększenia potencjału produkcji oraz stabilizacji jakości węgla.

#### **4.3. Architektura techniczna systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym grupy JSW S.A. w świetle doświadczeń światowych rozwoju informatyzacji sektora wydobywczego**

Narzędzia informatyczne wykorzystywane do projektowania i planowania produkcji górniczej pojawiły się na rynku mniej więcej w tym samym czasie wpływając znacząco na jakość realizowanego procesu wydobywczego-przeróbczego [Kaiser, 2002].

Pierwsze pakiety oprogramowania wspierające eksploatację surowców mineralnych pojawiły się jeszcze w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, a za główny katalizator ich rozwoju uważa się presję producentów złota na poszukiwanie skutecznych narzędzi minimalizujących straty związane z rozpoznaniem, dokumentowaniem i wydobyciem nadmiernie zubożanego surowca - przypomnijmy średnie ceny złota na giełdach światowych nie przekraczały wówczas 50 USD za uncje.

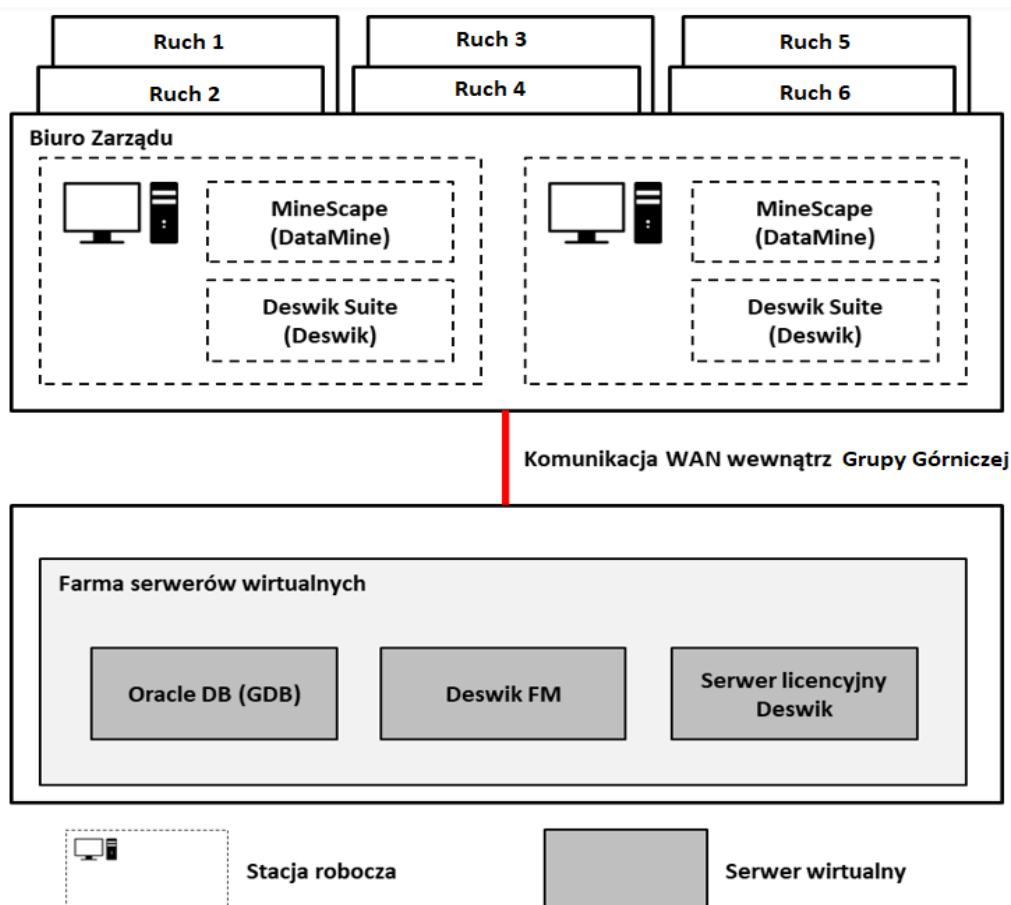
Tworzone podówczas narzędzia rozwijane były tak przez same koncerny wydobywcze jak i ośrodki badawcze, których to pracownicy z dnia na dzień stawali się twórcami innowacyjnych

produktów, które na konkurencyjnym rynku szybko zmieniały się w komercyjne oprogramowanie często bardziej funkcjonalne, niż to które budowano wewnątrz firm wydobywczych [Kapageridis, 2005].

Ostatecznie na początku lat osiemdziesiątych większość światowych koncernów porzuciło własne projekty badawcze mające na celu zbudowanie narzędzi informatycznych wspierających proces planowania i harmonogramowania produkcji górniczej na rzecz szybko rozwijającego się rynku komercyjnego. W czasie ostatnich dekad, jesteśmy świadkami nieustającego rozwoju systemów planowania produkcji górniczej, i spokojnie można zaryzykować twierdzenie, że nie sposób znaleźć obecnie firmę zajmującą się wydobywaniem, kopalni która nie używałaby w jakiejś formie oprogramowania inżynierskiego. Szczególny postęp w dziedzinie modelowania złóż i wykorzystania narzędzi informatycznych w procesie eksploatacji widoczny jest w głębokich kopalniach złóż rud metali szlachetnych, w których wiele firm jako pierwszą bezpośrednią korzyść z użycia tych narzędzi uzyskało podczas ponownego wykorzystania informacji, które wcześniej były uznawane za bezużyteczne. Kołem zamachowym odbywającego się na naszych oczach postępu jest modelowanie 3D, które stało się ostatnio niezwykle ważnym narzędziem otwierającym nowe kierunki rozwoju. W kopalniach południowej Afryki w głębokich kopalniach metali szlachetnych za pomocą technik geofizycznych prowadzi się praktyczne planowanie i zarządzanie produkcją górniczą [Campbell, 1994; De Wet, 1994; Pretorius, 1987, 1994, 2003].

#### 4.3.1. Opis architektury technicznej systemu zbudowanego w JSW S.A.

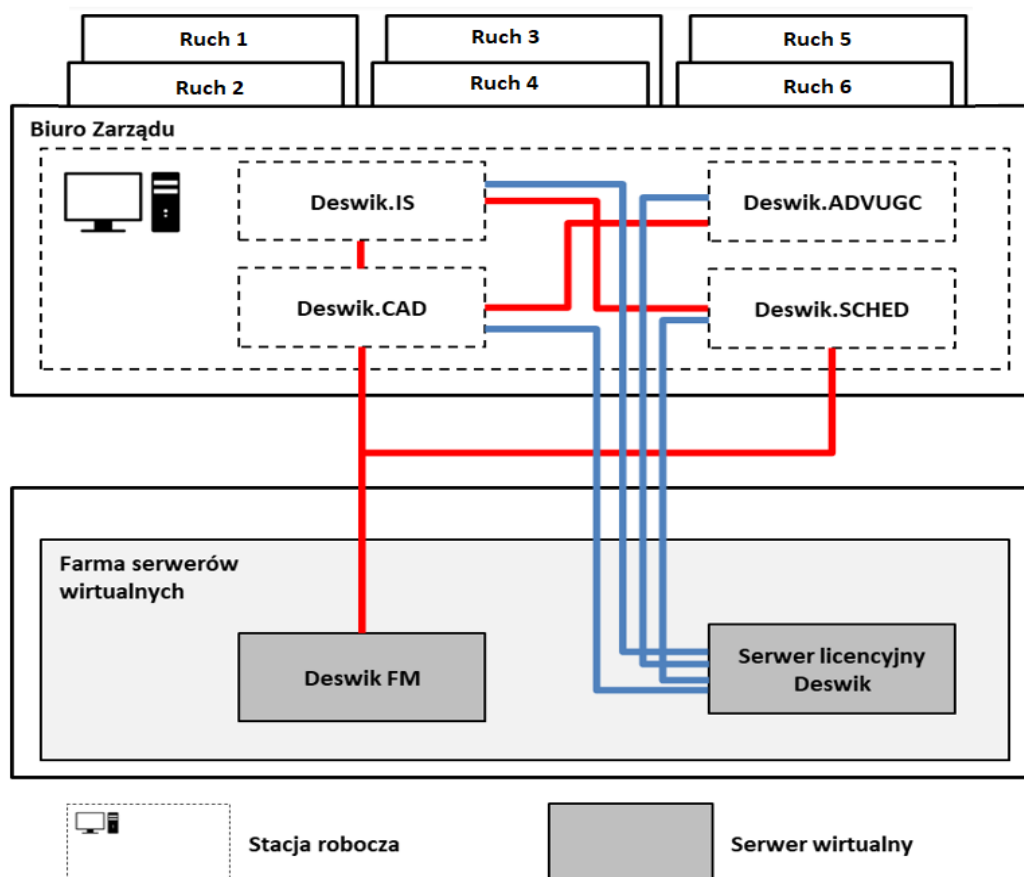
Architektura techniczna systemów **MineScape** i **Deswik** oparta jest w części na architekturze klient-serwer. Systemy opierają się na bazach danych przetwarzanych centralnie. Dla obydwu systemów centralna baza stanowi referencję, a nie źródło danych transakcyjnych do bieżącej pracy – te dane są przetwarzane lokalnie. Schemat architektury został przedstawiony na rysunku 4.3. Część serwerowa oprócz Geologicznej Bazy Danych (GDB) oraz źródeł danych (*Deswik FM – Deswik File Manager*, które jest rozwiązaniem klasy *Document Management System*), zawiera serwer licencji Deswik. Całość infrastruktury podlega standardowym mechanizmom systemów informatycznych JSW S.A., czyli politykom bezpieczeństwa stacji roboczych oraz politykom archiwizacji i wysokiej dostępności dla rozwiązań instalowanych w środowisku wirtualnym.



Rys. 4.3. Schemat architektury fizycznej rozwiązania

System MineScape charakteryzuje się w pełni zintegrowaną architekturą modułów umożliwiającą zamodelowanie struktury geologicznej wybranych pokładów produkcyjnych oraz parametrów jakościowych. MineScape też posiada cechę środowiska obsługującego wielu użytkowników podczas pracy z danymi graficznymi, co umożliwia zapisywanie zmian do jednego pliku w tym samym czasie. MineScape posiada możliwość współdzielenia projektów przechowywanych na serwerze GDB. Istnieje także możliwość współdzielenia projektów przechowywanych na dyskach lokalnych poszczególnych stacji roboczych, lecz ze względu na restrykcje wynikające z polityki bezpieczeństwa dana funkcjonalność została zablokowana. Baza danych GDB jest utworzona na wirtualnym serwerze i w niej są przechowywane projekty poszczególnych ruchów.

System Deswik składa się z pięciu modułów: modułu Deswik.CAD, modułu Deswik.SCHED, modułu Deswik.IS, modułu Deswik.ADVUGC i modułu Deswik.FM. Wzajemne powiązania modułów przedstawione są na rysunku 4.4. Powiązania na rysunku są podzielone na powiązania związane z zarządzaniem licencjami (niebieski kolor) oraz powiązania związane z wymianą danych pomiędzy modułami (czerwony kolor). Rolą serwera licencyjnego jest zweryfikowanie użytkownika wykorzystującego poszczególne moduły w systemie Deswik.



Rys. 4.4. Schemat architektury systemu Deswik

Moduł Deswik.CAD zapewnia trójwymiarową platformę projektową. Za pomocą tego modułu, dane zasysane z innych źródeł mogą być obsługiwane w ramach dalszego projektowania złoża lub wprowadzania odpowiednich zmian i edycji pokładów, a także wprowadzania dodatkowych atrybutów lub metadanych pomocnych w zakresie opracowywania harmonogramu w module Deswik.SCHED. Z kolei moduł Deswik.SCHED służy do tworzenia harmonogramów długoterminowych przy zachowaniu zależności i cech odpowiadających poszczególnym charakterom ruchów. W ramach tego modułu ustawiane są priorytety oraz ograniczenia związane z dostępnością zasobów, które są wykorzystywane w procesie wydobywania. Deswik.SCHED jest powiązany z modułem Deswik.CAD poprzez moduł Deswik.IS, z którego zaciąga dane o poszczególnych pokładach i wyrobiskach. Następnie na podstawie tych danych projektowany jest harmonogram wydobywania dla każdego z poszczególnych ruchów. Moduł Deswik.IS zapewnia bezpośrednią integrację środowiska projektowego Deswik.CAD 3D z opartym na wykresie Gantta Deswik.Sched (jako moduł pośredniczący). W ramach tego modułu definiowane są złożone procesy wydobywania, jak również zadania pomocnicze, takie jak uzbrajanie wyrobiska lub jego rabunek. Moduł zapewnia informację zwrotną w postaci zwizualizowanego harmonogramu, która jest aktualizowana na bieżąco. Kolejny moduł – Deswik.ADVUGC – służy do wspomagania projektowania w ramach Deswik.CAD w zakresie automatyzacji tworzenia linii projektowych oraz przypisywania atrybutów dla poszczególnych pokładów/wyrobisk w ramach projektowanego harmonogramu dla danego ruchu.



Moduł Deswik.FM zintegrowany jest z Deswik.CAD oraz Deswik.SCHED, które w ramach Deswik.FM odkładają pliki i umożliwiają wykorzystywanie ich z poziomu Biura Zarządu do tworzenia zbiorczych raportów dotyczących harmonogramów planowanego wydobywania za zadany okres. Deswik.FM można określić jako repozytorium dokumentów. Moduł służy do zarządzania wersjami plików oraz dostępem do nich w ramach zadanych ograniczeń. Określa również bieżący status i pokazuje historię wybranych plików.

#### 4.3.2. Ustawienia instalacyjne i konfiguracyjne systemu MineScape i Deswik

Współczesne pakiety do wspomagania projektowania posiadają niezliczoną ilość algorytmów, od tych najprostszych do najbardziej skomplikowanych. Od momentu prac geologicznych aż do momentu odstawy urobku, zintegrowany system algorytmów zapewnia możliwość ciągłego obliczania zasobów złoża, kontroli stanu wyrobisk i wielu innych, przy ciągłej dostępności przyjaznego środowiska graficznego. Obecność algorytmów i ich złożoność pozwala na kontrolowanie czasu potrzebnego do osiągnięcia zamierzonych celów modelowania [Kapageridis, 2005].

Tworzenie planów górniczych jest procesem zachodzącym liniowo. Informacje z otworów wiertniczych i dane geodezyjne są zbierane w celu określenia struktury i przeprowadzenia analizy jakości złoża. Zebrane dane są następnie wykorzystywane do stworzenia modelu geologicznego struktury i jakości złoża oraz określenia jego zasobów bazując na ograniczeniach górniczych. Planowanie górnicze wykorzystuje informację z modelowania geologicznego, aby zaprojektować trójwymiarowe bloki o wielkości umożliwiającej harmonogramowanie produkcji. Szacuje się ilość i jakość kopaliny w poszczególnych blokach, a następnie – uwzględniając ograniczenia górnicze – tworzy harmonogram produkcji. Optymalizacja opracowanego harmonogramu wymaga zazwyczaj stworzenia kilku alternatywnych scenariuszy produkcji. Jeśli proces produkcyjny jest efektywny, zintegrowany i liniowy, to ilość czasu konieczna do opracowania pojedynczego scenariusza ulegnie ograniczeniu. Dodatkowo ten proces powinien zostać powtórzony, gdy staje się dostępna nowa informacja geologiczna. Ma to na celu upewnienie się, że założenia tworzonego planu będą odzwierciedlać rzeczywiste warunki panujące w złożu. Niedokładność modeli geologicznych może spowodować powstanie błędów w kolejnych krokach planowania górniczego, co z kolei może zakończyć się niespodziewanym wzrostem kosztów i spadkiem przychodów z działalności wydobywczej [Wilkinson, 2010].

W przypadku wdrożonego w JSW S.A. systemu MineScape parametry serwera bazy danych są następujące:

- System operacyjny: Centos 7,
- CPU: 4 x 3GHz,
- RAM: 16GB.

System MineScape korzysta z Oracle w wersji Oracle 12c Standard Edition 12.2.0.1, zaś klientem jest OracleSE212c\_12.2.0.1\_x64\_client. Serwer projektów MineScape jest skonfigurowany w następujący sposób:

- System operacyjny: Windows server 2012 R2,

- CPU: 2 x 2.93GHz,
- RAM: 4,00GB,
- HDD: 2 x 50GB.

Na serwerze projektów, zainstalowana została wersja 6.0.2466 z opcją ciągłej aktualizacji (Continuous Delivery). W ramach prac konfiguracyjnych, dla serwera projektów zostały otwarte następujące porty:

- 21554 – dla usługi MineScape Design File service,
- 24568 – dla usługi MineScape Design File Monitor service,
- 24567 – dla usługi MineScape Monitor service.

W ramach konfiguracji bazy danych GDB na Oracle, została utworzona jedna baza danych dla wszystkich użytkowników z podziałem na projekty GDB dla każdego z uczestniczących w projekcie ruchów. Serwer projektów MineScape został uruchomiony na serwerze wirtualnym oraz udostępniony dla wszystkich użytkowników systemu MineScape. Na każdym z komputerów wykorzystywanych na poszczególnych ruchach, dyski lokalne stacji roboczych mają udostępniony katalog „TEMP” dla przechowywania systemowych plików tymczasowych. Serwery bazy danych Oracle oraz projektów MineScape zostały podłączone do sieci korporacyjnej Grupy Górniczej, autoryzacja użytkowników odbywa się zgodnie z polityką bezpieczeństwa korporacyjnego Grupy i zarządzana jest przez jednostkę IT Grupy.

W przypadku systemu Deswik w zakresie stacji roboczej zostały zarekomendowane następujące parametry:

- System operacyjny: 64-bitowa wersja Windows 7 SP1, Windows 8.1 lub Windows 10,
- CPU: Quad Core 3GHz,
- RAM: 32GB,
- Karta wideo: 2GB Video Card,
- .NET Framework: 4.6.x lub wyższa,
- Biblioteki Visual C++:
  - 2010, 64-bit, wersja 10.0.30319 lub wyższa,
  - 2012, 64-bit, wersja 11.0.61030 lub wyższa,
  - 2013, 64-bit, wersja 12.0.21005 lub wyższa,
  - 2015, 64-bit, wersja 14.0.23026 lub wyższa.

Ponadto, do komunikacji z serwerem Deswik.FM konieczne jest zapewnienie sieci gigabitowej, zaś serwer plików powinien wykorzystywać szybkie dyski (SAS lub SSD). Wymagania dla serwera licencji są następujące:

- System operacyjny: Windows 2012 R2 Server lub wyższa (tylko 64-bitowa),
- CPU: Dual Core 2.5GHz,
- RAM: 2GB,
- .NET Framework: 4.6.x lub wyższa.

#### 4.4. Integracja systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym JSW S.A. z systemami biznesowymi Grupy

Obecnie programy do projektowania górniczego są coraz bardziej dynamiczne tak pod względem samego modelowania, jak i wizualizacji. Niczym nadzwyczajnym jest już symulowanie choćby ruchu maszyn urabiających, w trakcie którego śledzimy serię zoptymalizowanych (związanych z ruchem) schematów. Schematy te połączone w środowisku 3D i poddane wizualizacji w odpowiedniej czasowej synchronizacji dają niemal rzeczywisty obraz procesu wydobywania kopaliny. Zestaw narzędzi służy do dowolnego przemieszczania obiektów w różnorodny sposób, sprawiając, że otoczenie programu jest w pełni interaktywne [Kapageridis, 2005].

Oprogramowanie geologiczno-górnicze, wykorzystując dynamiczny rozwój technologii informatycznych podlega zmianom typowym dla całej branży, co w odniesieniu do obszaru zastosowań w przemyśle wydobywczym oznacza następujące trendy:

- koncentracja potencjału firm dostarczających oprogramowanie dla przemysłu wydobywczego,
- rozszerzanie zakresu czynności objętych komputerowym wspomaganie – opracowywanie nowych algorytmów modelowania i optymalizacji wybranych procesów, wdrażanie nowych technologii informatycznych, tworzenie nowych narzędzi informatycznych,
- integracja proponowanych rozwiązań – zastępowanie narzędzi obsługujących „wyspawę” procesy kompleksowymi rozwiązaniami do wspomaganie dokumentacji, analiz i optymalizacji całego łańcucha tworzenia wartości w przedsiębiorstwie wydobywczym,
- lawinowy przyrost coraz bardziej różnorodnych danych, gromadzonych i przetwarzanych w specjalizowanych, dedykowanych programach,
- budowa środowisk informatycznych do zarządzania samym procesem przetwarzania specjalistycznych danych dla zapewnienia płynności i bezpieczeństwa cyfrowego komputerowego wspomaganie w skali obsługiwanej korporacji górniczej.

Zarządzanie produkcją w kopalni, podobnie jak w każdym przedsiębiorstwie, jest w istocie ciągłym procesem decyzyjnym, w którym rozstrzygane są wyłaniające się problemy [Dyczko, 2009].

W warunkach kopalni i zarządzania procesem wydobywania faza przygotowania decyzji o uruchomieniu eksploatacji ma kluczowe znaczenie dla jej racjonalności i trafności. Oznacza ona zebranie niezbędnych informacji o charakterze wybieranego złoża, czynnikach ograniczających prowadzenie eksploatacji, stronie kosztowej realizowanego procesu technologicznego, jednym słowem całość procesu informacyjnego musimy poddać INTEGRACJI.

##### 4.4.1. Integracja systemu MineScape z infrastrukturą informatyczną Grupy JSW

Jednym z etapów wdrożenia systemu MineScape było dokonanie jego integracji z funkcjonującymi w Grupie Górniczej systemami IT. System musiał być zintegrowany z trzema systemami: Geolisp, ArchiDeMeS oraz Deswik.

W programie **Geolisp** utworzono dedykowaną funkcję *Menu*, umożliwiającą zrzut informacji z profilów chodnikowych i wybranych profilów ścianowych, niezbędnych dla

budowy modelu stratygraficznego w MineScape. Funkcja ta pozwala na eksport potrzebnych danych w formie dwóch plików csv (współrzędne i litologia) w ustalonym formacie umożliwiającym ładowanie tych danych do tablic bazy danych GDB (odpowiednio Współrzędne Otworów oraz Litologia i Stratygrafia). Podczas ładowania do bazy danych GDB, dane podlegają standardowym procesom weryfikacji i traktowane są w bazie danych jak otwory. Pozostałe wymagane dane (np. izoliny topografii 3D, punkty geodezyjne 3D ślady uskoków, linie wyklinowań, rozszczepień, strefy wmyć itp.) importowane są przy użyciu standardowych mechanizmów, podglądu i/lub importu danych z formatu AutoCAD. System MineScape eksportuje dane do systemu Geolisp także poprzez format AutoCAD. Odnosi się to do danych, które są pochodną modelu, a wymagane są dla potrzeb wizualizacji w mapach pokładowych oraz poziomowych. Zalicza się do nich, m.in. izoliny stropu, spągu i miąższości oraz ślady zamodelowanych uskoków.

W odniesieniu do **ArchiDeMeS**, należy podkreślić, że dotychczasowa praktyka w kopalniach Grupy polegała na ręcznym wpisywaniu wyników analiz, otrzymywanych w formie papierowej lub elektronicznej (z użyciem poczty elektronicznej), do pliku programu MS Excel, bądź na eksporcie danych z programu ArchiDeMeS do pliku tekstowego i dalszej obróbce do uzyskania pożądanego formatu danych. Baza GDB stanowi docelowe repozytorium sprawdzonych i zatwierdzonych przez geologów danych pochodzących z analiz jakościowych węgla. Stworzony też został słownik walidacyjny, którego celem była ostateczna weryfikacja wartości parametrów jakościowych.

W związku z powyższym procedura, uwzględniająca użycie bazy danych ArchiDeMeS, składała się z następujących kroków:

- dostarczenia przez firmę Y skryptu SQL, który ze struktury bazy danych rozładuje wskazane dane do pliku tekstowego o zdefiniowanym formacie,
- ładowania danych do formatu XLS,
- sprawdzenia i zatwierdzenia danych wynikowych przez geologa,
- załadowania danych jakościowych do GDB.

Ze względu na wysoki stopień skomplikowania procedury oraz powstającą redundancję danych pomiędzy systemem ArchiDeMeS oraz MineScape (GDB), konieczne było przeprowadzenie przełączenia sposobu przechowywania danych jakościowych geologicznych (informacje otworowe, próby bruzdowe, stwierdzenia dołowe) na system GDB. Uproszczono procesowanie danych jakościowych pozyskiwanych dla potrzeb modelu geologicznego w porozumieniu z laboratorium badawczym, czyli przeprowadzono integrację systemu MineScape z systemem klasy LIMS (*Laboratory Information Management System*), wspierającym procesy zarządzania jakością badania złoża i produktu, funkcjonowania laboratorium oraz dystrybucji wyników badań złoża i produktu w Grupie Górniczej.

System firmy **Deswik** posiada interfejs pozwalający na importowanie danych z modelu geologicznego systemu MineScape. Wraz z aktualizacją oprogramowania MineScape zapewniono możliwość eksportu modelu do formatu wskazanego przez Deswik (GoCAD), który zapewnia transfer danych z modelu geologicznego MineScape bezpośrednio do formatu Deswik (danych wymaganych przez Grupę po stronie struktury i jakości złoża). W zakresie

danych modelowych, dla potrzeb związanych z projektowaniem i harmonogramowaniem eksploatacji, system MineScape umożliwia przygotowanie i udostępnienie modelu stratygraficznego w standardowym formacie MineScape - Stratmodel.

#### 4.4.2. Integracja systemu Deswik z infrastrukturą informatyczną Grupy JSW

W tabeli 4.1 przedstawiono listę systemów, z którymi należało zintegrować system służący do harmonogramowania produkcji Deswik. Oprócz listy systemów poniższa tabela zawiera obszary biznesowe (których dotyczy dana integracja), docelowe oprogramowanie (zintegrowane z oprogramowaniem Deswik) oraz opis działań w zakresie poszczególnych integracji.

#### Integracja oprogramowania Deswik

Tabela 4.1.

Obszar biznesowy	Oprogramowanie	Opis działań w ramach integracji Deswik
Planowanie produkcji	THPR	<ul style="list-style-type: none"> <li>konfiguracja raportu harmonogramu w celu dopasowania wymaganych danych wejściowych,</li> <li>badanie opcji bezpośredniego importu do systemu THPR,</li> <li>określenie wymagań odnośnie procesu i przygotowywania danych do importowania bieżących wyników produkcyjnych z zewnętrznych źródeł (takich jak baza danych SZYK czy dane miernicze),</li> </ul>
Geologia	MineScape	n/d
Miernictwo, geologia	AutoCAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>opracowanie mapy procesów do importowania danych geologicznych i mierniczych z istniejących plików AutoCAD,</li> <li>opracowanie mapy procesów do eksportu rysunków z projektami górniczymi do istniejących plików AutoCAD,</li> </ul>
	Osiadanie	<ul style="list-style-type: none"> <li>konfiguracja raportu harmonogramu w celu dopasowania wymaganych danych wejściowych,</li> <li>konfiguracja raportu Deswik.CAD do eksportu współrzędnych projektowych wyrobisk (bloków) ścianowych,</li> </ul>
Kontrola	Hyperion	<ul style="list-style-type: none"> <li>konfiguracja raportu harmonogramu w celu dopasowania wymaganych danych wejściowych,</li> </ul>
Wentylacja	Aero	<ul style="list-style-type: none"> <li>konfiguracja raportu harmonogramu w celu dopasowania wymaganych danych wejściowych,</li> <li>badanie wyników importu modelowania wentylacji pod kątem wyświetlania w swoich programach,</li> </ul>
Geofizyka	Hestia	<ul style="list-style-type: none"> <li>konfiguracja raportu harmonogramu w celu dopasowania wymaganych danych wejściowych,</li> <li>badanie wyników importu punktów występowania tępaków pod kątem wyświetlania w swoich programach.</li> </ul>

Przedstawiona architektura techniczna opracowanego rozwiązania wspierana jest przez dwa systemy – MineScape, służący do modelowania złoża oraz Deswik, umożliwiające planowanie i harmonogramowanie produkcji w wielozakładowym przedsiębiorstwie górniczym.

Opracowana architektura informatyczna pozwoliła wdrożyć w realu system do zarządzania i planowania produkcji górniczej w JSW S.A.

W opracowanym modelu danych system bazuje na dwóch źródłach – Geologicznej Bazie Danych (GDB) oraz Deswik FM. Architektura fizyczna prezentuje uproszczony model klient-serwer, w którym nie występują skomplikowane interfejsy ze względu na niski poziom transakcyjności. Całość rozwiązania opiera się na oprogramowaniu zainstalowanym na stacjach roboczych i części serwerowej zapewniającej dostęp do danych (logika aplikacyjna realizowana jest przez oprogramowanie klienckie).

Prezentowana architektura jest prosta i przystępna dla użytkowników, została z sukcesem wprowadzona we wszystkich kopalniach Grupy JSW.

Projektowanie wyrobisk eksploatacyjnych i przygotowawczych w przestrzeni 3D, realizowane w oparciu o geologiczny model złoża opisujący zarówno jego strukturę, jak i jakość, jest w JSW S.A. realizowane od trzech lat. Tworzone warianty eksploatacji analizowane są w dowolnym przedziale czasowym dzięki możliwości wyboru dowolnego kalendarza robót. Może to być np. kalendarz miesięczny z podziałem na dni, roczny z podziałem na miesiące, ale również kalendarz dzienny, pięcioletni, dwudziestoletni, aż do wyczerpania zasobów kopalni. Dzięki stałej aktualizacji informacji w bazie danych i możliwości szybkiego ich wykorzystania oraz modyfikacji, proces projektowy (zarówno w przypadku robót udostępniających, przygotowawczych jak i eksploatacyjnych) jest usprawniony i przyspieszony wielokrotnie w porównaniu z metodami tradycyjnymi, umożliwiając:

- planowanie (krótko- i długoterminowe) eksploatacji oraz projektowanie techniczne,
- projektowanie robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych,
- wykonanie harmonogramu projektowanych robót.

Zbudowany model pozwala na automatyczne obliczanie ilości i jakości urobku oraz skały płonnej w wybranych przedziałach czasowych, a po zakończeniu symulacji automatycznie wygenerowana zostaje prognoza dla wszystkich parametrów dotyczących wykonanego projektu wydobywania, takich jak: ilość urobku, ilość skały płonnej, parametry jakościowe itp.

#### **4.5. Stan obecny i docelowy systemu zarządzania ciągiem produkcyjnym, opartego na popycie i jakości realizowanego procesu produkcyjnego**

Analiza stanu obecnego w zakresie zarządzania jakością w JSW S.A. pozwoliła stwierdzić, że w praktyce w niewielkim stopniu wykorzystywano potencjał systemów informatycznych. Większość czynności związanych z zarządzaniem i harmonogramowaniem produkcji było wykonywanych w sposób niezestandaryzowany, często przy wykorzystaniu arkuszy kalkulacyjnych, bez możliwości automatycznej wymiany danych, na poziomie poszczególnych zakładów wydobywczych Grupy. Dominowała realizacja planowania w sposób manualny i zdecentralizowany, przy czym agregacja danych następowała dopiero na samym końcu procesu. Uniemożliwiało to szybkie prowadzenie tego procesu oraz bieżącą reakcją na

zmieniające się warunki rynkowe lub otoczenia makroekonomicznego. Przy takim prowadzeniu procesu niemożliwym było tworzenie scenariuszy celem wyboru najbardziej efektywnego rozwiązania [Kopacz, 2018; Dyczko, 2021].

Obecnie, dane dotyczące jakości w JSW S.A. przetwarzane są w wielu systemach. Grupa dysponuje m.in. danymi o zasobach, planach produkcji oraz planach jakości, parametrach sterujących procesami produkcyjnymi wpływającymi na jakość produktu, odczytach z systemów monitorowania produkcji i jakości produkcji oraz wynikach badań jakościowych. W wielu przypadkach, dane te nie były w sposób zorganizowany ani usystematyzowany rejestrowane i archiwizowane. Nie były również ujednoczane ani synchronizowane. Należy podkreślić, że dane dotyczące jakości pochodzą z różnych źródeł i mają różny charakter, częstotliwość rejestrowania (odczyty jednostkowe lub odczyty ciągłe) oraz nieujednolicony model danych (dane planistyczne, dane z odczytów jednostkowych, dane z odczytów ciągłych, parametry danych sterujących procesami produkcyjnymi, dane kontraktowe, wyniki badania prób jakościowych itd.).

Zatem **istniały przesłanki do zbudowania odpowiedniego systemu zarządzania w Grupie Kapitałowej JSW**, który pozwoliłby m.in. na zbudowanie spójnego modelu danych, centralizację, całościową informatyzację procesów zarządzania jakością złoża i produktu, orkiestrację procesu akwizycji i analizy danych dotyczących jakości. Przełożyłoby się to wprost na wzrost jakości i efektywności badań jakościowych oraz procesów im towarzyszących, takich jak zbieranie, przechowywanie, przetwarzanie, udostępnianie danych itd. w pełnym cyklu produkcyjnym.

**Obecnie, jedynie część elementów** Systemu zarządzania opartego na popycie i jakości zostało wdrożonych, nadal trwają prace nad praktycznym i skutecznym wdrożeniem pozostałych części systemu. W niniejszym **rozdziale opisano obecny i docelowy stan SPPJ**.

Podstawowa zasada prowadzenia działalności gospodarczej powinna opierać się o reakcje na zmieniające się otoczenie rynkowe, zwłaszcza w momencie dużych wahań koniunkturalnych. Dążenie do wprowadzania zmian, chęć dogonienia rynku może powodować zbagatelizowanie kwestii przygotowania odpowiedniej architektury korporacyjnej oraz architektury IT. W JSW S.A. dążąc do przygotowania trwałego fundamentu dla swojej działalności wykonano nie tylko model operacyjny określający ogólne wymagania wobec integracji i standaryzacji poszczególnych jednostek biznesowych, ale również projekt architektury korporacyjnej obejmującej m.in. proces zarządzania jakością, która skorelowana jest z planowanymi kierunkami rozwoju [Kopacz, 2019; Dyczko, 2021, 2022b].

Architektura ta wskazuje kluczowe dla działalności spółki procesy oraz dane scalające główne formy działalności, co pozwoliło objąć digitalizacją fundament działalności, traktując tym samym system zarządzania oparty na popycie i jakości jako podstawowy element zarządzania.

System zarządzania oparty na popycie i jakości obejmuje następujące, kluczowe obszary biznesowe realizowane w Grupie Kapitałowej:

- obszar zarządzania jakością,
- obszar planowania i harmonogramowania,



- obszar wydobycia i przeróbki węgla,
- obszar produkcji koksu,
- obszar handlu i logistyki (węgla i koksu).

We wszystkich zdefiniowanych powyżej obszarach biznesowych, w przygotowanej koncepcji architektury SPPJ przyjęto jednolite podejście do definiowania architektury systemowej, opartej o następujące komponenty:

- dane źródłowe (np. próbki, sensory, wagi, analizatory),
- systemy wsparcia procesów biznesowych,
- integrację,
- Centralny System Zarządzania Jakością,
- repozytorium danych,
- analizy i raportowanie (Business Intelligence).

Zaproponowana architektura SPPJ zakłada wykorzystanie danych z obecnie używanych systemów informatycznych, wspierających kluczowe procesy operacyjne tj. przede wszystkim systemów ERP oraz systemów zawierających dane o zasobach (System Model Złoża 3D) zintegrowanego z systemem planowania i harmonogramowania produkcji (System Planowania Produkcji), a także wdrożonych systemów monitorujących procesy produkcyjne, przy czym ich pełną integrację planuje się wykonać przy wykorzystaniu mikroserwisów.

Dodatkowo zakłada się pełną integrację z wdrażanym obecnie systemem kompleksowego wsparcia procesów laboratoryjnych w badaniach jakościowych, zarówno paliw stałych (węgla), koksu, jak również pozostałych elementów podlegających procesom badania jakości (System LIMS – Laboratory Information Management System). Opracowana koncepcja architektury SPPJ [Kicki, 2011; Dyczko, 2021] zakładała, że niezbędne będzie przygotowanie, wdrożenie i integracja następujących dodatkowych komponentów w poszczególnych obszarach biznesowych – przedstawionych w tabeli 4.2.

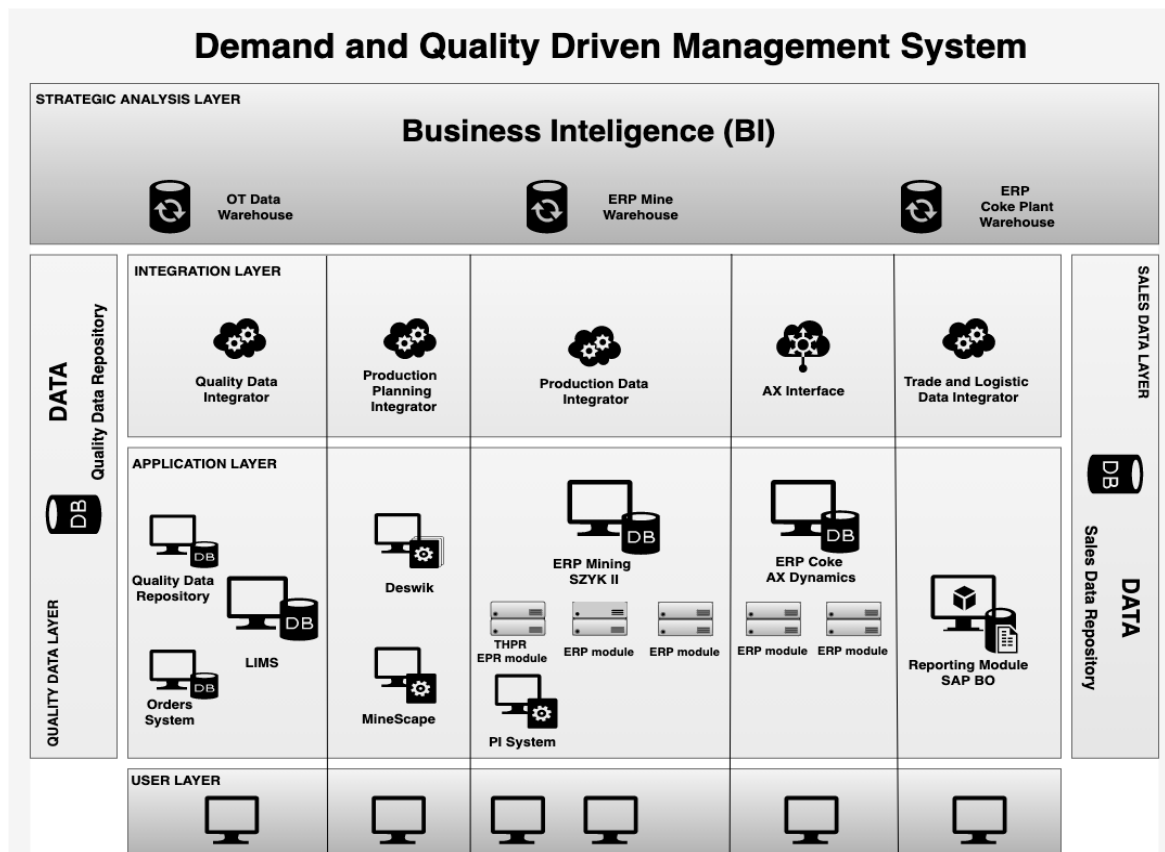
#### Komponenty w poszczególnych obszarach biznesowych

Tabela 4.2.

Obszar	Komponent
Zarządzanie jakością	Integrator Jakości
	Centralne Repozytorium Danych Jakościowych
Planowanie i harmonogramowanie	Integrator Planowania Produkcji
	Centralne Repozytorium Danych Planistycznych
Wydobycie i przeróbka węgla Produkcja koksu	Integrator Danych Produkcyjnych
Handel i logistyka (węgiel i koks)	Integrator Danych Handlu i Logistyki
	Mapa Jakości Magazynów

Celem wdrożenia SPPJ jest skuteczne zarządzanie procesami produkcyjnymi w GK JSW, w tym jakością produktu w postaci węgla koksowniczego oraz koksu, które przełoży się na

maksymalizację marży uzyskiwanej ze sprzedaży produktów oraz ograniczenie kosztów operacyjnych związanych z optymalizacją procesów produkcyjnych produktu o wymaganym poziomie jakościowym. Na rysunku 4.5. przedstawiono mapę warstw architektury SPPJ wraz z zaznaczonymi komponentami w obszarach biznesowych [Dyczko, 2020, 2021, 2022a].



Rys. 4.5. Mapa warstw architektury SPPJ wraz z komponentami – stan docelowy

Przyjęto założenie, że SPPJ będzie używany przede wszystkim przez kierownictwo oraz pracowników Biura Jakości, Biura Produkcji oraz Biura Handlu, jak również przez pracowników innych biur operacyjnych odpowiedzialnych za wsparcie procesów planowania oraz zarządzanie produkcją z punktu widzenia jej jakości [Dyczko, 2021, 2022a].

#### 4.6. Budowa architektury systemu zarządzania produkcją Grupy Kapitałowej JSW opartego na popycie i jakości przy wykorzystaniu paradygmatu architektury zorientowanej na usługi (SOA)

W ostatnich latach wprowadzane zmiany w architekturze oprogramowania próbowały nadążać za szybko rosnącym poziomem złożoności systemów informatycznych. Jednak ze względu na tempo tego wzrostu tradycyjnie stosowane wzorce nie radziły sobie z bieżącymi wyzwaniami. Powstała potrzeba szybkiego reagowania na nowe wymagania biznesowe, oczekiwania na dalsze obniżenie kosztów informatyki, a przede wszystkim na potrzeby związane z szybką integracją i wchłanianie nowych obszarów biznesowych [Erickson, 2009]. Architektura zorientowana na usługi pojawiła się jako nowe rozwiązanie architektoniczne [Perrey, 2003] separujące warstwę aplikacji od użytkownika za pomocą usług sieciowych.

Rozwiązanie to umożliwia łatwą integrację funkcjonalności różnych systemów bez przeprowadzania dużych zmian w tych systemach. Podejście takie ze względu na swą elastyczność zostało powszechnie uznane przez wielu naukowców oraz praktyków za właściwe do wdrożenia w organizacjach [Niknejad, 2018]. Jednak w trakcie rozwoju architektura ta była wielokrotnie krytykowana ze względu na wątpliwości co do jej rzeczywistej wartości [Dorman, 2007].

Architektura zorientowana na usługi wprowadza koncepcję integracji różnych systemów przy zastosowaniu wydzielonych usług oraz podziału funkcjonalności aplikacji na usługi. Głównymi cechami charakteryzującymi usługi są m.in. [Erl, 2014]:

- interfejs usługi - zawiera informacje o zasadach komunikacji, danych wejściowych, wyjściowych oraz metodach, które udostępnia dana usługa sieciowa,
- opis usługi - zawiera tylko podstawowe informacje na temat usługi, poza udostępnionym kontraktem. W całości ukrywa jak realizowana jest dana funkcjonalność,
- logika wykorzystania - usługi zawierają podzieloną logikę pomiędzy sobą, przy podziale logiki w łatwy sposób można wykorzystywać ponownie stworzoną funkcjonalność,
- autonomiczność - każda usługa jest autonomiczna, a odpowiedzialność serwisu ogranicza się do realizowanej przez niego funkcjonalności,
- bezstanowość - minimalizuje użycie zasobów, nie przechowując informacji o kliencie, ani wykonanych wcześniej operacjach,
- wykrywalność - stworzone z myślą o wykorzystaniu w rozproszonych systemach usługi są uzupełniane metadanymi za pomocą, których mogą być skutecznie wykryte i zinterpretowane,
- kompozycja - mogą składać się z kilku funkcjonalności realizowanych poprzez inne usługi, tzn. tworzy złozone usługi, które rozdzielają zadanie pomiędzy siebie.

Z istniejących definicji i modeli jasno wynika, że architektura zorientowana na usługi jest powszechnie postrzegana jako architektura lub sposób budowania i orkiestracji infrastruktury informacyjnej organizacji. Jako taka, SOA nie jest technologią samą w sobie: jest raczej sposobem na zorganizowanie przepływu danych lub integrację innych technologii w celu wykonania szeregu innych zadań. To w naturalny sposób prowadzi do problemu wielości definicji architektury SOA, ponieważ możliwych jest wiele stosunkowo podobnych strukturyzacji usług. Wiele definicji architektury SOA wskazuje również na to, że układ i relacje pomiędzy usługami powinny być luźno, a nie ściśle powiązane. Pozwala to na dostosowanie usług do potrzeb i realizacji tego na żądanie, a nie budowanie z góry określonej struktury.

Analiza prowadzonych badań w zakresie przetwarzania danych górniczych wykazała, że w zakresie wymiany danych istnieją ograniczenia (bariery) związane z architekturą klient-serwer, dotychczas powszechnie stosowaną w górnictwie polskim. Jako rozwiązanie tego problemu wskazano zastosowanie architektury SOA usprawniającej procesy integrowania danych [Kosydor, 2020].

Metody wytwórcze oprogramowania ciągle się zmieniają, zmieniając również paradygmat architektury, zmiany te zostały dokonane po części po to, by pomóc poradzić sobie z wyższym

poziomem złożoności oprogramowania, a po części po to, by umożliwić szybką i bezbolesną integrację aplikacji za pomocą części, komponentów lub usług.

Architektura zorientowana na usługi umożliwia projektowanie systemów dostarczających usługi do innych aplikacji za pośrednictwem publikowanych i wykrywalnych interfejsów oraz miejsca, w którym te usługi mogą być wywoływane przez sieć. Wykorzystanie architektury zorientowanej na usługi przy użyciu technologii i usług sieciowych oznacza skorzystanie z takiego sposobu budowania aplikacji, w ramach którego możliwe jest zmniejszanie kosztów utrzymania i rozwoju, a także mitygowanie ryzyka wdrożenia [Service Oriented Architecture (SOA) A New Paradigm to Implement Dynamic E-business Solution].

Jednym z komponentów SOA jest rejestr usług. Wykorzystanie technologii SOA w architekturze sieciowej przedsiębiorstwa zamkniętej ogranicza zastosowanie rozwijania takich rozwiązań SOA, jak wykrywalność usługi na rzecz korzystania z Rejestru zdefiniowanych już przez przedsiębiorcę usług w centralnym Rejestrze usług lub rozproszonych w rejestrach usług w poszczególnych działach koncernu [Endrei, 2004].

#### **4.7. Obszar zarządzania jakością – założenia funkcjonalne**

Obszar zarządzania jakością obejmuje następujące komponenty, z których pierwsze dwa funkcjonują obecnie:

- System LIMS (Laboratory Information Management System), czyli centralny system wspierający procesy badań jakościowych,
- Centralny Rejestr Zleceń Jakościowych (CRZJ),
- Integrator Jakości – rozumiany jako warstwa integracyjna/zestaw interfejsów, łączący nowy system LIMS z pozostałymi elementami architektury IT/OT w Grupie Kapitałowej,
- Centralne Repozytorium Danych Jakościowych (CRDJ).

Docelowa architektura zintegrowanych komponentów pozwoli na pełną digitalizację oraz orkiestrację procesu przesyłania danych, zarówno podczas zalecania wykonania badań prób jakościowych, jak również zwrotnego przekazywania uzyskanych wyników badań.

##### **4.7.1. System LIMS - Laboratory Information Management System**

System LIMS jest nowym systemem wspierającym kompleksowo pracę laboratorium GK JSW. Wspomaga rejestrację, wprowadzenie, archiwizację wyników laboratoryjnych oraz ich analizę.

Zakres wdrożenia obejmuje digitalizację procesów obsługi laboratorium w obszarze administracyjnym i procesów wspomagających oraz integrację z urządzeniami pomiarowymi. System będzie docelowo służył do zarządzania pracą laboratorium oraz wszystkimi typami badań jakościowych, wykonywanych w głównym laboratorium.

Badania jakościowe mają być prowadzone w następujących laboratoriach:

- laboratorium paliw stałych,
- laboratorium próbek gazowych i pyłowych,
- laboratorium koksowniczego,

- laboratorium ochrony środowiska i środowiska pracy,
- laboratorium mikrobiologiczno-genetycznego.

System LIMS ma docelowo zastąpić, wykorzystywany obecnie system IT, który w obecnym zakresie funkcjonalnym służy wyłącznie do obsługi badań jakościowych dla próbek węglowych.

#### **4.7.2. Centralny Rejestr Zleceń Jakościowych**

Przesłanką do budowy Centralnego Rejestru Zleceń Jakościowych był fakt, że w GK JSW obecnie nie ma ujednoczonego procesu przygotowywania oraz monitorowania zleceń badań jakościowych. Procesy przygotowywania zleceń, zlecenia prób oraz przetwarzania wyników badań odbywają się często w sposób manualny lub półautomatyczny. Wyniki badań dla próbek węglowych rejestrowane są w postaci elektronicznej w systemie laboratoryjnym oraz przekazywane bezpośrednio, w postaci elektronicznej, z systemu IT do systemu analityczno-raportowego. Dla pozostałych typów próbek jakościowych wyniki badań przekazywane są ręcznie za pomocą plików wsadowych. Brakuje również ujednoczonego modelu nadawania unikalnych identyfikatorów dla różnych rodzajów próbek jakościowych z wyjątkiem próbek węglowych, dla których unikalne identyfikatory nadawane są w odpowiednim module systemu ERP. Dla pozostałych typów często nie stosuje się żadnej ujednoczonej metody nadawania identyfikatorów. Zakres funkcjonowania Centralnego Rejestru Zleceń Jakościowych obejmuje:

- objęcie zakresem wszystkich typów próbek jakościowych tj. próbek węglowych, gazowych, pyłowych, środowiska pracy, koksowych, itd.,
- zapewnienie automatycznej dwustronnej integracji pomiędzy CRZJ a systemem LIMS, zapewniającej możliwość wyeliminowania papierowego obiegu dokumentów,
- zapewnienie możliwości parametryzacji i zarządzania Rejestrami, Słownikami, Katalogami badań jakościowych (np. według typów próbek oraz grup funkcjonalnych badań) z możliwością automatyzacji wyboru potrzebnych parametrów przy generowaniu zlecenia,
- zapewnienie możliwości prezentacji parametrów operacyjnych oraz kosztowych związanych ze zleceniem prób dla różnych typów i zakresów badań jakościowych,
- zapewnienie możliwości generowania unikalnej numeracji próbek jakościowych (podczas tworzenia zlecenia badań jakościowych oraz) oraz identyfikatora próbki,
- zapewnienie integracji z systemami znakowania / nadawanie próbkom np. barkodów / QR kodów celu zwiększenie efektywności pracy oraz kontroli nad kompletnością próbek oraz wykonywanych badań jakościowych,
- zapewnienie monitoringu on-line statusu zlecenia, spełnienia kryteriów dla próbek, stanu realizacji badania oraz przewidywanego terminu zakończenia badania,
- zapewnienie integracji z CRDJ.

#### **4.7.3. Integrator obszaru Danych Jakościowych**

Integrator Jakości ma za zadanie zapewniać automatyczną integrację wszystkich danych wejściowych oraz wyjściowych do/z systemu LIMS. Wdrożenie i integracja rozwiązania klasy LIMS ma zapewnić pełną implementację elektronicznego obiegu danych dotyczących próbki i badania jakościowego: od wygenerowania i rejestracji zlecenia, poprzez procesy

wykonywania badań jakościowych, aż do przygotowania i udostępnienia raportu z wynikami badań. Integrator jakości rozumiany jest jako zestaw interfejsów łączących poszczególne elementy architektury systemów zarządzania jakością. Do kluczowych obsługiwanych procesów oraz głównych wymagań funkcjonalnych należą:

- przygotowanie i wdrożenie jednolitego modelu danych dla obszaru jakości,
- objęcie zakresem wszystkich typów próbek jakościowych tj. próbek węglowych, gazowych, pyłowych, środowiska pracy, koksowych, itd.,
- zapewnienie automatycznej integracji wszystkich danych wejściowych oraz wyjściowych do/z systemu LIMS,
- objęcie zakresem integracji wszystkich procesów związanych z obsługą klienta w obszarach: Cenników oraz Ofertowania, Zarządzania parametrami Umów, Monitorowania klientów, Reklamacji,
- wyeliminowanie papierowego obiegu dokumentów pomiędzy jednostkami w Grupie Kapitałowej w pełnym zakresie obiegu próbek (zlecenia, pobieranie próbek, znakowanie i kodowanie próbek, rejestr próbek, podgląd statusu, zatwierdzanie wyników badań i autoryzacja, raporty z badań, itd.),
- zapewnienie integracji w zakresie wymiany danych z Rejestrów, Słowników, Katalogów badań,
- zapewnienie integracji umożliwiającej użycie i przesyłanie unikalnej numeracji próbek jakościowych,
- zapewnienie integracji z systemami generowania i znakowania (m.in. nadawanie próbkom np. barkodów/QR kodów i ich odczytywanie) w celu zwiększenia efektywności pracy oraz kontroli nad kompletnością próbek oraz wykonywanych badań jakościowych,
- zapewnienie monitoringu on-line statusu zlecenia, spełnienia kryteriów dla próbek, stanu realizacji badania oraz przewidywanego terminu zakończenia badania,
- wymiana pomiędzy wszystkimi systemami informacji o statusie badania danej próbki, działaniach na próbce oraz wynikach badań próbek,
- zapewnienie dostępu do wyników badań próbki natychmiast po wykonaniu badania,
- zapewnienie automatycznego przekazania i odłożenia danych o wykonanych badaniach oraz uzyskanych wynikach w Centralnym Repozytorium Danych Jakościowych,
- zapewnienie integracji i automatycznego przekazania i odłożenia danych o wykonanych badaniach oraz uzyskanych wynikach do Centralnego Repozytorium Danych Jakościowych, Centralnego Systemu Zarządzania Jakością oraz systemu analityczno-raportowego.

#### **4.7.4. Centralne Repozytorium Danych Jakościowych**

Centralne Repozytorium Danych Jakościowych (CRDJ) ma być miejscem, do którego będą przesyłane, a następnie gromadzone dane jakościowe. Głównym zadaniem CRDJ będzie więc gromadzenie i składowanie poszczególnych typów danych do jednolitego repozytorium oraz synchronizowanie ich z innymi danymi operacyjnymi i jakościowymi. CRDJ będzie zasilać Centralny System Zarządzania Jakością i/lub system analityczno-raportowy, jako podstawowe i jednolite źródło danych jakościowych.

Zakres funkcjonalny CRDJ obejmuje:

- objęcie zakresem przetwarzania danych wszystkich typów danych zbieranych w pełnym zakresie procesów tzw. „od złoża do morza” tj. w obszarach zarządzania jakością, planowania i harmonogramowania produkcji, monitorowania procesów produkcyjnych węgla i koksu oraz procesów handlowych i logistycznych,
- docelowo: gromadzenie i przetwarzanie danych nie tylko w zakresie planowania i monitorowania, ale sterowania i optymalizowania procesami produkcji,
- zapewnienie zasilania danymi z poszczególnych obszarów funkcjonalnych tj. Integratora Jakości, Integratora Planowania Produkcji, Integratora danych produkcyjnych (zarówno dla produkcji węgla, jak i koksu), Integratora danych handlu i logistyki (zarówno dla węgla, jak i koksu),
- zapewnienie integracji z Centralnym Systemem Zarządzania Jakości i/lub Systemem analityczno-raportowym, jako jednolite źródło danych,
- możliwość przyjęcia hybrydowej architektury zorientowanej na usługi, wykorzystującej jako składowe, rozwiązania technologiczne stosowane obecnie w Grupie (SAP Business Objects/MS Reporting Services/PI Systems), integrujące je za pomocą mikroserwisów,
- orkiestracja integracji pomiędzy CRZJ a systemem LIMS, zapewniającej możliwość wyeliminowania papierowego obiegu dokumentów w pełnym zakresie obiegu próbek przy zachowaniu możliwości wyświetlania/drukowania przygotowanych zleceń, znakowania i kodowania próbek, rejestru próbek, podglądu statusu, itd.

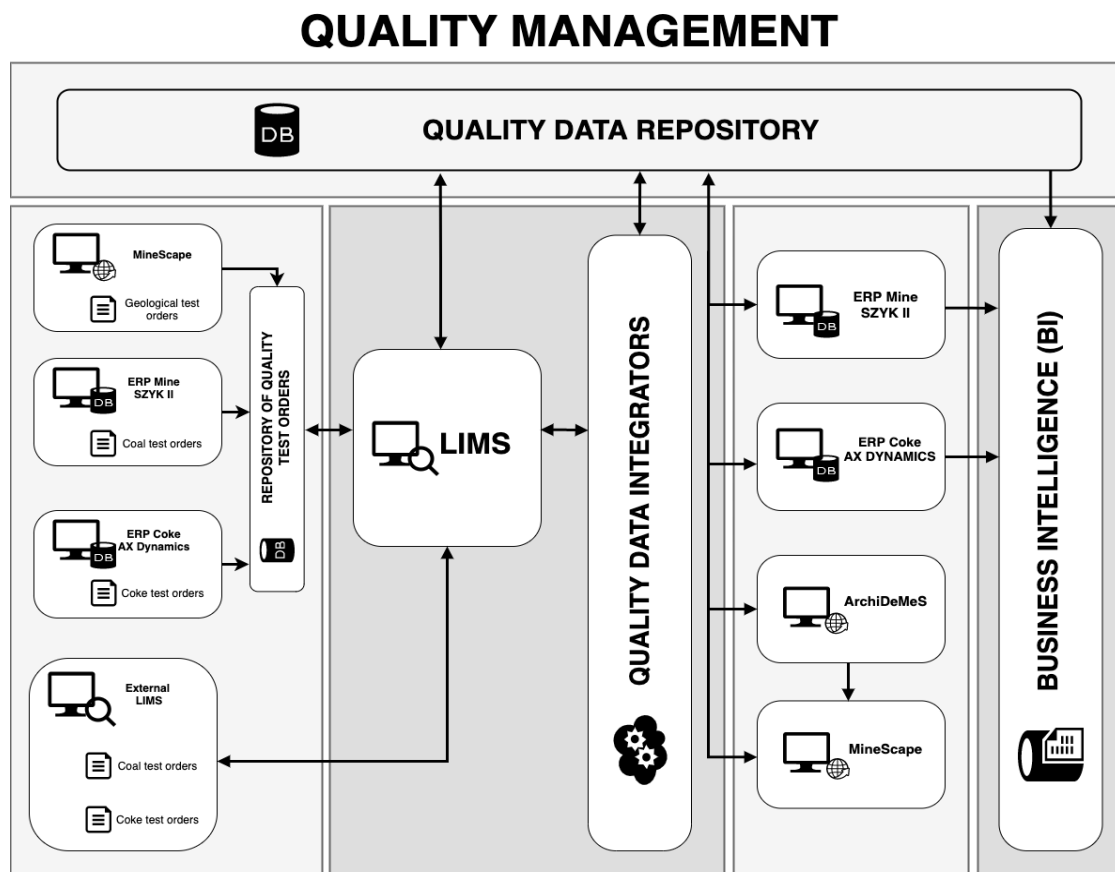
#### **4.8. Zakres wymaganych integracji Sytemu zarządzania ciągiem produkcyjnym opartego na popycie i jakości procesu produkcyjnego**

Najważniejszym zadaniem dla skutecznej architektury korporacyjnej jest definicja procesów, danych, technologii i interfejsów (również dla użytkowników), tak aby wszystkie kluczowe zasoby i ich komplementacje były optymalnie wykorzystane. W celu przygotowania docelowej architektury systemu wdrożono model danych podstawowych (Master Data Model) jako łącznik pomiędzy warstwą biznesową i techniczną, dzięki czemu uzyskano jednolite podejście do danych i związanych z nimi procesów, traktując to jako element szerszej strategii zarządzania danymi. Model danych podstawowych zapewnia spójne dane z każdego kluczowego obszaru biznesowego przedsiębiorstwa, wyklucza tworzenie duplikatów oraz daje gwarancję dostępności newralgicznych danych zapewniając przy tym łatwą integrację hurtownią danych, systemami analitycznymi oraz systemami transakcyjnymi. W celu uzyskania konkretnej orkiestracji danych przygotowano model wymaganej integracji oraz przepływu danych pomiędzy kluczowymi procesami tj.:

- rozpoznanie złoża,
- wydobywanie węgla,
- przeróbka węgla,
- sprzedaż węgla,
- produkcja koksu,
- sprzedaż koksu.



W celu zilustrowania procesów, które musi zrealizować system, a także uporządkowania wymiany danych pomiędzy poszczególnymi komponentami, przygotowano diagram przepływu danych i integracji (rys. 4.6). Pozwala to zilustrować sieć powiązań pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu i ich funkcje.



Rys. 4.6. Zakres wymaganych integracji w obszarze zarządzania jakością

Ze względu na przyjęty model danych podstawowych konieczne było zdefiniowanie zakresu wymaganych integracji w obszarze zarządzania jakością pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu. Definicja wymagań dotyczyła wskazania komponentu źródłowego dla danych, komponentów przetwarzających dane oraz zakres ich wykorzystania. Dzięki takiemu podejściu dane wprowadzone w jednym systemie komponente są dostępne we wszystkich skomunikowanych komponentach, więc nie ma potrzeby ich powielania, daje to również możliwość jednoczesnego korzystania z danych. Poprzez opisane działanie zapewniona jest również spójność danych, co ogranicza ryzyko pojawienia się błędów i duplikatów. Dobrze zaprojektowana integracja ułatwia dostęp do poszczególnych elementów systemu, ponieważ można zastosować technologię SSO (Single Sign On), dzięki której użytkownik po zalogowaniu do jakiegokolwiek z komponentów systemu może mieć dostęp do całości. Kluczowe, wymagane do zaprojektowania i wdrożenia interfejsy pomiędzy elementami architektury SPPJ w obszarze zarządzania jakością zostały przedstawione w tabeli 4.3.

## Zakres wymaganych integracji w obszarze zarządzania jakością

Tabela 4.3.

Komponent 1	Komponent 2	Komponent 3	Opis
Centralny Rejestr Zleceń Jakościowych	Integrator Jakości	System LIMS	Zlecenia badań jakościowych
System LIMS	Integrator Jakości	<i>Mapy 3D Złoza, System Planowania Produkcji</i>	Wyniki badań złoza dla prób geologicznych
System LIMS	Integrator Jakości	ERP	Wyniki badań próbek produkcyjnych węgla
System LIMS	Integrator Jakości	ERP	Wyniki badań próbek produkcyjnych koksu
System LIMS	Integrator Jakości	Centralne Repozytorium Danych Jakościowych	Dane o zleceniach badań jakościowych oraz uzyskanych wynikach badań
System LIMS	Integrator Jakości	Centralny System Zarządzania Jakością	Komplet danych w zakresie zarządzania jakością zasobów, produkcji i produktu
Centralne Repozytorium Danych Jakościowych	Centralny System Zarządzania Jakością	SAP Business Object	Statystyki i raportowanie procesu zarządzania jakością w Grupie Kapitałowej
Centralne Repozytorium Danych Jakościowych	Centralny System Zarządzania Jakością	MS Reporting Services	Statystyki i raportowanie procesu zarządzania jakością w Grupie Kapitałowej

Założono, że w ramach obszaru **planowania i harmonogramowania** zasadne jest wdrożenie następujących dwóch komponentów: Integratora Planowania Produkcji oraz Centralnego Repozytorium Danych Planistycznych. Docelowa architektura komponentów pozwoli na zintegrowanie procesów planowania produkcji i harmonogramowania robót górniczych, przy założeniu możliwości dynamicznej aktualizacji planów, symulacji i tworzenia wielu wariantów z tworzeniem aktualnych Planów Jakości, opartych o to samo źródło danych - oparte na geologicznym modelu złoza, opisującym strukturalne i jakościowe cechy wydobywanej kopaliny, utrzymywane w systemie Map 3D Złoza i systemie Planowania Produkcji. Takie podejście wyeliminuje również dualizm wprowadzania tożsamy danych pomiędzy systemem Planowania Produkcji oraz modułem systemu ERP w Grupie.

W **obszarze wydobycia i przeróbki węgla oraz produkcji koksu** opracowano Integrator Danych Produkcyjnych, który ma zapewnić automatyczną integrację wszystkich danych zebranych z sensorów infrastruktury oraz systemów IT/OT w procesach produkcyjnych: wydobycia, przeróbki oraz koksowania. W celu umożliwienia proaktywnego planowania jakości dostaw i zarządzania jakością produktu w procesach handlowych i logistycznych

przyjęto założenie o wdrożeniu następujących komponentów architektury SPPJ w **obszarze handlu i logistyki (węgiel i koks)**: Integratora Danych Handlu i Logistyki oraz Mapy Jakości Magazynów. Takie rozwiązania pozwolą na odpowiednie bilansowanie i zarządzanie strumieniami produktu adekwatnego do realizowanych wymagań jakościowych danego odbiorcy – z jednej strony wpływającymi w trybie ciągłym z Zakładów Przeróbczych, a z drugiej strony z Magazynów (zwałów).

#### **4.9. Wdrożenia poszczególnych komponentów Sytemu zarządzania ciągiem produkcyjnym opartego na popycie i jakości procesu produkcyjnego**

Wdrożenie SPPJ w JSW S.A. wymaga ogromnych nakładów oraz zaangażowania wielu zasobów. Jest to długotrwały, bardzo skomplikowany pod względem organizacyjnym, finansowym i technicznym proces, wymagający zaangażowania zarówno ze strony kierownictwa, pracowników, jak i interesariuszy GK JSW. Ze względu na bardzo szeroki zakres wdrożenia, w niniejszej monografii pokazano jeden z jego etapów – mianowicie określenie priorytetów wdrożenia poszczególnych komponentów.

W badaniach zastosowano metodę priorytetyzacji MoSCoW, która polega na hierarchizowaniu wymaganych funkcjonalności tak, aby w pierwszej kolejności realizować te, które przyniosą największe korzyści biznesowe. Wykorzystywana jest ona często w zarządzaniu, analizie biznesowej, zarządzaniu projektami, a także w procesach tworzenia oprogramowania.

Sam termin MoSCoW pochodzi od pierwszych liter czterech kategorii priorytetowych opisanych w A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge:

- M – MUST (musi być): niezbędne wymaganie, które musi być spełnione w finalnym rozwiązaniu, często traktowane jest jako kryterium sukcesu wdrożenia,
- S – SHOULD (powinien być): wymaganie o wysokim priorytecie, ale nie jest konieczne do dostarczenia w pierwszym etapie wdrożenia,
- C – COULD (może być): wymaganie pożądane, realizowane, jeżeli pozwolą na to czas i zasoby,
- W – WON'T (nie będzie): wymaganie, które nie będzie realizowane w danym wdrożeniu, ale może być rozpatrzone w przyszłości.

Analizę rozpoczęto od inwentaryzacji wszystkich systemów w planowanym obszarze wdrożenia, przy jednoczesnej identyfikacji nakładania się funkcjonalności lub luk w pokryciu procesów biznesowych systemami informatycznymi. Pozwoliło to ograniczyć ilość wykorzystywanych systemów oraz wspomóc tworzenie modelu danych podstawowych. Następnie wskazano liderów poszczególnych obszarów, w tym m.in. produkcji węgla, rozpoznania złoża oraz zarządzania jakością. Na podstawie ankiet, rozmów oraz warsztatów przeprowadzonych z liderami wskazano docelowe obszary systemu, a także kluczowe działania do zrealizowania. W badaniach przyjęto następujące klasy priorytetów wdrożenia poszczególnych komponentów architektury:

- **priorytet pilny** (musi być) – komponent niezbędny do wdrożenia w związku z realizowanymi obecnie innymi projektami wdrożeniowymi lub krytyczny z punktu

widzenia jakości i dostępności informacji służącej procesom zarządzania jakością. Komponent należy wdrożyć i zintegrować, niezależnie od pozostałych elementów, aby umożliwić automatyzację kluczowych procesów.

- **priorytet wysoki** (powinien być) – komponent istotny z punktu widzenia przetwarzania kluczowych informacji w procesach zarządzania jakością. Komponent powinien zostać wdrożony, aby usprawnić procesy oraz podnieść jakość informacji.
- **priorytet średni** (może być) – komponent, którego wdrożenie uzupełnia i usprawnia architekturę SPPJ. Decyzja o wdrożeniu komponentu może zostać przesunięta na późniejszy okres, w przypadku występowania ograniczeń budżetowych / braku możliwości organizacyjnych lub wdrożeniowych.

Ze względu na szeroki zakres projektu, konieczne zaangażowanie kluczowych pracowników, a także wysokie koszty odstąpiono od definicji komponentów o priorytecie niskim (won't – nie będzie). Ostateczną priorytetyzację uzgodniono z interesariuszami w ramach realizacji „Programu Jakość” biorąc pod uwagę następujące czynniki:

- krytyczność dla osiągnięcia zakładanego celu, czyli możliwości zarządzania przedsiębiorstwem w oparciu o planowanie zgodnie z popytem i jakością produktu,
- kosztów realizacji poszczególnych działań, uruchomienia oczekiwanych funkcjonalności,
- czasu potrzebnego na wdrożenie,
- stanu zaawansowania projektów już uruchomionych mających wpływ lub będących częścią systemu.

Przyjęta metoda analizy wskazała szereg wymagań o pilnym priorytecie, a brak jasnego, zestandaryzowanego uzasadnienia nie pozwalał uszeregować działań rzeczywiście wskazanych do realizacji w pierwszej kolejności. Dlatego też zdecydowano o wskazaniu ścieżki krytycznej dla wdrożenia systemu umożliwiającej uruchomienie pełnego procesu zarządzania jakością. W tabeli 4.4 przedstawiono listę działań w zakresie wdrożenia danego komponentu w poszczególnych obszarach biznesowych oraz odpowiadający im priorytet.

#### Wyniki priorytetyzacji wdrożenia poszczególnych komponentów

Tabela 4.4.

Obszar	Działanie odnośnie danego komponentu	Priorytet	Ścieżka krytyczna
Obszar zarządzania jakością	Wdrożenie Systemu LIMS;	Pilny	TAK
	Zapewnienie integracji w ramach Integratora Jakości (LIMS – Integrator Jakości – SPPJ – SAP BO);	Pilny	TAK
	Wdrożenie Centralnego Rejestru Zleceń Jakościowych;	Pilny	
	Budowa i wdrożenie Centralnego Repozytorium Danych Jakościowych (CRDJ);	Wysoki	TAK
	Wdrożenie SPPJ w zakresie Zarządzania Jakością, w postaci funkcjonalności analityczno-raportowej;	Pilny	

Obszar planowania i harmonogramowania	Wdrożenie Integratora Planowania produkcji, pomiędzy systemem Planowania Produkcji oraz ERP; umożliwiające generowanie Planów produkcji na podstawie danych z systemu Planowania Produkcji;	Pilny	TAK
	Budowa Centralnego Repozytorium Danych Planistycznych (CRDP);	Wysoki	
	Wdrożenie SPPJ w zakresie Planowania i Harmonogramowania, umożliwiające automatyczne generowanie Planów Jakości w SPPJ na podstawie danych z systemu Planowania Produkcji, w postaci funkcjonalności analityczno-raportowej;	Pilny	
	Budowa modułu Planowania Zasobów poza systemem ERP oraz zmiany w module Planowania Środków Produkcji;	Średni	
Obszar wydobywania i przeróbki węgla oraz produkcji koksu	Wdrożenie i uruchomienie automatycznych Wag i Analizatorów w kluczowych punktach ciągu produkcyjnego dla węgla;	Wysoki	
	Wdrożenie i uruchomienie automatycznych Wag i Analizatorów w kluczowych punktach ciągu produkcyjnego dla koksu;	Średni	TAK
	Rozbudowa Centralnego Repozytorium Danych Jakościowych o obszar monitorowania procesów produkcyjnych i bilansowania produkcji;	Pilny	
	Wdrożenie SPPJ w obszarze wydobywania i przeróbki węgla oraz Produkcji koksu, w postaci funkcjonalności analityczno-raportowej;	Pilny	
Obszar handlu i logistyki	Wdrożenie i uruchomienie automatycznych Próbbiemi oraz Analizatorów w obszarze handlu i logistyki węgla;	Wysoki	
	Wdrożenie i uruchomienie automatycznych Próbbiemi oraz Analizatorów w obszarze handlu i logistyki koksu;	Średni	
	Wdrożenie funkcjonalności Map jakości magazynów;	Wysoki	
	Zapewnienie integracji w ramach Integratora Danych Handlu i logistyki węgla;	Średni	
	Zapewnienie integracji w ramach Integratora Danych Handlu i logistyki koksu;	Średni	

	Rozbudowa Centralnego Repozytorium Danych Jakościowych o obszar Handlu i logistyki;	Pilny	
	Wdrożenie SPPJ w obszarze Handlu i logistyki, w postaci funkcjonalności analityczno-raportowej.	Pilny	

#### 4.10. Wykorzystanie sparametryzowanych interpolatorów w modelowaniu geometrii złóż węgla i rozkładu parametrów jakościowych realizowane w systemie JSW S.A.

Dane do systemu MineScape pochodzą zarówno z badań rdzeni wiertniczych otworów powierzchniowych, ale również z badań wykonywanych w wyrobiskach górniczych. Służba geologiczna kopalni prowadzi na bieżąco opróbowanie zgodnie z wewnętrznymi przepisami oraz wg wytycznych polskiej normy PN-G-04501:1998. Pobierane są próby bruzdowe z wyrobisk korytarzowych oraz rdzeniowe z otworów wiertniczych. Siatka opróbowania jest projektowana tak, aby pozyskana informacja jakościowa przedstawiała jak najdokładniejszy rozkład parametrów jakościowych w polach eksploatacyjnych [Sosnowski, 2021]. Dane pochodzące z analiz gromadzone są w bazie danych geologicznych GDB (tabela 4.5).

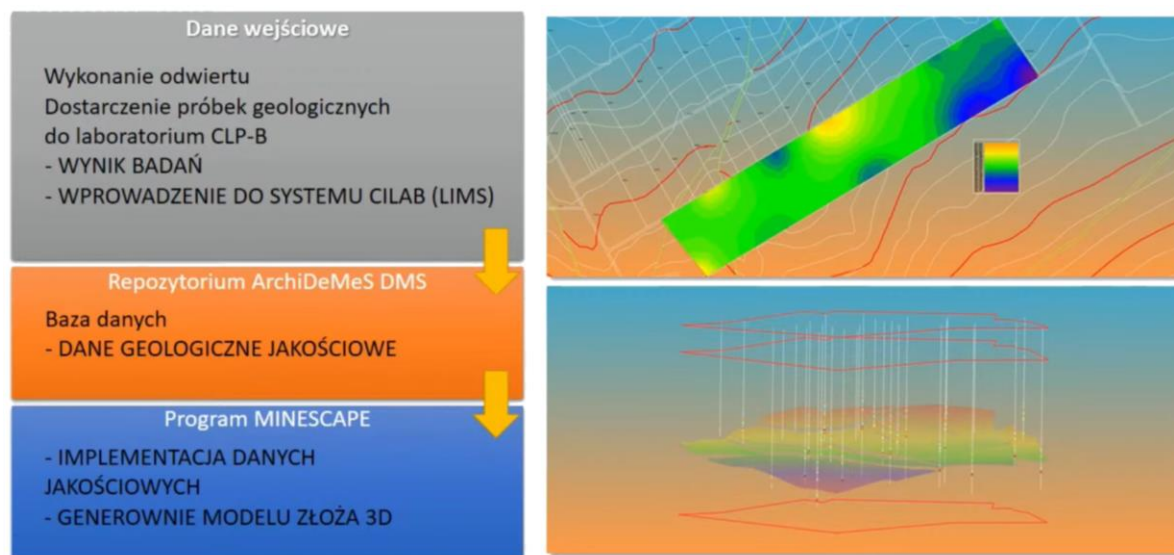
##### Parametry jakościowe węgla gromadzone w bazie danych geologicznych

Tabela 4.5.

Nazwa jednostki	Symbol	Jednostka miary
zawartość wilgoci	W <sup>a</sup>	[%]
zawartość popiołu/stan powietrzno-suchy	A <sup>a</sup>	[%]
zawartość części lotnych/stan powietrzno-suchy	V <sup>a</sup>	[%]
zdolność spiekania wg Rogi	RI	-
wskaźnik wolnego wydymania	SI	-
kontrakcja	a	[%]
dylatacja	b	[%]
zawartość siarki całkowitej	S <sub>t</sub> <sup>a</sup>	[%]
zawartość fosforu	P <sup>a</sup>	[%]
zawartość chloru	Cl <sup>a</sup>	[%]
wartość opałowa	Q <sub>i</sub> <sup>a</sup>	[kJ/kg]
zawartość popiołu/stan suchy	A <sup>d</sup>	[%]
zawartość siarki całkowitej	S <sub>t</sub> <sup>d</sup>	[%]
zawartość części lotnych	V <sup>daf</sup>	[%]
typ węgla		-
gęstość rzeczywista	d <sub>r</sub> <sup>a</sup>	[g/cm <sup>3</sup> ]
gęstość pozorna	d <sub>a</sub> <sup>a</sup>	[g/cm <sup>3</sup> ]
wskaźnik reakcyjności koksu wobec dwutlenku węgla	CRI	[%]

wskaźnik wytrzymałości koksu po reakcyjności	CSR	[%]
przypadkowa refleksyjność wityrynytu	R <sub>o</sub>	[%]
zawartość wityrynytu	V <sub>t</sub>	[%obj]
zawartość liptynytu	L	[%obj]
zawartość inertynytytu	I	[%obj]
zawartość substancji mineralnej	M	[%obj]

Do bazy danych ładowane są dane przechowywane w systemie ArchiDeMes, pochodzące przede wszystkim z analiz wykonywanych przez Centralne Laboratorium Pomiarowo - Badawcze Sp. z o.o. (rys. 4.7.). Podczas ładowania do GDB dane te poddawane są weryfikacji wg zdefiniowanych przez użytkowników reguł. Zebrane informacje o jakości węgla przypisane są do odpowiednich stwierdzeń pokładów w otworach geologicznych lub profilowaniach wyrobisk górniczych.

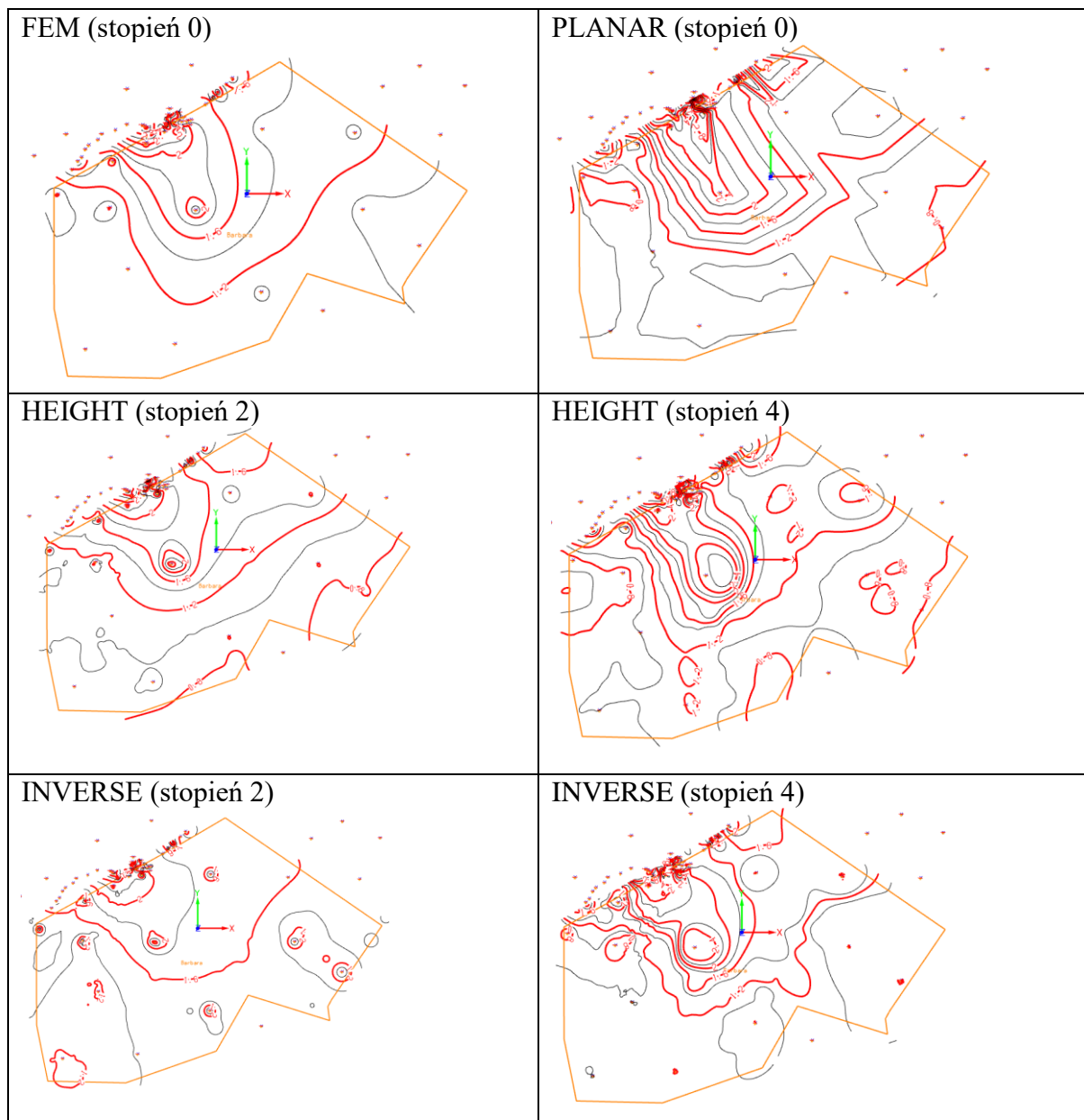


Rys. 4.7. Proces przetwarzania danych w systemie modelowania złoża [Saganiak, 2021]

Model jakości węgla powstaje w wyniku interpolacji punktowych stwierdzeń poszczególnych parametrów jakościowych otrzymanych z analiz próbek pobranych z otworów wiertniczych lub opróbowania wyrobisk górniczych. Przyjęto, że modelowane będą parametry kluczowe z punktu widzenia jakości produktu otrzymane z prób w stanie wzbogaconym (o zawartości popiołu mniejszej niż 9%). Na etapie przygotowania danych do modelowania dla każdego z poszczególnych punktowych stwierdzeń jakości uśredniono wartości parametrów jakościowych w obrębie pełnej miąższości pokładu lub miąższości furty (jeśli obejmowała ona więcej niż jeden pokład).

Do poszczególnych parametrów jakościowych dobrano interpolatory – procedury matematyczne, które na podstawie punktowych stwierdzeń jakości obliczają prognozowane wartości analizowanych parametrów w węzłach modelu siatkowego. Poszczególne interpolatory różnią się znacznie pod względem wymagań co do danych wejściowych, zakresem parametrów pozwalających sterować przeprowadzaną interpolacją oraz charakterem wynikowych powierzchni modelu (rys. 4.8).





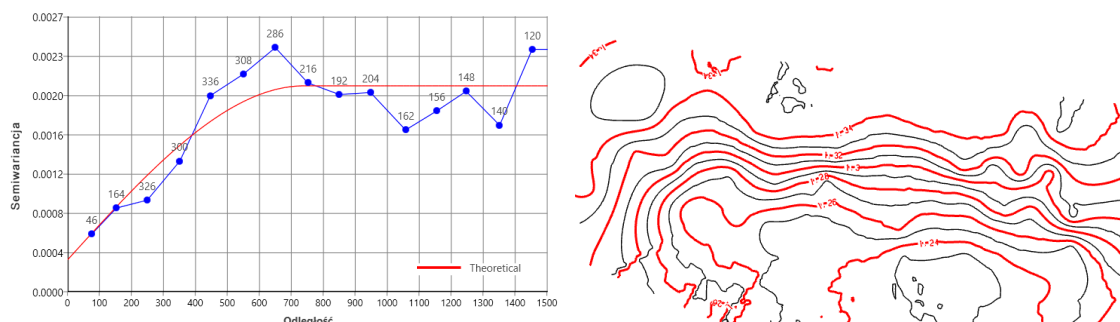
Rys. 4.8. Porównanie map izoliniowych jakości, opracowanych na podstawie siatek obliczonych za pomocą różnych interpolatorów

Wybór odpowiedniego interpolatora parametrów jakościowych modelu ma istotne znaczenie również dla oceny ekonomicznej planowanej eksploatacji [Kopacz, 2020]. W modelowaniu jakości złóż eksploatowanych przez kopalnie JSW S.A. stosowane były przede wszystkim interpolatory IDW (ang. Inverse Distance Weighting) czyli odwrotnej odległości oraz Height (wykorzystujące powierzchnię trendu oraz odwrotnej odległości). Stosowane narzędzia pozwalają również na przeprowadzenie interpolacji geostatystycznej (krigingu liniowego zwyczajnego) badanych parametrów jakości węgla.

Interpolację geostatystyczną określaną mianem krigingu [Cressie, 1990] stosuje się, gdy zakładamy, że w zróżnicowaniu wartości parametru złożowego występują składniki losowe i nielosowe, oraz że można strukturę takiej zmienności opisać za pomocą funkcji zwanej

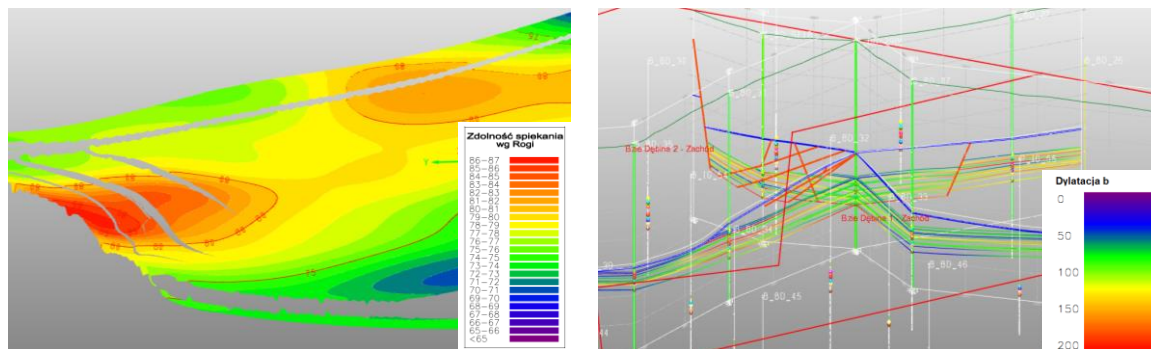
semiwarioramem, która obrazuje zależność średniego zróżnicowania określonego parametru od średniej odległości pomiędzy punktami pomiarowymi.

Metodę krigingu jako procedurę interpolacyjną można stosować tylko wtedy, gdy jest dostatecznie dużo danych do konstrukcji semiwarioramu, co jest możliwe tylko w bardziej zaawansowanych stadiach rozpoznania złoża [Nieć, 2012]. Procedura ta wymaga również przeprowadzenia analizy zmienności każdego z parametrów jakościowych w każdym z modelowanych pokładów, co powoduje, że jest ona aktualnie stosowana tylko w szczególnych przypadkach (rys. 4.9).



Rys. 4.9. Semiwarioram empiryczny i teoretyczny oraz mapa izoliniowa, opracowana na podstawie procedury krigingu dla przypadkowej refleksyjności witrinitu w wybranym pokładzie

Interpolacja pozwala wypełnić całą przestrzeń modelu prognozowanymi wartościami parametrów jakościowych. Stają się one elementem trójwymiarowego modelu złoża i mogą być przedmiotem wizualizacji w formie map, przekrojów czy też rzutów przestrzennych (rys. 4.10).



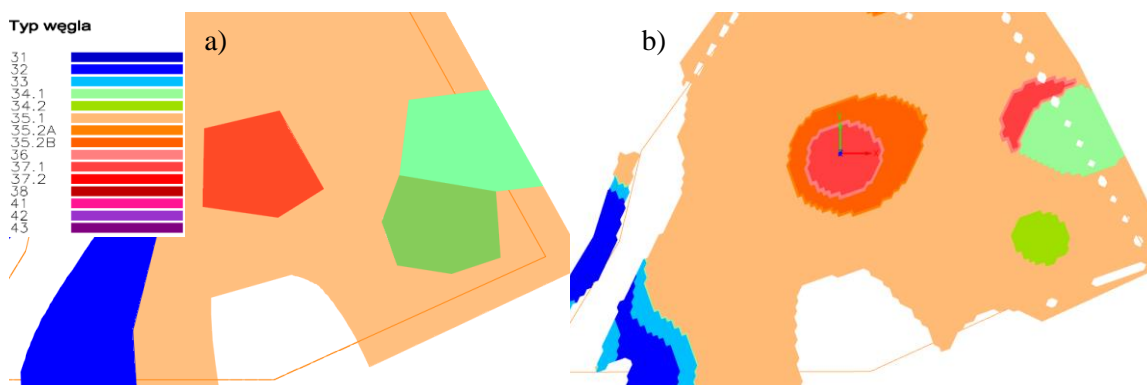
Rys. 4.10. Zdolność spiekania wg Rogi oraz dylatacja na rzucie przestrzennym powierzchni spągu wybranego pokładu oraz przekrojach przez złożo [Jamróży, 2019]

Stosowana w Polsce klasyfikacja technologiczna klasyfikacja typów węgla, w zakresie węgla koksowych bierze pod uwagę zawartość części lotnych  $V^{daf}$ , dylatację  $b$ , wskaźnik wolnego wydymania  $SI$  oraz zdolność spiekania wg Rogi  $RI$ . Typ węgla nie jest wartością numeryczną nie może więc być interpolowany jak pozostałe parametry jakościowe. We wdrożonym rozwiązaniu w zależności od potrzeb użytkowników może być on interpretowany i modelowany na dwa sposoby:

- jako określona dla danego punktu opróbowania i pokładu klasa interpolowana pomiędzy poszczególnymi stwierdzeniami interpolatorem Polygon,

– jako obliczana w każdym punkcie siatki modeli wartość wynikająca z kombinacji parametrów  $V^{daf}$ , b, SI oraz RI.

W pierwszym podejściu dane o typie węgla w punkcie analizy służą do wykreślenia „stref wpływu” danego punktu. Typ węgla w danym punkcie modelu przypisywany jest na podstawie najbliższego stwierdzenia. Drugie podejście opiera się na definiowanych w programie MineScape powierzchniach wyrażeniowych, uwzględniających cztery parametry jakościowe definiujące typ węgla w punkcie. Efektem są płynne przejścia pomiędzy poszczególnymi typami węgla w przestrzeni modelu (rys. 4.11).



Rys. 4.11. Interpretacje typu węgla w pokładzie wykonane interpolatorem Polygon (a) oraz przez uwzględnienie czterech parametrów jakościowych definiujących typ węgla w każdym punkcie siatki (b)

#### 4.10.1. Określenie jakości złóż węgla projektowanego do eksploatacji na bazie cyfrowego modelu złoża węgla kamiennego

Model jakości kopaliny pozwala nie tylko na planowanie eksploatacji w odniesieniu do oczekiwanych parametrów jakościowych produktu, ale również ułatwia prowadzenie działań związanych z ochroną i ewidencjonowaniem zasobów złoża. Raporty zasobowe wykonywane wg polskich czy też międzynarodowych standardów mogą uwzględniać wybrane parametry jakościowe lub ich kombinacje (rys. 4.12).

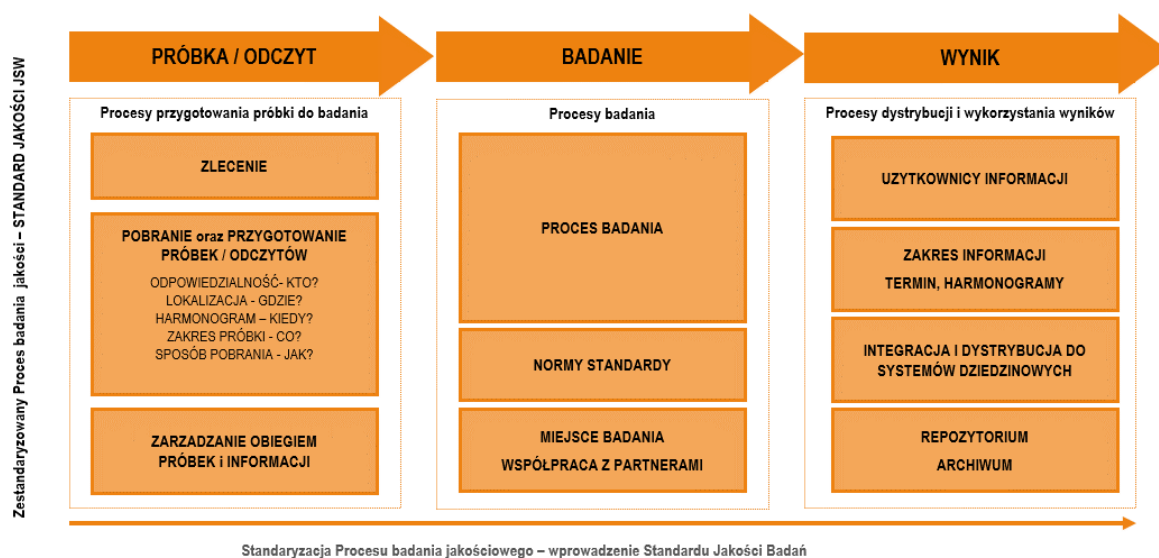
Suma z ZASOBY TYP_WĘGLA									
POKLAD	32.2	33	34.1	34.2	35.1	35.2A	35.2B	37.1	Suma końcowa
362/1					2 393	7 898			10 290
362/2			1 370		1 572	14 417			17 358
363/1				311	5 587	10 565			16 463
401					343	22 032		489	22 864
402/1					773	12 835			13 608
403/1					403	26 868			27 271
403/2					1 208	22 282			23 490
404/1					81	29 316	893		30 290
404/2						6 083			6 083
404/3						19 150			19 150
404/4		401	1 088		122	16 706		1 047	19 635
405/1					70	43 858		980	44 908
<b>Suma końcowa</b>		<b>401</b>	<b>2 458</b>	<b>311</b>	<b>12 552</b>	<b>232 007</b>	<b>893</b>	<b>1 047</b>	<b>1 739</b>

Rys. 4.12. Przykładowy raport z modelu złoża z podziałem zasobów węgla w złożu na poszczególne pokłady i typy węgla

Stosowane w JSW S.A. rozwiązania firmy Deswik wykorzystują cyfrowy model złoża do planowania produkcji węgla handlowego o pożądanym parametrach jakościowych. Informacje geologiczne gromadzone w bazie danych GDB i modelowane w programie MineScape m.in.

w zakresie jakości kopaliny, aktualizowane są w interwałach miesięcznych i przekazywane do działów przygotowania produkcji, co pozwala na bieżącą aktualizację planów produkcyjnych. Podstawowym wyzwaniem stawianym obecnie przed kopalniami JSW S.A. w zakresie jakości produktu jest zapewnienie kontrahentom węgla, z którego będzie wytworzony koks o stabilnych parametrach. Przed częścią kopalń stawiane są również wymagania dotyczące ograniczenia produkcji węgla do celów energetycznych i jednoczesnej maksymalizacji produkcji węgla do celów koksowniczych [Owczarek, 2021].

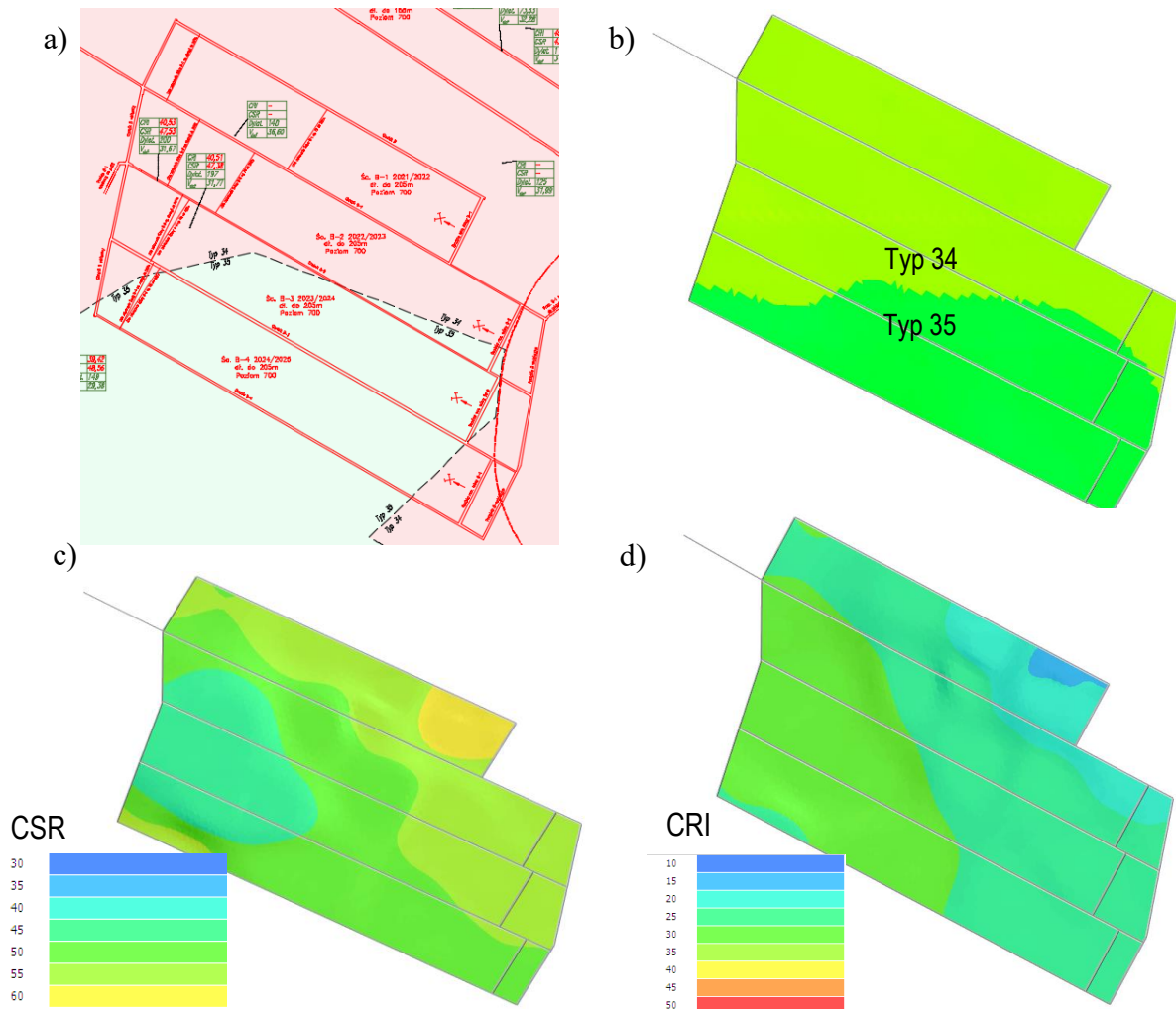
W trakcie projektu zdefiniowano wymagania w stosunku do kluczowych elementów procesów badania jakości w celu standaryzacji procesu badania jakościowego – ustanawiając Standard Jakości Badań (rys. 4.13).



Rys. 4.13. Wymagania w stosunku do kluczowych elementów procesu badania jakości

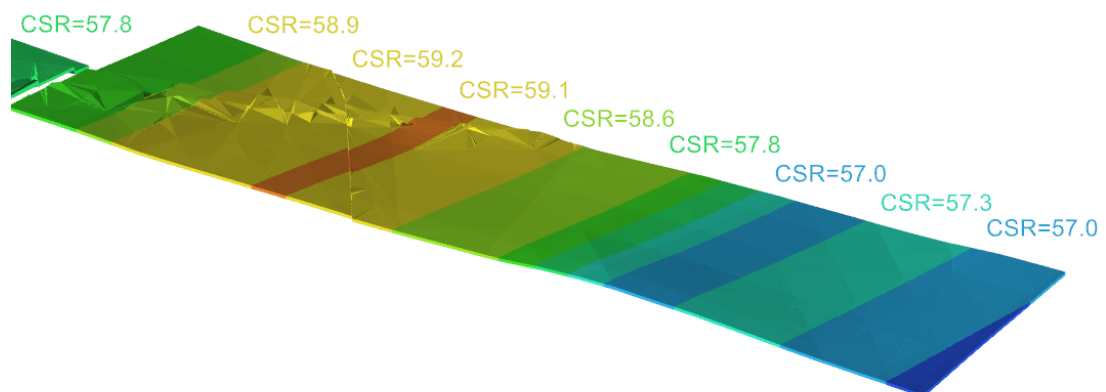
Warunkiem uzyskiwania wysokiej jakości koksu wielkopieczowego jest dobra i stabilna jakość węgla wsadowego, z którego jest produkowany. Wsad do produkcji koksu komponowany jest z kilku rodzajów węgla o kompatybilnych właściwościach koksotwórczych. Część z tych węgla stanowi tzw. bazę, inne zaś pełnią rolę składników uszlachetniających i składników schudzających. Proces kształtowania jakości wsadu węglowego do koksowania rozpoczyna się więc już podczas wydobycia węgla w kopalniach i wzbogacania go w zakładach przerobczych, a następnie kontynuowany jest w koksowniach [Ozga-Blaschke, 2010]. Wartość użytkowa węgla kierowanego do procesu koksowania zależy od bardzo wielu parametrów jakościowych, procesy przerobcze węgla koksowego pozwalają wpływać głównie na zawartość wilgoci i popiołu [Blaschke, 2009].

Na etapie projektowania wyrobisk górniczych układ wyrobisk przygotowawczych i eksploatacyjnych dostosowywany jest przede wszystkim do ograniczeń związanych ze strukturą złoża, w szczególności do zaburzeń tektonicznych (główne uskoki, zafałdowania pokładów). Na tym etapie wykorzystywany jest przede wszystkim model strukturalny złoża, model jakości kopaliny stanowi tło i ewentualną wskazówkę co do położenia i orientacji ścian eksploatacyjnych (rys. 4.14).



Rys. 4.14. Porównanie typów węgla wg mapy pokładowej (a) oraz modelu złoża (b), rozkład wartości wskaźników CSR (c) i CRI (d) w wybranym polu eksploatacyjnym [Owczarek, 2020]

Bryły projektowanych wyrobisk dzielone są równomiernie na odcinki o długości (wybiegu) 25 m. Dla każdego z takich odcinków z modelu złoża odczytywane są średnie wartości parametrów jakościowych (rys. 4.15). Tak podzielone bryły wyrobisk stają się zadaniami harmonogramu robót górniczych.

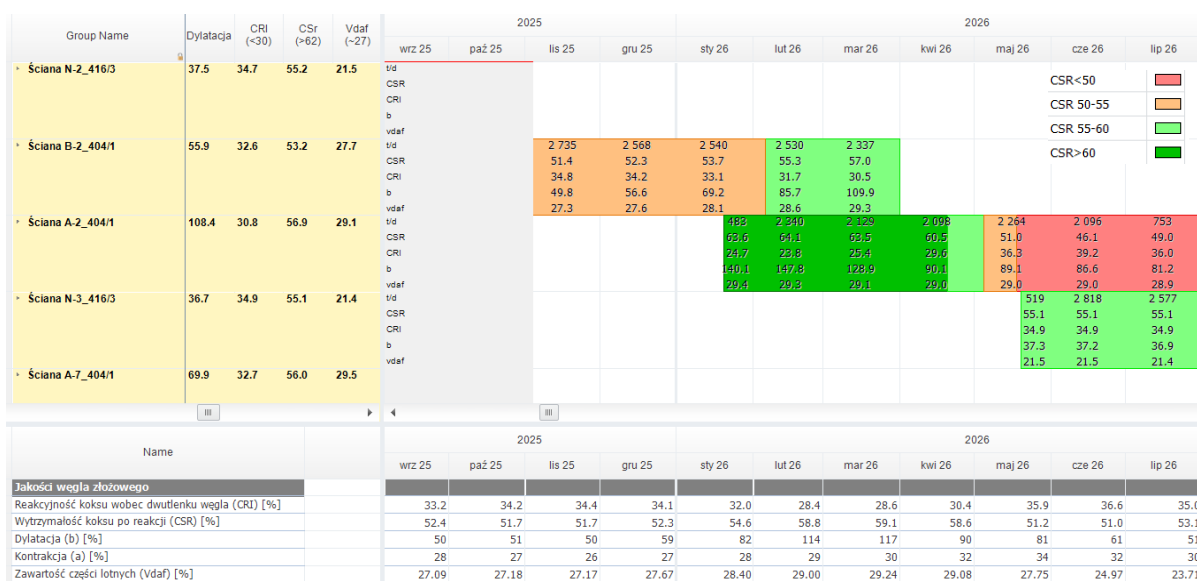


Rys. 4.15. Wartości CSR [%] w zadaniach wybranej ściany eksploatacyjnej przeciętej dwoma uskawkami



#### 4.10.2. Zastosowanie modelu jakości kopaliny do planowania długo i krótkookresowego, w celu określenia jakości urobku

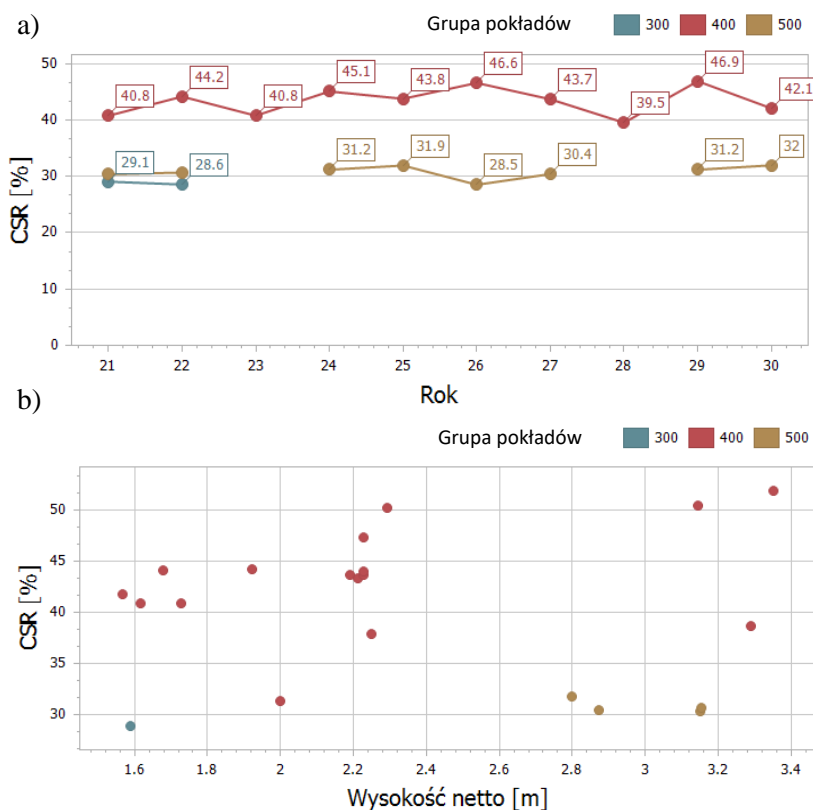
Na etapie harmonogramowania robót górniczych zadania rozmieszczane są w czasie z uwzględnieniem celów produkcyjnych oraz ograniczeń związanych z dostępnością zasobów produkcyjnych oraz warunkami geologiczno-górnictwymi. Harmonogramy wizualizowane są przede wszystkim na wykresach Gantta, które w zależności od potrzeb mogą wyświetlać różnego rodzaju dane produkcyjne i jakościowe. Narzędzie Deswik.Sched daje ponadto możliwość stałego podglądu średnich parametrów poszczególnych ścian oraz sumarycznych danych produkcyjnych dla całego projektu w poszczególnych okresach raportowych harmonogramu (rys. 4.16).



Rys. 4.16. Przykładowy wykres Gantta z kolorowaniem zadań dostosowanym do wartości wskaźnika CSR [%], średnimi wartościami parametrów jakościowych w ścianach oraz wypadkowymi parametrami jakościowymi urobku węglowego w poszczególnych okresach

Największe możliwości planowania jakości urobku węglowego istnieją na etapie planowania długoterminowego (strategicznego). Analiza jakości węgla poszczególnych ścianach pozwala iteracyjnie wskazać optymalną kolejność eksploatacji oraz postęp pod kątem stabilizacji jakości produktu na optymalnym dla kopalni poziomie i oczekiwanego poziomu wydobywania z zachowaniem uwarunkowań wynikających ze stosowanej technologii górniczej [Lewandowski, 2021].

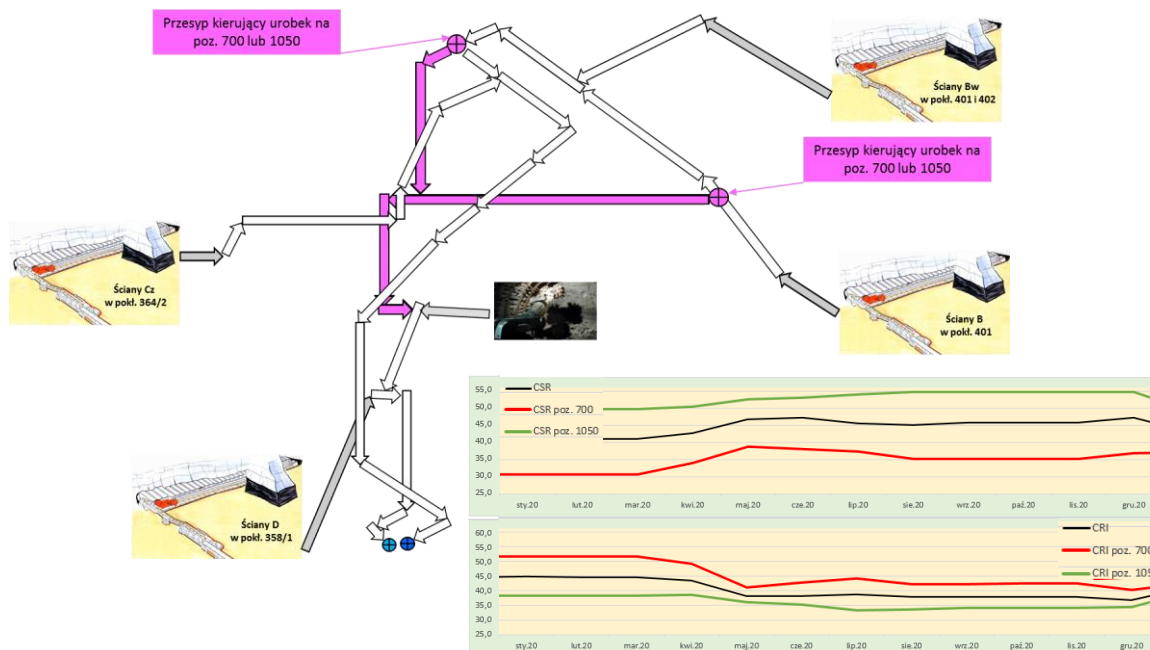
Planowanie eksploatacji z wykorzystaniem szczegółowych informacji jakościowych z modelu złoża pozwala wskazać grupy pokładów i ściany, których nadmierna eksploatacji może stanowić zagrożenie dla stabilizacji jakości produktu. Jednoczesna eksploatacja ścian o niższej jakości ze ścianami lepszymi pozwala lepiej wykorzystać zasoby złoża bez negatywnego wpływu na jakość produktu (rys. 4.17).



Rys. 4.17. Jakość węgla w grupach pokładów w poszczególnych latach eksploatacji (a) oraz w poszczególnych ścianach w odniesieniu do ich wysokości netto (b)

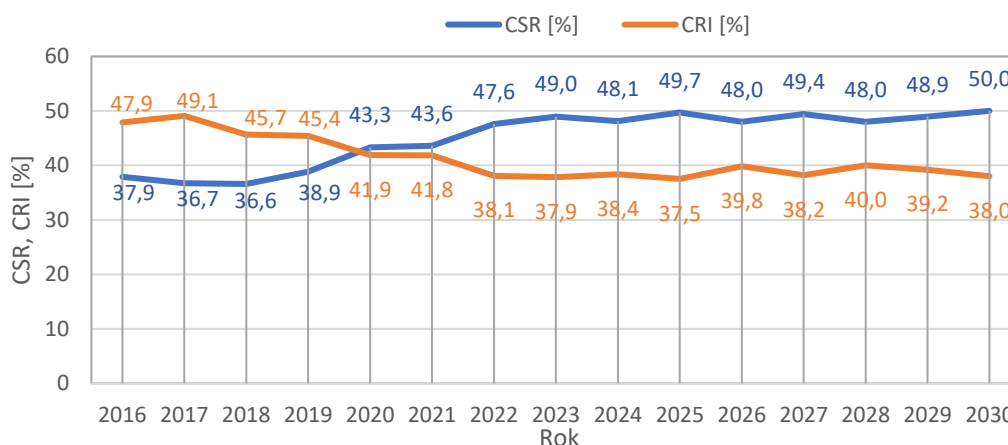
W zakładach górniczych, które posiadają rozwiązania technologiczne umożliwiające selektywne wydobywanie i odstawę urobku stosowane są również rozwiązania mające na celu prognozowanie jakości poszczególnych strug urobku. W szczególności stosowane są rozwiązania pozwalające na kierowanie strugą urobku poprzez rozdzielanie urobku po ziemię i skierowanie go na wybrany ciąg technologiczny [Owczarek, 2021]. W połączeniu z podziemnymi oraz powierzchniowymi zbiornikami węgla surowego stosowane rozwiązanie pozwala na zaplanowanie właściwego zmieszania węgla z poszczególnych ciągów technologicznych i uzyskanie oczekiwanych parametrów jakości węgla przesyłanego na zakład przerobczy (rys. 4.18).





Rys. 4.18. Schemat odstawy głównej KWK „Budryk” z możliwością kierowania strugą urobku oraz wykres zmian wskaźników CSR i CRI na poszczególnych ciągach technologicznych [Owczarek, 2021]

Spółka podjęła działania mające na celu zwiększenie produkcji i sprzedaży węgla koksowego o stabilnych i pożądanym parametrach jakościowych m.in. poprzez rozwój bazy zasobowej węgla koksowego i związane z tym udostępnienie nowych złóż oraz nowych poziomów wydobywczych. Działania te, w połączeniu z postępującą informatyzacją całego ciągu produkcyjnego obejmującą m.in. modelowaniem złóż, prognozowanie oraz bieżące monitorowanie i nadzór nad jakością produktów pozwoliły w znaczącym stopniu ustabilizować, a w niektórych przypadkach również podnieść jakość urobku węglowego trafiającego do zakładów przerobczych (rys. 4.19).

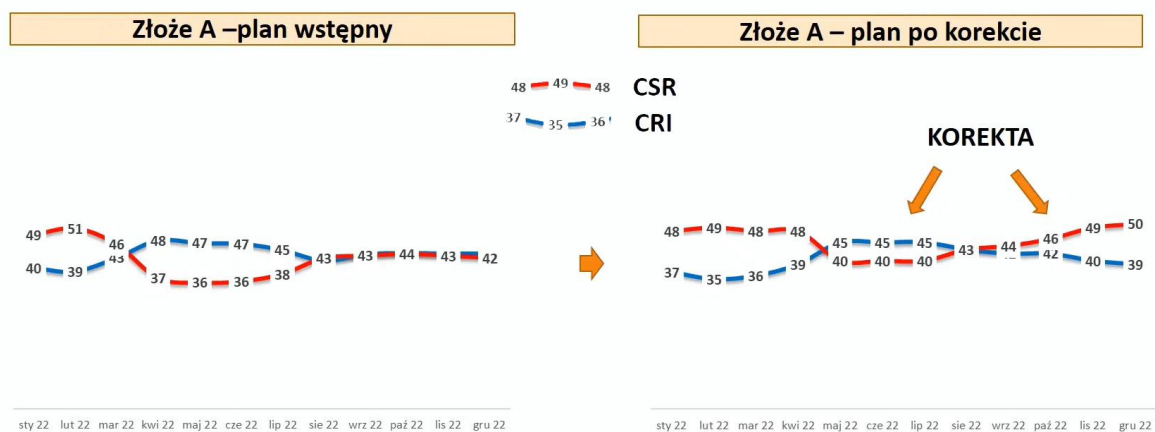


Rys. 4.19. Poprawa i stabilizacja wskaźników CRI i CSR [%] węgla złożowego w latach 2016÷2030 w wybranej kopalni JSW S.A. Lata 2016-2021 – wykonanie oszacowane na podstawie harmonogramów biegu ścian, lata 2021-2030 – prognoza wykonana w oparciu o model złoża

Cyfryzacja danych geologicznych usprawniła pracę geologów, w zakresie przetwarzania danych geologicznych, zarówno tych opisujących strukturę jak i jakość złoża. Zmiany jakości

złoża, ich bieżące trendy i prognozy długoterminowe analizowane są regularnie przez kopalniane zespoły ds. prognozowania jakości węgla pokładowego. Modele złóż i wykonane na ich podstawie symulacje eksploatacji w aspekcie jakości węgla stanowią obecnie istotne źródło danych zarządczych.

W planowaniu krótkoterminowym, gdy część ścian jest w trakcie eksploatacji, a dla kolejnych wyrobiska przygotowawcze są już wykonane, możliwości sterowania jakością mogą być ograniczone [Burczyk, 2021]. Stałe monitorowanie produkcji pozwala jednak w wielu przypadkach na szybką i zgodną ze sztuką górniczą reakcję również w takich przypadkach (rys. 4.20) i ustabilizowanie jakości na oczekiwanym poziomie.



Rys. 4.20. Przykład korekty krótkoterminowego harmonogramu eksploatacji pod kątem jakości produktu [Burczyk, 2021]

Projektowany do wdrożenia system informatyczny miał na celu przede wszystkim usprawnienie i uelastycznienie procesów planistycznych Spółki w obszarze wydobywania węgla, stabilizację parametrów jakościowych urobku oraz dostosowanie produkcji do zmieniającej się sytuacji rynkowej.

#### 4.11. Efekty wdrożenia systemu do modelowania parametrów jakościowych węgla i planowanie eksploatacji pod kątem jakości produktu w JSW S.A.

Czynnikami uruchamiającymi proces wdrożenia omawianego systemu były zmieniająca się koniunktura na rynku węgla koksowego oraz konieczność zwiększenia efektywności produkcji. W wyniku podjętych działań wypracowano dwa kluczowe dokumenty, kształtujące ten obszar w JSW S.A.: „Strategię jakości produktu” oraz „Politykę zarządzania jakością złoża i produktu”. W drugim dokumencie określono m. in. projekty strategiczne w obszarze zarządzania jakością. Projekty strategiczne zostały następnie zdefiniowane w sferze technologicznej i znalazły się w **dokumentacji dotyczącej rozwiązań technologicznych całego JSW S.A.** – stanowiły one bowiem jednocześnie część ogólnej strategii informatycznej JSW S.A. Opracowanie tych trzech dokumentów wynikało z potrzeby ograniczenia ryzyka dla wyzwań biznesowych, które realizuje spółka, a z drugiej strony by maksymalizować szanse dalszego rozwoju spółki. W tym celu, między innymi, wyróżniono dwa obszary kluczowe: **zarządzanie operacyjne** oraz **planowanie i harmonogramowanie**. W ramach drugiego obszaru kluczowego znalazły się projekty utworzenia cyfrowego modelu złoża oraz

zintegrowanego na poziomie spółki, nowoczesnego harmonogramowania produkcji na bazie trójwymiarowego modelu złoża.

Realizacja wdrożeń informatycznych jest procesem złożonym i wielokrotnie analizowanym w ramach badań naukowych. Najpowszechniejszym modelem wdrożenia oprogramowania w dużych przedsiębiorstwach jest model kaskadowy, który został zdefiniowany przez Royce [Royce, 1970]. Model ten następnie został zmodyfikowany i rozbudowany do zastosowań w przedsiębiorstwach o dużej skali działania [Petersen, 2009]. Praktycznie wszystkie wdrożenia w górnictwie polskim zrealizowano w oparciu o model kaskadowy. Należy podkreślić, że wiele z nich się nie powiodło albo wdrożenia te ukończono, przekraczając termin i zwiększając koszty ich realizacji. Już w latach 90 ubiegłego wieku analizy wdrożeń oprogramowania, doprowadziły do rozpoznania problemu w postaci czynników „the factors that distinguish successes and failures ...” [Herbaleb, 1994] czyli czynniki odróżniające sukces od porażki. Czynniki tego typu stały się z biegiem czasu narzędziem do oceny samego wdrożenia oprogramowywania. W trakcie wdrożenia oprogramowania mogą więc wystąpić takie czynniki, które utrudniają jego przeprowadzanie. Wyniki badań naukowych nad wdrażaniem rozwiązań informatycznych w polskim górnictwie [Krawczyk, 2019], wskazały, że istnieje wiele przykładów wystąpienia tzw. barier wdrożeniowych. Poprzez barierę wdrożeniową rozumiemy wystąpienie takich ograniczeń i przeszkód w trakcie realizacji wdrożenia, które powodują częściowe lub całkowite zagrożenie jego wykonania. Dlatego przed wdrożeniem podjęto działania zmierzające do ograniczenia barier zidentyfikowanych w polskim górnictwie, są to bariera: umiejętności, komunikatywności, rezerw, technologiczna, organizacyjna, interoperacyjna i użyteczności oprogramowania [Krawczyk, 2019]. Dlatego jeszcze przed wdrożeniem systemu podjęto szereg działań ograniczających możliwość wystąpienia problemów w trakcie wdrożenia.

Zdefiniowany wymagany zakres funkcjonalny systemu osiągnięto poprzez przeprowadzenie zaawansowanego procesu wyboru komponentów, w ramach którego komponenty te były testowane i oceniane przez pracowników JSW S.A. [Dyczko, 2021]. Pozwoliło to na ograniczenie bariery użyteczności oprogramowania.

Ograniczenie bariery umiejętności zostało zrealizowane dwoma metodami. Pierwsza metoda polegała na wyborze wśród zatrudnionych najlepiej znających poszczególne obszary najbardziej zaangażowanych pracowników oraz podnoszenie ich kwalifikacji poprzez organizowanie dla nich cyklu szkoleń prowadzonych w działach mierniczo-geologicznych wszystkich kopalń JSW S.A. Druga metoda polegała na współdziałaniu w ramach porozumienia z Akademią Górniczo-Hutniczą, dzięki któremu zatrudniono siedemnastu nowych pracowników – młodych geologów górniczych. Przy okazji współpracy pracę w JSW S.A. rozpoczęli wszyscy członkowie koła naukowego zajmującego się w Katedrze Geologii Złożowej i Górniczej krakowskiej AGH geostatystyką i modelowaniem parametrów opisujących jakość węgla kamiennego. Porozumienie to również podniosło poziom dostępnych zasobów dyspozycyjnych dla wdrożenia znacząco ograniczając tym samym możliwość wystąpienia bariery rezerw.

Ograniczenie bariery technologicznej zostało zrealizowane poprzez złożony proces doposażenia kadry w przyrządy pomiarowe służące do pozyskiwania danych do modelowania

złoża oraz nowoczesne systemy informatyczne umożliwiające automatyzację procesów pomiarowych i wizualizację danych. W tym celu uruchomiono projekty wdrożenia „Inteligentnych wag oraz analizatorów neutronowych” pozwalających w sposób ciągły kontrolować ilość i jakość wydobywanego węgla transportowanego przenośnikami do zakładów mechanicznej przeróbki węgla. Analizowano również ograniczenia technologiczne w aspekcie przetwarzania dużych ilości danych [Kosydor, 2020]. Analizy wykazały, że infrastruktura ICT w JSW S.A. wymagała dodatkowych inwestycji ze względu na duże ilości danych gromadzonych w trakcie działania systemu.

Ograniczenie bariery organizacyjnej poległo na utworzeniu zespołu do spraw jakości, którego zadaniem jest analiza danych i podejmowanie strategicznych oraz bieżących decyzji w zakresie prowadzenia eksploatacji górniczych z szerokimi kompetencjami ingerencji w zakresie zatrzymania i wznowienia eksploatacji w dowolnym polu dowolnej kopalni JSW S.A. Dzięki temu wprowadzono jednolity i spójny model planowania robót górniczych i prognozowania jakości, który usprawnił tworzenie krótko i długoterminowych planów produkcyjnych w aspekcie stabilizacji jakości produktu końcowego [Burczyk, 2021].

Aktualnie w dalszym ciągu realizowane są prace związane z optymalizacją oraz automatyzacją działań w systemie do modelowania parametrów jakościowych węgla. Analizując efekty dwuletniej pracy systemu na obecnym etapie wyróżnić można następujące osiągnięcia i zmiany:

- przygotowano i wdrożono procedury związane z zarządzaniem jakością produktu w JSW S.A.,
- zbudowano i uporządkowano bazy danych geologicznych sześciu kopalń,
- wdrożono narzędzia informatyczne do harmonogramowania i modelowania złóż,
- wykonano modele geologiczne dla strategicznych złóż, partii zasobowych i poziomów wydobywczych wszystkich kopalń JSW S.A.,
- stworzono harmonogramy strategiczne produkcji powiązane z modelami złóż,
- stworzono centralny model harmonogramowania strategicznego umożliwiający scalenie harmonogramów kopalnianych na poziomie Biura Zarządu JSW S.A.,
- stworzono podstawy do budowy centralnej bazy danych agregującej modele złóż i harmonogramy produkcji na poziomie Biura Zarządu JSW S.A. z wykorzystaniem bazy danych przestrzennych [Krawczyk, 2018].

Dzięki wdrożonemu systemowi pracownicy kopalń JSW S.A. mogą tworzyć warianty eksploatacji, które analizowane są w dowolnym przedziale czasowym, dzięki możliwości wyboru dowolnego kalendarza robót. Może to być np. kalendarz miesięczny z podziałem na dni, roczny z podziałem na miesiące, ale również kalendarz dzienny, pięcioletni, dwudziestoletni, a nawet aż do wyczerpania zasobów kopalni. Dzięki stałej aktualizacji informacji w bazie danych i możliwości szybkiego ich wykorzystania oraz modyfikacji, proces projektowy (zarówno w przypadku robót udostępniających, przygotowawczych jak i eksploatacyjnych) jest usprawniony i przyspieszony wielokrotnie w porównaniu z metodami tradycyjnymi, co umożliwia:

- planowanie (krótko- i długoterminowe) eksploatacji oraz projektowanie techniczne,
- projektowanie robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych,
- wykonanie harmonogramu projektowanych robót.

Zbudowany cyfrowy model jakości złoża pozwala na automatyczne obliczanie ilości i jakości urobku oraz skały płonnej w wybranych przedziałach czasowych, a po zakończeniu symulacji automatycznie wygenerowana zostaje prognoza dla wszystkich parametrów dotyczących wykonanego projektu wydobywania, takich jak: ilość urobku, ilość skały płonnej, parametry jakościowe itp.

Wdrożenie i integracja procesów badań jakościowych, cyfrowe rozpoznanie węgla złożowego i jego parametrów oraz oparte o tę informację, pozwoliło na wprowadzenie proaktywnego sterowania produkcją i uzyskanie podniesionych, stabilnych parametrów węgla handlowego. Dzięki wdrożeniu i integracji systemów w obszarze zarządzania jakością, możliwe jest obecnie:

- modelowanie zarządzania i prognozowania produkcji oraz jej kluczowych parametrów, w celu uzyskania stabilnego poziomu jakości produkcji dla odbiorców węgla koksującego oraz producentów koksu;
- planowanie i zarządzanie pracami przygotowawczymi oraz wydobywaniem, aby uzyskiwać oraz utrzymywać wymagane poziomy parametrów fizykochemicznych produktu;
- realizacja selektywnego wydobywania poprzez sterowanie ilością oraz jakością urobku – wprowadzenie sterowania urobkiem o zróżnicowanych parametrach oraz procesu selektywnego wzbogacania;
- rozdzielenie strug produktu pod kątem jego jakości, na bazie ustalonych kluczowych parametrów jakościowych oraz zapotrzebowania rynku, w celu maksymalizacji cen zbytu – w roku 2020 uzyskano podwyżki cen węgla dostarczanych dla strategicznych dostawców, dzięki utrzymaniu stabilnego poziomu parametrów koksowniczych produkowanego węgla koksowniczego;
- wyeliminowanie zakupów węgla niskofosforowego spoza GK JSW.

Efekty wdrożenia, uzyskane dzięki informatyzacji i automatyzacji procesów zarządzania jakością złoża i produktu, doprowadziły do stabilizacji kluczowych parametrów kontraktowych oraz umożliwiły wzrost uzyskiwanych cen na styku z kluczowymi klientami. Digitalizacja oraz automatyzacja zbierania danych jakościowych w pełnym cyklu produkcyjnym umożliwiła również bieżące monitorowanie i zarządzanie procesami reklamacyjnymi w celu minimalizacji ich wpływu finansowego.

Po wdrożeniu systemu do modelowania złoża oraz planowania i harmonogramowania produkcji dokonano szacunku możliwych korzyści finansowych będących zwrotem z wykonanych do tej pory inwestycji i działań projektowych oraz działań operacyjnych realizowanych przez Biuro Jakości spółki, wykonane przez Autora niniejszego rozdziału na podstawie hipotetycznych wynegocjowanych zmian cen w realizacji kontraktu z kluczowym odbiorcą, mogą sięgnąć nawet kilkunastu milionów euro. Szacunek został wykonany na podstawie wyników analiz rynku międzynarodowego, przeprowadzonych przez globalCOAL (globalCOAL, 2021), zawierających dane dotyczące bieżących i przewidywanych cen węgla, czynników rynkowych oraz trendów energetycznych.

## 5. Telekomunikacja mobilna w podziemnych kopalniach węgla

*Kazimierz Miśkiewicz, Antoni Wojaczek*

### 5.1. Uwagi ogólne

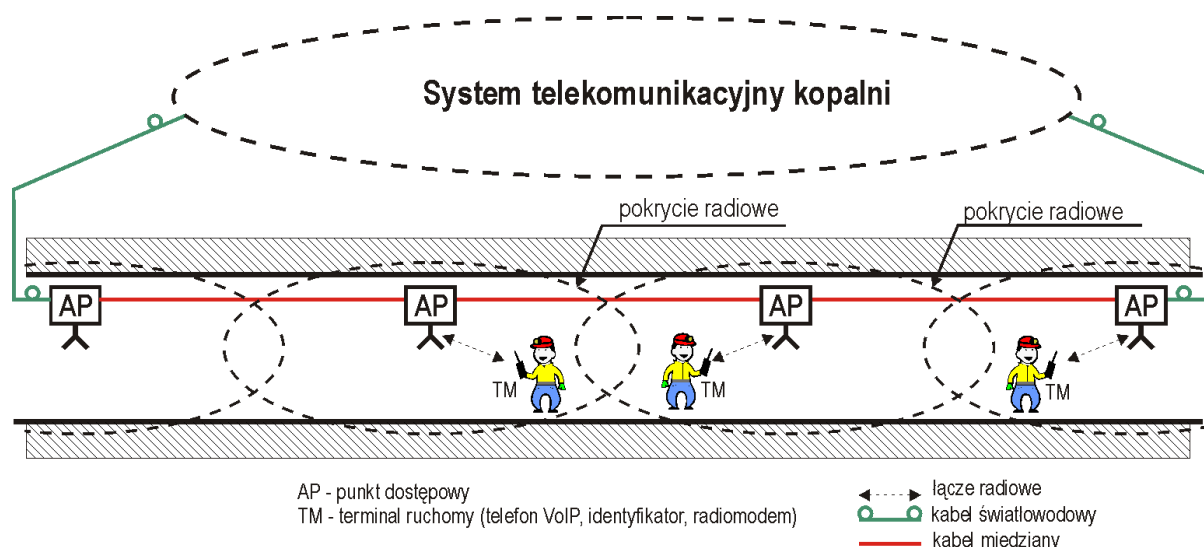
Rozdział ten wykorzystuje częściowo materiał zawarty w monografii Autorów Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Radiokomunikacja w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2020 [Miśkiewicz, 2020].

Przez telekomunikację mobilną należy rozumieć możliwość realizacji łączności głosowej a także transmisji danych z ruchomymi stanowiskami pracy. Do takich stanowisk zaliczają się powszechnie stosowane w kopalniach podziemnych maszyny ruchome (elektrowozy, kolejki spągowe, kolejki podwieszane, maszyny samojezdne). Telekomunikację mobilną wykorzystują również osoby, które nie mają stałych stanowisk pracy (np. osoby dozoru), wykonujące roboty na drogach odstawy kołowej i transportu materiałów. Ten rodzaj telekomunikacji jest również powszechnie stosowany we wszystkich szybach klatkowych i skipowych.

W podziemnych kopalniach istnieją praktycznie następujące możliwości realizacji telekomunikacji mobilnej:

- zastosowanie infrastruktury zawierającej węzły dostępowe (punkty dostępowe) AP połączone kablami światłowodowymi (czasami miedzianymi),
- zastosowanie infrastruktury zawierającej węzły dostępowe (punkty dostępowe) AP połączone łączami radiowymi,
- zastosowanie infrastruktury zbudowanej z przewodów promieniujących lub wykorzystujących istniejącą infrastrukturę szybową (liny nośne i wyrównawcze maszyn wyciągowych).

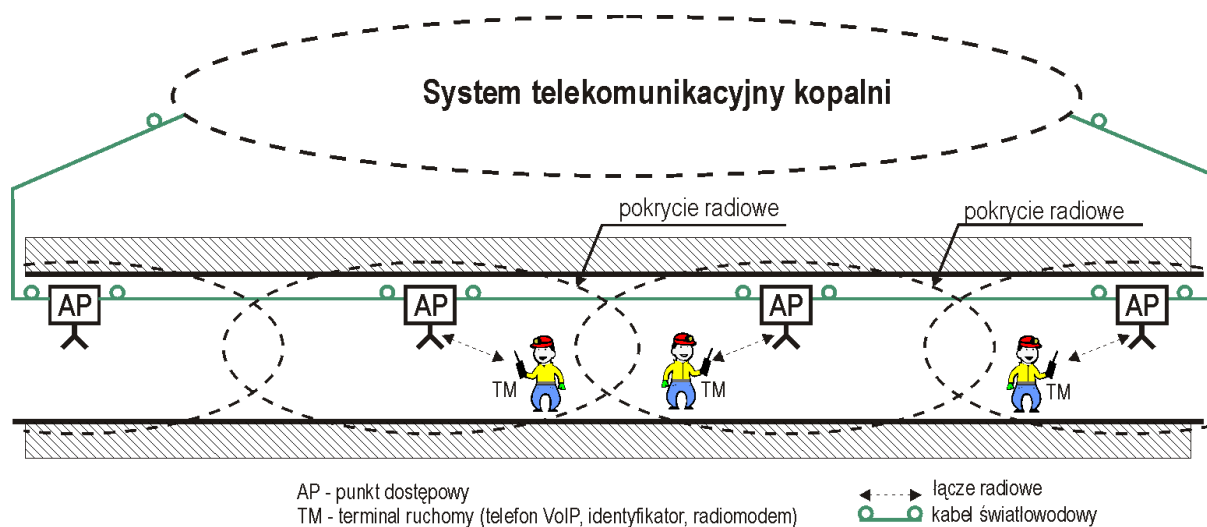
Węzły dostępowe powinny być rozmieszczone tak, żeby ich obszary pokrycia zachodziły na siebie. Na rysunku 5.1 pokazano sieć węzłów dostępowych rozmieszczonych w wyrobisku, połączonych pomiędzy sobą kablem miedzianym i włączonych do kopalnianej sieci telekomunikacyjnej. Każdy terminal ruchomy TM może za pośrednictwem węzła dostępowego (zazwyczaj najbliższego) zrealizować komunikację (głosową, transmisję danych) z innym terminalem ruchomym lub innym urządzeniem w sieci telekomunikacyjnej kopalni (telefonem, serwerem). Węzły dostępowe mogą też mierzyć parametry sygnału odebranego z terminali ruchomych i umożliwić lokalizację strefową lub dokładną terminali.



Rys. 5.1. Przewodowa sieć dostępową z kablami miedzianymi

W łączu radiowym są stosowane protokoły Wi-Fi (wg rodziny standardów 802.11) w pasmie 2,4 GHz [Gast 2003], ZigBee w pasmie 2,4 GHz (wg standardu 802.15.4), DECT w pasmie 1880 – 1900 MHz wg standardu (ETSI EN 300 175), a niekiedy protokoły firmowe w pasmie ISM 868 MHz. W kablach łączących poszczególne węzły dostępowe stosuje się protokoły Ethernet (wg standardu 802.3) o przepływności 10 Mb/s, 100 Mb/s, a czasami protokoły oparte na standardzie RS485. W przypadku protokołu Ethernet istotne jest ograniczenie długości kabla miedzianego (katalogowo do 100 m). W przypadku standardu RS485 ograniczenie katalogowe do 1200 m jest nieistotne, bo jest większe od zasięgu transmisji radiowej (w przypadku propagacji swobodnej) w wyrobisku.

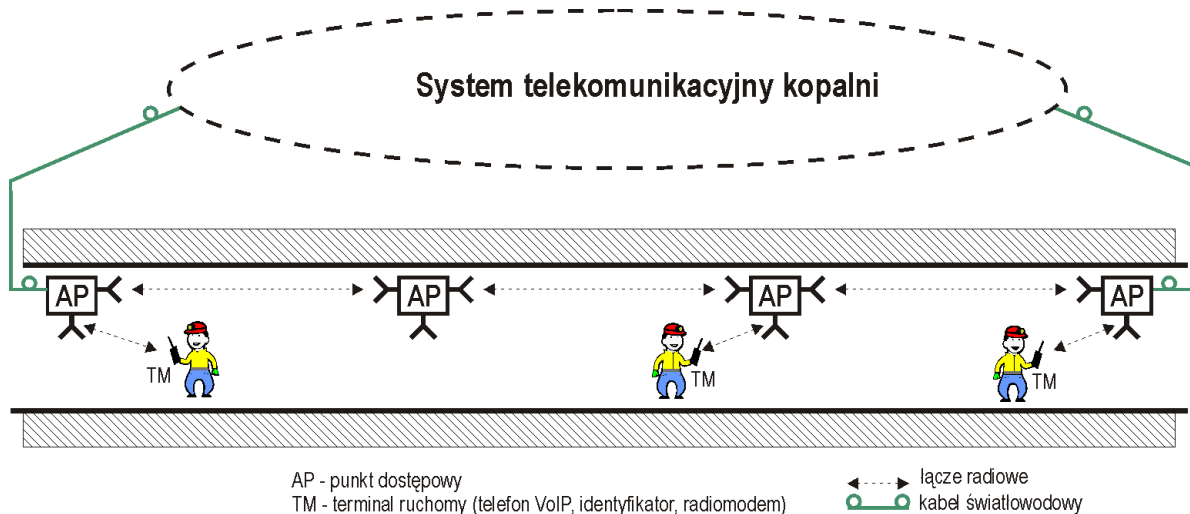
Na rysunku 5.2 pokazano sieć węzłów dostępowych rozmieszczonych w wyrobisku, połączonych pomiędzy sobą kablem światłowodowym i włączonych do kopalnianej sieci telekomunikacyjnej. W przypadku kabli światłowodowych ich maksymalna długość (pomiędzy punktami dostępowymi AP) może mieć wartość kilkaset metrów i wynika tylko z zasięgu transmisji radiowej w wyrobisku.



Rys. 5.2. Przewodowa sieć dostępową z kablami światłowodowymi



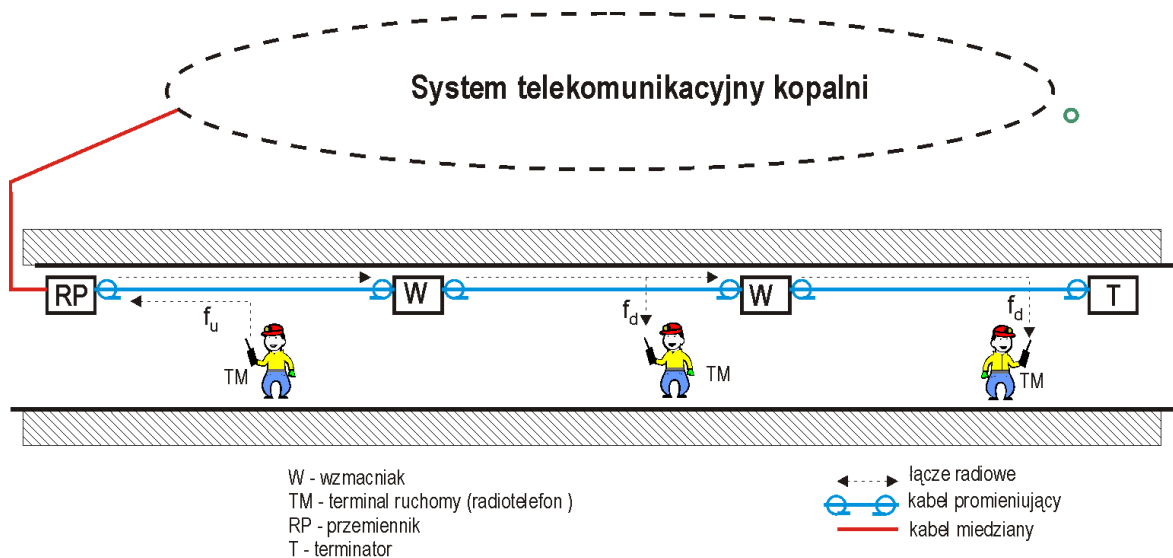
Na rysunku 5.3 pokazano sieć dostępową, w której węzły są połączone między sobą łączami radiowymi.



Rys. 5.3. Przewodowa sieć dostępową z łączami radiowymi

Należy zaznaczyć, że wszystkie punkty dostępowe AP w przewodowych sieciach dostępowych przedstawionych na rysunkach 5.2 oraz 5.3 wymagają zasilania gwarantowanego (sieciowego i akumulatorowego), co w warunkach dołowych stanowi istotny problem. W kopalniach metanowych dochodzi dodatkowo wymóg iskrobezpieczeństwa tego zasilania, z uwagi na fakt, że łączność foniczna jest szczególnie potrzebna w przypadku wyłączenia zasilania sieciowego przez system gazometryczny.

Przewód promieniujący jest przewodem koncentrycznym z „nieszczelną” żyłą zewnętrzną dzięki czemu jest pewnego rodzaju „antena” zapewniającą pokrycie radiowe w wyrobiskach, w których jest zainstalowany, a także w bliskim sąsiedztwie. Na rysunku 5.4 pokazano infrastrukturę dla radiokomunikacji mobilnej z wykorzystaniem przewodu promieniującego. Sygnał nadawany przez terminal mobilny na częstotliwości  $f_u$  jest transmitowany przewodem promieniującym do przemiennika RP. Tam zmienia się jego częstotliwość i jako sygnał o częstotliwości  $f_d$  jest wprowadzany do przewodu promieniującego i może być odbierany przez wszystkie terminale mobilne z ustawioną częstotliwością odbiornika  $f_d$ .

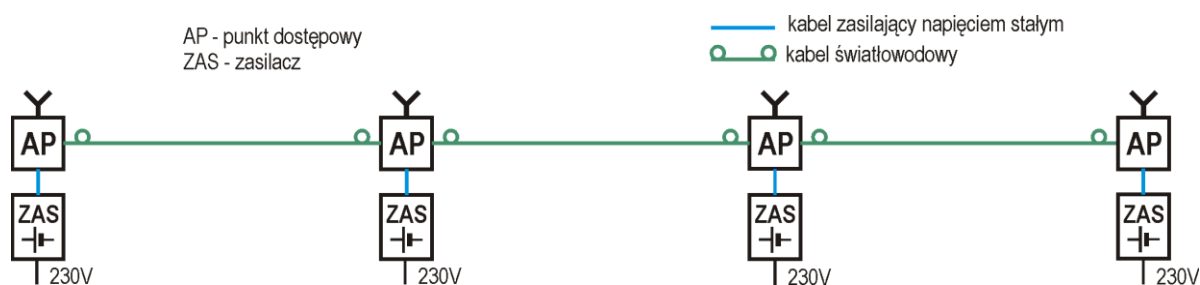


Rys. 5.4. Infrastruktura telekomunikacyjna z przewodem promieniującym

Ze względu na tłumienie sygnału radiowego w przewodzie promieniującym w odstępach 300÷500 m instaluje się wzmacniaki wzmacniające sygnał radiowy w obu kierunkach, a na końcu przewodu promieniującego instaluje się terminator, który jest impedancją równą impedancji falowej przewodu promieniującego.

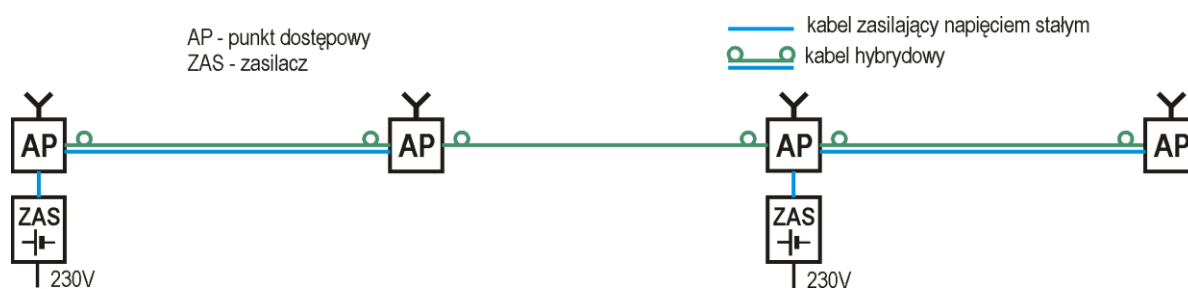
Jak już wspomniano bardzo ważnym zagadnieniem dla sieci punktów dostępowych jest ich sposób zasilania oraz realizacja podtrzymania bateryjnego dla zapewnienia funkcjonowania systemu radiokomunikacji w przypadku planowego i nieplanowego wyłączenia zasilania z sieci elektroenergetycznej kopalni. Informacja o braku napięcia sieciowego i pracy bateryjnej powinna być przesłana do administratora systemu radiokomunikacyjnego, wywołując alarm.

Na rysunku 5.5 pokazano sieć punktów dostępowych z zasilaniem indywidualnym. Każdy punkt dostępowy AP ma swój odrębny zasilacz. Podtrzymanie bateryjne może być w zasilaczu lub w punkcie dostępowym. Problemem może być doprowadzenie napięcia sieciowego 230 V do każdego zasilacza, co niekiedy będzie wymagać instalacji zespołu transformatorowego (urządzenie zawierające transformator 500/230 V lub 1000/230 V).

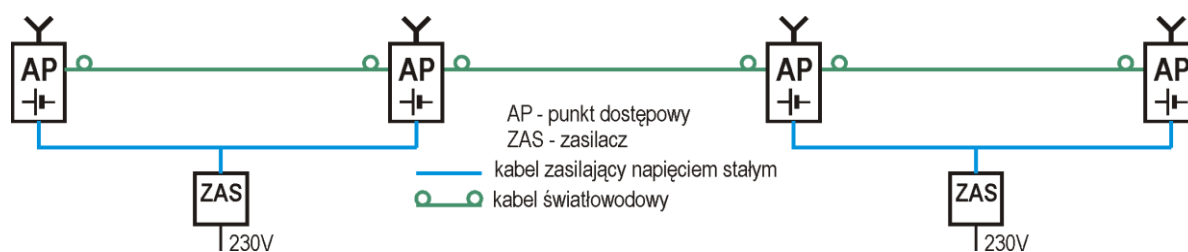


Rys. 5.5. Sieć punktów dostępowych z zasilaniem indywidualnym

Dla zmniejszenia liczby zasilaczy stosuje się grupowe zasilanie punktów dostępowych (jeden zasilacz dla kilku punktów AP). W przypadku połączenia punktów dostępowych AP włóknami światłowodowymi można wykorzystać kable hybrydowe (zwane też kompozytowymi), zawierające zarówno włókna światłowodowe dla transmisji, jak i żyły miedziane dla zasilania (rys. 5.6) lub też zewnętrzne kable zasilające prądu stałego (rys. 5.7).

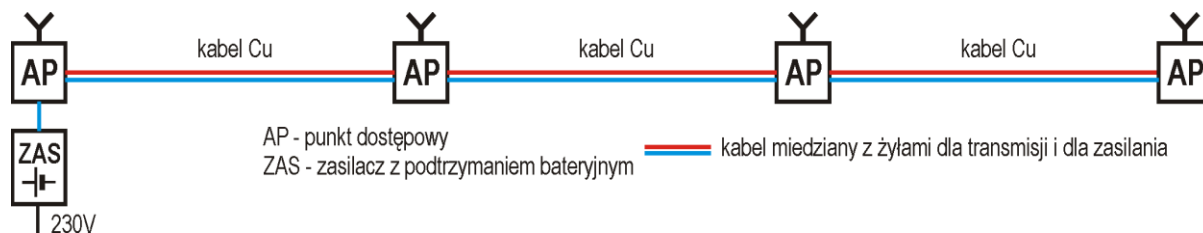


Rys. 5.6. Sieć punktów dostępowych z zasilaniem grupowym kablem hybrydowym



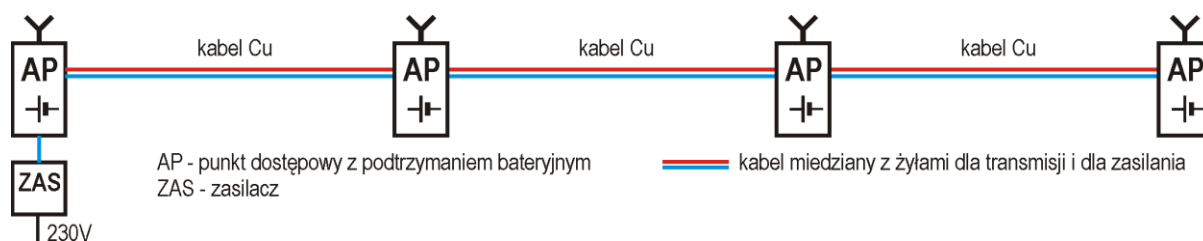
Rys. 5.7. Sieć punktów dostępowych z zasilaniem grupowym kablem zewnętrznym

W przypadku sieci kablowej miedzianej żyły kabla można wykorzystać zarówno do transmisji danych, jak i do zasilania. W sieciach Ethernet stosowane jest rozwiązanie zwane PoE. Na rysunku 5.8 pokazano przykład zasilania grupowego kablem miedzianym.



Rys. 5.8. Sieć punktów dostępowych z zasilaniem grupowym kablem miedzianym i podtrzymaniem bateryjnym w zasilaczu

W przypadku zasilania grupowego podtrzymanie bateryjne może być zastosowane w zasilaczu (rys. 5.8) lub w węzłach dostępowych (podtrzymanie bateryjne rozproszone), co pokazano na rysunku 5.9.



Rys. 5.9. Sieć węzłów dostępowych z zasilaniem grupowym kablem miedzianym i podtrzymaniem bateryjnym rozproszonym

Należy zwrócić uwagę, że wszystkie elementy sieci dostępowej muszą być przystosowane do pracy w środowisku kopalń podziemnych, to znaczy mieć odpowiedni stopień ochrony obudowy (min. IP54), a w przypadku kopalń metanowych powinny być budowy przeciwwybuchowej.

Przykładami systemów z węzłami dostępowymi są następujące rozwiązania [Miśkiewicz, 2020]:

- System ImPact firmy MineSite wykorzystujący protokół 802.11. W systemie oferowanym przez firmę HASO zastosowano punkty dostępowe NS40A, HAP-4, repeater HAP-1/RP oraz mobilne terminale (telefony VoiP MP70).
- System firmy ATUT wykorzystujący protokół 802.11. W systemie zastosowano punkty dostępowe realizujące połączenia światłowodowe, jak i radiowe.
- System RWCS opracowany przez firmę SEVITEL dla komorowo filarowego systemu eksploatacji złóż miedzi. System zawiera punkty dostępowe zasilane bateryjnie (z czasem autonomicznego podtrzymania 1 miesiąc) tworzące sieć typu mesh, wykorzystujące protokół firmowy w pasmie częstotliwości 868 MHz.

## 5.2. Budowa i właściwości przewodu promieniującego

Przewód promieniujący jest przewodem koncentrycznym specjalnej konstrukcji, w którym występują dwa mody propagacji fali elektromagnetycznej [Martin, 1975]:

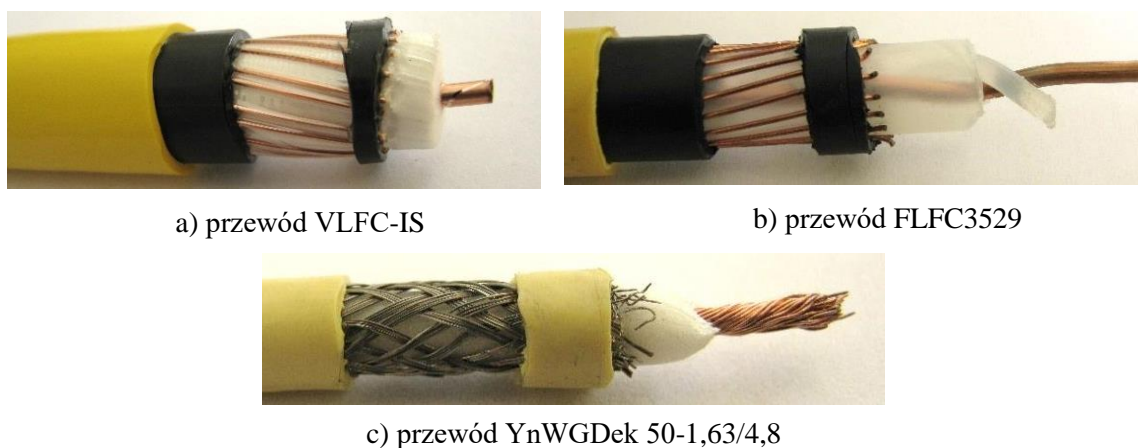
- **mod współosiowy** (*ang. Coaxial mode*), związany z falą elektromagnetyczną pomiędzy żyłą wewnętrzną i zewnętrzną przewodu koncentrycznego,

- **mod jednożyłowy** (*ang. Single-wire mode*), (asymetryczny, zewnętrzny), związany z falą elektromagnetyczną pomiędzy żyłą zewnętrzną przewodu koncentrycznego a otaczającym górotworem.

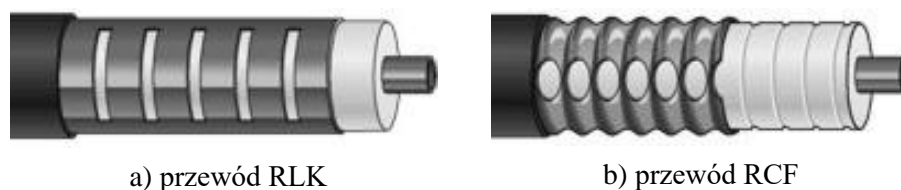
W przewodzie promieniującym występuje wzajemna konwersja między obydwoma modami, co umożliwia uzyskanie pokrycia radiowego w wyrobiskach z zainstalowanym przewodem promieniującym.

Przewód promieniujący zawiera następujące elementy konstrukcyjne:

- żyłę wewnętrzną, miedzianą, wykonaną najczęściej w postaci drutu, rurki, ewentualnie linki (szczególnie dla przewodu giętkiego – rys. 5.10 c),
- izolację z tworzywa sztucznego litego, spienionego (rys. 5.10 a) lub izolację powietrzno-dielektryczną (np. rurę z tworzywa sztucznego przylegającą do żyły zewnętrznej, uzupełnioną spiralnym elementem utrzymującym żyłę wewnętrzną w środku rury – rys. 5.10 b),
- żyłę zewnętrzną w postaci opłotu z drutów o odpowiednio małej gęstości optycznej (rys. 5.10) lub obwój z taśmy z odpowiednimi perforacjami (np. rys. 5.11 a); niekiedy żyła zewnętrzna z taśmy miedzianej jest falowana dla zwiększenia giętkości kabla (rys. 5.11 b),
- powłokę z tworzywa sztucznego (np. czarnego polietylenu) stanowiącą ochronę przed wilgocią ośrodka kabla promieniującego,
- zewnętrzną osłonę ochronną (np. żółty polichlorek winylu o grubości około 1,2 mm), zapewniającą trudnopalność kabla promieniującego.



Rys. 5.10. Przewody promieniujące z opłotem z drutów o małej gęstości



Rys. 5.11. Przewody promieniujące ze szczelinami produkcji RFS (Radio Frequency Systems) [RFS]

Niekiedy powłoka i osłona ochronna stanowią jedną zintegrowaną warstwę. Właściwości przewodu promieniującego są opisywane dwoma rodzajami parametrów:

- parametry transmisyjne (impedancja falowa  $Z_f$ , tłumienność falowa jednostkowa  $\alpha$ ),
- parametry sprzężeniowe (tłumienność sprzężeniowa  $\alpha_c$ ).

Definicje parametrów transmisyjnych przewodów promieniujących są przedstawiane w wielu publikacjach [Miśkiewicz, 2010; Miśkiewicz, 2018] i nie będą tu omawiane.

### 5.3. Przykłady przewodów promieniujących

W tabeli 5.1 pokazano parametry elektryczne przewodów promieniujących stosowanych w polskim górnictwie (systemy FLEXCOM, MCA 1000, SmartCom). Przewody promieniujące dla różnorodnych zastosowań (np. do budowy infrastruktury dla systemów trankingowych, telefonii komórkowej, a także sieci bezprzewodowych wg standardu IEEE 801.11 wykonywanych w tunelach, garażach podziemnych, wnętrzach budynków itp.) są produkowane przez wielu producentów, np.: ANDREW, RFS, NK CABLES, Kabelwerk Eupen AG.

#### Wybrane parametry przewodów promieniujących z zewnętrznym przewodem w postaci oplotu

Tabela 5.1.

Parametr	FLFC3529 (FLEXCOM)	VLFC-IS (MCA 1000)	RNG-500 (SmartCom)
Średnica żyły wewnętrznej	2,3 mm	2,3 mm	2,3 mm
Izolacja	polietylenowo-powietrzna	polietylen spieniony	polietylen spieniony
Budowa żyły zewnętrznej	16 drutów średnicy 0,6 mm		
Średnica zewnętrzna	15,5 mm	15,5 mm	15,5 mm
Rezystancja jednostkowa żyły wewnętrznej	4,23 $\Omega$ /km	< 4,5 $\Omega$ /km	4,5 $\Omega$ /km
Rezystancja jednostkowa żyły zewnętrznej	4 $\Omega$ /km	< 4,1 $\Omega$ /km	4,2 $\Omega$ /km
Tłumienność jednostkowa falowa dla $f=160$ MHz**	4,3 dB/100 m*	4,3 dB/100 m	4,3 dB/100 m
Impedancja falowa	75 $\Omega$	75 $\pm$ 3 $\Omega$	75 $\pm$ 3 $\Omega$
Indukcyjność jednostkowa	300 nH/m	300 nH/m	300 nH/m
Pojemność jednostkowa	51 pF/m	51,2 pF/m	51 pF/m

Uwagi:

\* firma MRS dla tego typu przewodu promieniującego podaje tłumienność jednostkową dla odcinka fabrykacyjnego o długości 350 m i przy częstotliwości 175 MHz,

\*\* tłumienność jednostkowa podawana jest również dla innych częstotliwości.

### 5.4. Organizacja kanałów radiowych i stosowane pasma częstotliwości

W systemach radiokomunikacyjnych z przewodem promieniującym stosowane są urządzenia **analogowe** (radiotelefony z modulacją częstotliwości), a także systemy **cyfrowe** w pasmach VHF i UHF.

### 5.4.1. Częstotliwości stosowane w systemach z przewodem promieniującym

Zakresy częstotliwości wykorzystywane w tych systemach są zależne od zastosowanego sprzętu (radiotelefonów) oraz ograniczeń formalnych, takich jak tablica przeznaczeń częstotliwości [KTPCz, 2022], czy też konieczność uzyskania pozwolenia radiowego [PTEL, 2022]. W istniejących rozwiązaniach spotyka się wykorzystanie następujących zakresów częstotliwości:

- zakres VHF (systemy dyspozytorskie) – pasmo 150÷159 MHz (w kierunku od stacji bazowej), pasmo 165÷174 MHz (w kierunku do stacji bazowej),
- zakres UHF (systemy trunkingowe) – pasmo 410÷420 MHz (w kierunku do stacji bazowej) pasmo 420÷430 MHz (w kierunku od stacji bazowej),
- systemy telefonii komórkowej – pasmo 890÷915 MHz (kierunek do stacji bazowej), pasmo 935÷960 MHz (kierunek od stacji bazowej).

Przewód promieniujący można również wykorzystać do przesyłania innych sygnałów, takich jak:

- sygnały wideo z kamer w kanałach o szerokości 6 MHz np. w paśmie 20÷120 MHz,
- sygnały szerokopasmowej cyfrowej transmisji danych (Ethernet over Leaky).

W przypadku szerokopasmowej transmisji danych sieć kabla promieniującego jest wówczas podobna do tej realizującej usługi dostępu do Internetu w sieci telewizji kablowej. Standard transmisji danych w sieciach telewizji kablowej zwany jest DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) i jest opisany w zaleceniu J122 opracowanym przez ITU-T [J122]. Znane są rozwiązania systemów radiokomunikacyjnych z przewodem promieniującym wykorzystujące Ethernet over Leaky [Waye, 2007; Varis]. W systemie Ethernet over Leaky firmy Mining Radio Systems używane są dodatkowe pasma:

- 220 ÷ 232 MHz dla 2 strumieni od stacji bazowej (6 MHz, 30 Mbit/s),
- 18÷42 MHz dla 6 strumieni do stacji bazowej (3,2 MHz, 10 Mbit/s).

W przypadku zastosowania przewodu promieniującego do realizacji łączności fonicznej istnieją następujące możliwości organizacji kanału radiowego:

- system **konwencjonalny**, zwany również **dyspozytorskim**<sup>1</sup>, wykorzystujący półdupleks [Wodzyński, 1978],
- system **trunkingowy** [Wesołowski, 2003].

Widmo przewidziane do wykorzystania jest dzielone na kanały częstotliwościowe odrębnie dla kierunku transmisji do stacji bazowej (kierunek w dół) i kierunku transmisji od stacji bazowej (kierunek w górę). Szerokość kanałów jest zależna od odstępu międzykanałowego w zastosowanych radiotelefonach.

W systemie **konwencjonalnym** dla każdej grupy użytkowników przydziela się na stałe jeden z dostępnych kanałów częstotliwościowych. Do obsługi każdego kanału w stacji bazowej instaluje się przemiennik (*ang. repeater*).

---

<sup>1</sup> Słowo dyspozytorski ma charakter umowny, bo tego rodzaju system może być wykorzystany do łączności pomiędzy pewną liczbą radiotelefonów, z których żaden nie jest używany przez dyspozytora.

W systemie **trankingowym** [Hołubowicz, 1996; Wesołowski, 2003] do dyspozycji istnieje pewna liczba kanałów częstotliwościowych, z których jeden jest kanałem sterującym. Liczba kanałów może być mniejsza od liczby grup użytkowników. Przydzielanie kanału dla poszczególnych użytkowników odbywa się dynamicznie, w miarę potrzeb, z wyjątkiem sytuacji, gdy wszystkie kanały są zajęte. W systemach trankingowych można zastosować mechanizm skracania czasu trwania rozmów po to, by ograniczyć sytuację, kiedy system nie może obsłużyć użytkownika z powodu zajętości wszystkich kanałów. Funkcjonowanie systemu trankingowego wymaga zdefiniowania odpowiednich procedur i protokołów transmisyjnych dla potrzeb zarządzania systemem. Można wyróżnić:

- analogowe systemy trankingowe:
  - firmowe z niepublikowanym protokołem; przykładem jest sieć EDACS opracowana w firmie Ericsson,
  - otwarte, co umożliwia produkcję sprzętu realizującego wymagania standardu przez różne firmy; przykładem jest standard MPT 1327 opracowany przez British Radiocommunications Agency,
- cyfrowe systemy trankingowe, takie jak:
  - system TETRA (*TErrestrial TRunked RAdio*),
  - system DMR.

W systemie MPT 1327 w kanale sygnalizacyjnym odbywa się transmisja cyfrowa z modulacją MSK (FFSK), o prędkości 1 200 bodów, przy wykorzystaniu protokołu Dynamic Framelength Slotted ALOHA<sup>1</sup> [Zieliński, 2009]. Stacja bazowa systemu trankingowego wysyła periodycznie komunikaty z przerwą zawierającą pewną liczbę szczelin czasowych. W szczelinach czasowych mogą być transmitowane odpowiedzi stacji (radiotelefonów) ruchomych. W każdej stacji ruchomej numer szczeliny czasowej dla transmisji odpowiedzi jest losowy. Zastosowany protokół umożliwia transmisję danych pomiędzy stacjami ruchomymi i stacją bazową w jednym wspólnym kanale. Opis systemu MPT 1327 można znaleźć w literaturze [Hołubowicz, 1996; Wesołowski, 2003]. System MPT 1327 został zastosowany w KGHM Polska Miedź pod nazwą DOTRA [Miśkiewicz, 2010].

Cyfrowy system **trankingowy TETRA** został opracowany przez ETSI. W Polsce w systemach TETRA wykorzystuje się kanały częstotliwościowe o szerokości 25 kHz w pasmach „w górę” (410÷420 MHz) oraz „w dół” (420÷430 MHz). W każdym kanale częstotliwościowym wykorzystuje się 4 szczeliny czasowe (około 14 ms) dla jednoczesnej transmisji 4 kanałów mowy lub danych z przeplatany kanałem sterującym. Ogólny opis systemu TETRA można znaleźć w literaturze [Wesołowski, 2003].

System **trankingowy DMR** używa kilku kanałów częstotliwościowych o szerokości 12,5 kHz z dwiema szczelinami czasowymi o długości 30 ms [ETSI 102361-4]. Jedna szczelina czasowa wybranego kanału częstotliwościowego pełni funkcję kanału sterującego. Istnieją również firmowe rozwiązania pośrednie pomiędzy systemem konwencjonalnym i trankingowym, zwane pseudotrakingiem, rozszerzonym pseudotrakingiem (opracowanie firmy Hytera [HYTERA XPT]) czy też Capacity plus (opracowanie firmy Motorola [Motorola]).

---

<sup>1</sup> Zmodyfikowany protokół ALOHA o dynamicznie zmienianej długości ramki



### 5.4.2. Usługi głosowe w systemach radiotelefonicznych

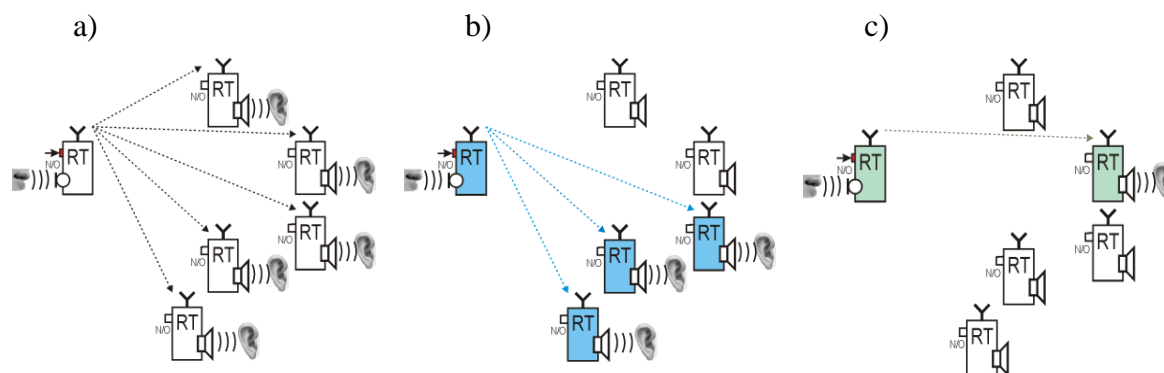
W systemie radiotelefonicznym użytkuje się pewną liczbę radiotelefonów. Taki system umożliwia realizację następujących rodzajów usług głosowych:

- połączenia indywidualne, zwane też prywatnymi,
- połączenia grupowe,
- połączenia rozsiewcze.

Połączenia indywidualne umożliwiają rozmowę między dwoma radiotelefonami. Pozostałe radiotelefony nie słyszą tej rozmowy. Na rysunku 5.12c) pokazano przykład połączenia indywidualnego między radiotelefonami zaznaczonymi kolorem zielonym. Radiotelefony biorące udział w połączeniu zajmują kanał transmisyjny (np. częstotliwościowy), który nie może być wykorzystany przez innych użytkowników.

Połączenia grupowe umożliwiają przeprowadzenie rozmowy w ramach pewnej grupy użytkowników. W konwencjonalnych systemach analogowych poszczególnym grupom przyporządkowuje się kanały częstotliwościowe. Na rysunku 5.12b) pokazano przykład połączenia radiotelefonu z grupą radiotelefonów oznaczonych kolorem niebieskim. Połączenia rozsiewcze umożliwiają połączenie ze wszystkimi użytkownikami, co przedstawiono na rysunku 5.12a).

W systemach cyfrowych, a także w systemach trunkingowych, są możliwe dodatkowe usługi głosowe związane z obsługą kolejek oraz uwzględnieniem priorytetów.



Rys. 5.12. Podstawowe sposoby realizacji usług głosowych w systemach łączności radiotelefonicznej:  
a) rozsiewcze, b) grupowe, c) prywatne (indywidualne)

## 5.5. Systemy analogowe

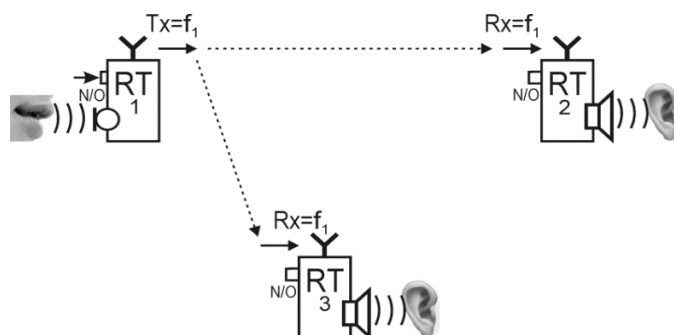
Najprostsza organizacja łączności radiotelefonicznej polega na zastosowaniu jednoczęstotliwościowych radiotelefonów simpleksowych. Pojęcie **simpleks** oznacza, że transmisja między radiotelefonami może odbywać się w obydwu kierunkach, lecz nie jednocześnie, tzn. radiotelefon może pracować jako nadajnik lub jako odbiornik, a transmisja w obu kierunkach następuje w tym samym kanale częstotliwościowym<sup>1</sup> [Kettelring, 2004]. Przełączanie trybu pracy radiotelefonu odbywa się przyciskiem nadawanie/odbiór (N/O), oznaczanym często jako PTT. Przełączanie trybu pracy radiotelefonu (N/O) może się odbywać również sygnałem z mikrofonu (funkcja VOX). Jeżeli poziom sygnału z mikrofonu jest większy

<sup>1</sup> Taka definicja odbiega od podawanej w dokumentach ITU [ITU-R V.662-2], gdzie nie mówi się o używaniu jednego kanału

od ustawionej wartości progowej, to radiotelefon jest przełączany na nadawanie. Dwa lub więcej radiotelefonów wykorzystujących wspólny kanał częstotliwościowy nie może jednocześnie pracować jako nadajniki.

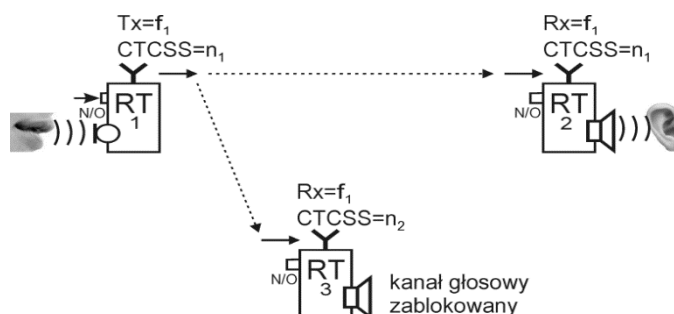
Na rysunku 5.13 pokazano przykład sieci trzech radiotelefonów pracujących w kanale o częstotliwości  $f_1$ . Zarówno nadajnik (Tx), jak i odbiornik (Rx) wykorzystują ten sam kanał częstotliwościowy. Radiotelefon 1 nadaje, a w głośnikach radiotelefonów 2 i 3 słyszą to, co mówi użytkownik do mikrofonu radiotelefonu 1. W ten sposób grupa użytkowników z radiotelefonami ustawionymi na wspólny kanał częstotliwościowy słyszy się wzajemnie.

Tego rodzaju sposób radiokomunikacji z zastosowaniem radiotelefonów analogowych wykorzystuje się między innymi w niechronionym pasmie 446 MHz, w którym wydzielono osiem kanałów w zakresie  $446 \div 446,1$  MHz z odstępem międzykanałowym 12,5 kHz.



Rys. 5.13. Ilustracja pracy radiotelefonów w jednoczęstotliwościowym systemie simplex

W łączności radiotelefonicznej można zastosować specjalne tony o częstotliwości mniejszej od 300 Hz, zwane CTCSS (*Continuous Tone Coded Squelch System*). Istnieje 38 tonów CTCSS w zakresie  $67 \div 250$  Hz. Jeżeli radiotelefon nadający wysyła sygnał głosowy z tonem CTCSS nr  $n_1$ , to sygnał akustyczny głosowy będą emitować tylko radiotelefony z ustawionym tonem CTCSS nr  $n_1$ , a inne radiotelefony, bez ustawionego tonu CTCSS lub z ustawionym innym tonem CTCSS, będą miały zablokowany kanał głosowy. W ten sposób można ograniczyć liczbę radiotelefonów odbierających rozmowę radiotelefoniczną. Na rysunku 5.14 pokazano pracę radiotelefonów z wykorzystaniem tonów CTCSS.

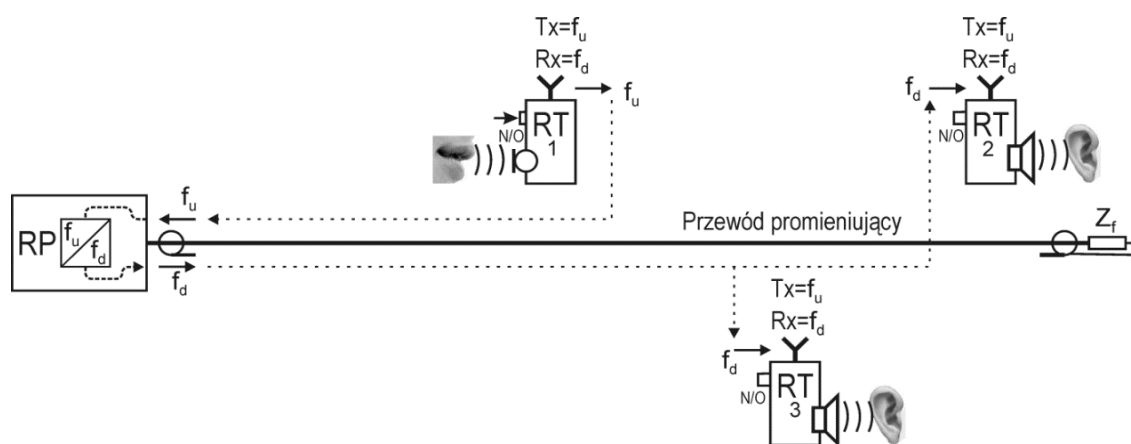


Rys. 5.14. Ilustracja pracy radiotelefonów w jednoczęstotliwościowym systemie simpleks z wykorzystaniem tonów CTCSS

Niekiedy ton CTCSS jest nazywany podkanałem. Jest to nazwa myląca, bo prowadzenie rozmowy z zastosowaniem tonu CTCSS powoduje zajętość kanału częstotliwościowego i inny użytkownik nie może z tego kanału częstotliwościowego skorzystać, ustawiając inny numer tonu CTCSS. System jednoczęstotliwościowy trudno przystosować do współpracy z liniami

zawierającymi przewód promieniujący i urządzenia wzmacniające, które musiałyby wzmacniać sygnał radiowy w obu kierunkach w tym samym kanale częstotliwościowym. Wyjątkiem jest system łączności radiowej dla ratownictwa GABI-98, w którym kierunek wzmacniania jest ustawiany przez radiotelefon bazowy [Miśkiewicz, 2010].

Dla budowy systemów radiokomunikacji o większym zasięgu używa się radiotelefonów przystosowanych do współpracy z przemiennikiem (*ang. repeater*), w których nadajniki i odbiorniki wykorzystują kanały o różnych częstotliwościach, a transmisja w obu kierunkach nie może odbywać się jednocześnie. Taki sposób pracy nazwano **semidupleks (półdupleks)** [Kettelring, 2004]. Nadajnik każdego radiotelefonu wykorzystuje kanał o częstotliwości  $f_u$ , a odbiornik kanał o częstotliwości  $f_d$ . Radiotelefony w układzie półduplex wymagają pary kanałów częstotliwościowych. W systemach półdupleksowych często jako kanał częstotliwościowy traktuje się parę kanałów niezbędnych do transmisji do przemiennika i od przemiennika.



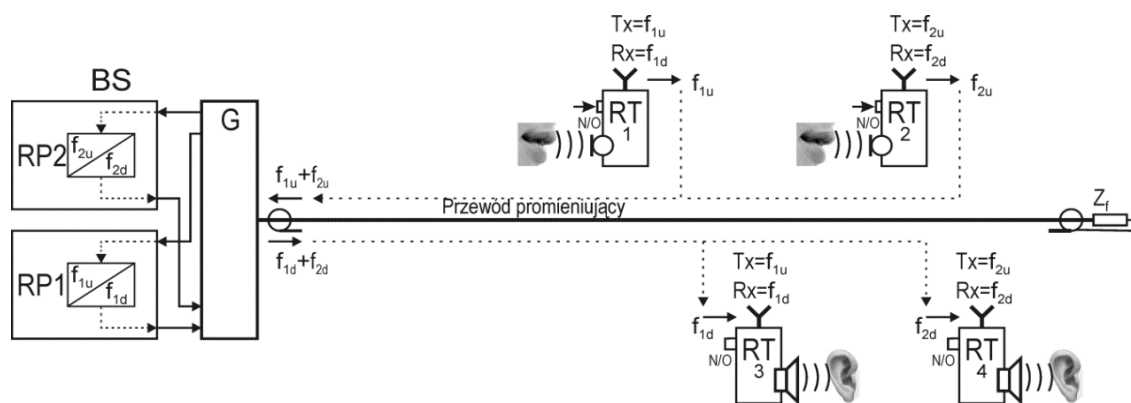
Rys. 5.15. Przykład jednokanałowego półdupleksowego systemu radiokomunikacji z wykorzystaniem przewodu promieniującego

Na rysunku 5.15 pokazano przykład realizacji systemu łączności radiotelefonicznej z zastosowaniem przewodu promieniującego. Naciśnięcie przycisku N/O w radiotelefonie RT1 spowoduje nadawanie sygnału o częstotliwości  $f_u$ . Sygnał ten wnika do przewodu promieniującego i dalej jest transmitowany do przemiennika RP. W przemienniku sygnał z kanału o częstotliwości  $f_u$  jest przekształcany do kanału o częstotliwości  $f_d$  i nadawany do przewodu promieniującego. Sygnał z kanału o częstotliwości  $f_d$  jest emitowany na zewnątrz przewodu promieniującego i jest odbierany przez radiotelefony RT2 oraz RT3.

W przypadku, gdy jeden kanał nie wystarczy do obsługi łączności radiotelefonicznej, należy zastosować większą liczbę przemienników (jeden przemiennik na każdy kanał). Przemienniki montuje się w odpowiednim stojaku. Każdy przemiennik ma wejście Rx dostrojone do odpowiedniej częstotliwości oraz wyjście Tx (nadajnik) obsługujące odpowiedni kanał częstotliwościowy. Wszystkie wejścia i wyjścia są dołączane do przewodu promieniującego za pośrednictwem głowicy. Głowica zapewnia:

- wzajemną separację wyjść poszczególnych przemienników,
- separację kanałów częstotliwościowych nadawczych i odbiorczych przy użyciu filtrów pasmowo-przepustowych.

Na rysunku 5.16 pokazano przykład dwukanałowego półdupleksowego systemu łączności radiotelefonicznej z wykorzystaniem przewodu promieniującego. Radiotelefon RT1 nadaje na częstotliwości  $f_{1u}$ . Sygnał radiotelefonu RT1 jest odbierany przez przemiennik RP1. Na częstotliwości  $f_{1d}$  jest nadawany do przewodu promieniującego i następnie odebrany przez radiotelefon RT3. W podobny sposób odbywa się komunikacja radiotelefonu RT2 z radiotelefonem RT4 za pośrednictwem przemiennika RP2. Przedstawiony system pozwala na obsługę dwóch rozmów jednocześnie przy wykorzystaniu dwóch kanałów częstotliwościowych. Poszczególne kanały częstotliwościowe można przyporządkować dla poszczególnych grup użytkowników w kopalni, np. kanał 1 – dział szybowy, kanał 2 – dział transportu, kanał 3 – dział energomechaniczny.



Rys. 5.16. Przykład dwukanałowego półdupleksowego systemu radiołączności z wykorzystaniem przewodu promieniującego

W systemach z przewodem promieniującym można również wykorzystywać sygnalizację CTCSS na potrzeby selektywnego wywołania.

## 5.6. Systemy cyfrowe

Zostaną omówione skrótowo dwa standardy cyfrowej realizacji usług głosowych, które znalazły zastosowanie w systemach z przewodem promieniującym w górnictwie:

- standard **DMR**,
- standard **TETRA**.

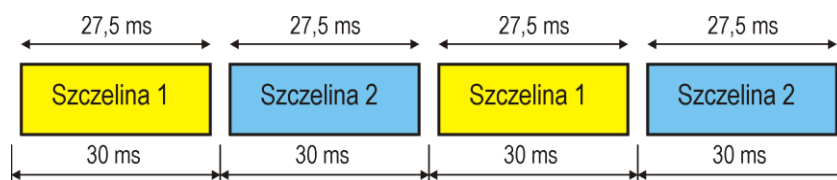
Standard DMR został opracowany przez ETSI w postaci serii norm [ETSI 102361]. Standardy DMR opracowano dla trzech poziomów:

- poziom I, przeznaczony dla simpleksowej cyfrowej łączności radiotelefonicznej w trybie bezpośrednim (bez pośrednictwa infrastruktury) w niechronionym pasmie 446 MHz (446,1÷446,2 MHz) przy użyciu mocy nadajnika radiowego 0,5 W,
- poziom II, przeznaczony dla półdupleksowej dyspozytorskiej cyfrowej łączności radiotelefonicznej z wykorzystaniem przemienników w licencjonowanych pasmach VHF (136÷174 MHz) i UHF (400÷470 MHz),
- poziom III, przeznaczony dla trunkingowej cyfrowej łączności radiotelefonicznej z wykorzystaniem przemienników w licencjonowanych pasmach VHF(136÷174 MHz) i UHF (400÷470 MHz).

Łączność radiotelefoniczna DMR charakteryzuje się następującymi właściwościami:

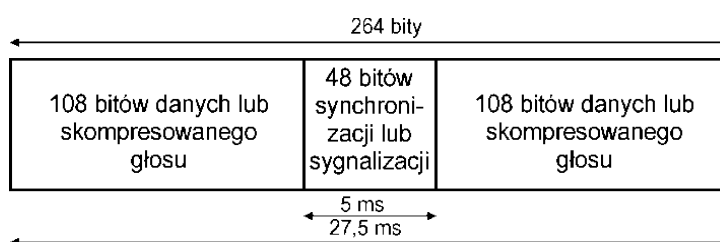
- kanały częstotliwościowe z odstępem międzykanałowym 12,5 kHz,
- w każdym kanale częstotliwościowym utworzono dwie szczeliny czasowe o czasie trwania 30 ms, dzięki czemu jeden kanał częstotliwościowy można wykorzystać do jednoczesnej transmisji dwóch rozmów jednocześnie,
- ramka nadawana w szczelinie czasowej (ang. burst) trwa 27,5 ms i zawiera 216 bitów danych (skompresowanego głosu) oraz 48 bitów dla synchronizacji i wewnętrznej sygnalizacji,
- głos w postaci cyfrowej jest skompresowany kodekiem AMBE+2 do przepływności 9,6 kb/s,
- sygnał cyfrowy jest transmitowany z czterowartościową modulacją fazy 4-PSK.

Na rysunku 5.17 pokazano strukturę czasową szczelin w systemach DMR. Każda szczelina czasowa długości 30 ms zawiera ramkę (*ang. burst*) o długości 27,5 ms. W kanale częstotliwościowym do stacji bazowej między ramkami poszczególnych szczelin jest przerwa ochronna 2,5 ms, natomiast w kanale częstotliwościowym od stacji bazowej między ramkami szczelin czasowych znajduje się kanał administracyjny CACH (*Common Announcement Channel*) długości 2,5 ms.



Rys. 5.17. Struktura czasowa transmisji w systemie DMR

Na rysunku 5.18 pokazano budowę ramki szczeliny czasowej systemu DMR. Ramka zawiera dwa razy po 108 bitów danych lub skompresowanego głosu (kodekiem AMBE+2), a w środku 48 bitów dla celów synchronizacji lub sygnalizacji. Bity sygnalizacji umożliwiają realizację wielu zaawansowanych usług, takich jak pseudotrunking czy różne tryby wywołania.

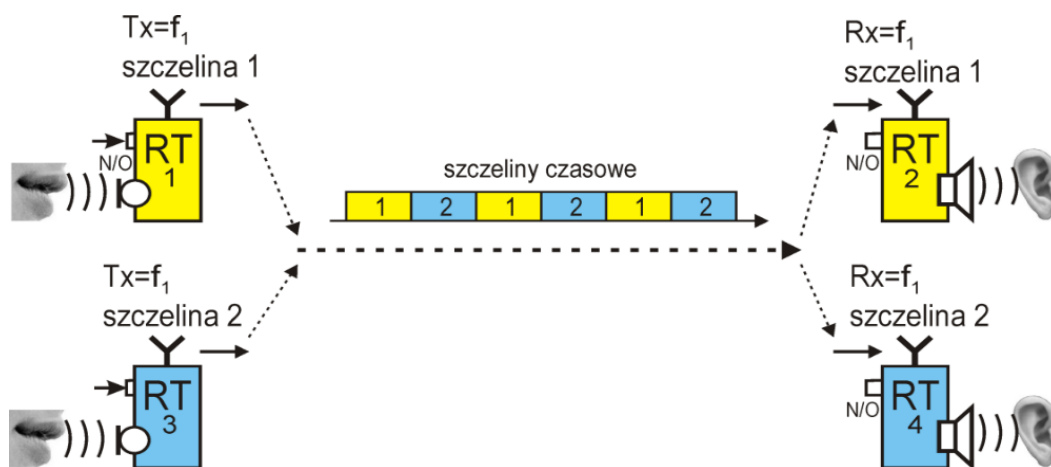


Rys. 5.18. Budowa ramki systemu DMR

System DMR powoduje lepsze wykorzystanie widma w stosunku do systemów analogowych, bo w jednym kanale częstotliwościowym 12,5 kHz mogą być prowadzone jednocześnie dwie niezależne rozmowy. Nadajnik radiotelefonu nie nadaje w sposób ciągły, tylko w czasie trwania przewidzianej dla niego szczeliny czasowej (nie całej, tylko 27,5 ms [ETSI 102361-1]), co odpowiada nadawaniu przez 45% czasu i zapewnia oszczędność pobierania energii z baterii radiotelefonu.

Na rysunku 5.19 pokazano ilustrację prowadzenia dwóch niezależnych rozmów sympleksowych w trybie bezpośrednim. Radiotelefony mają ustawiony wspólny kanał

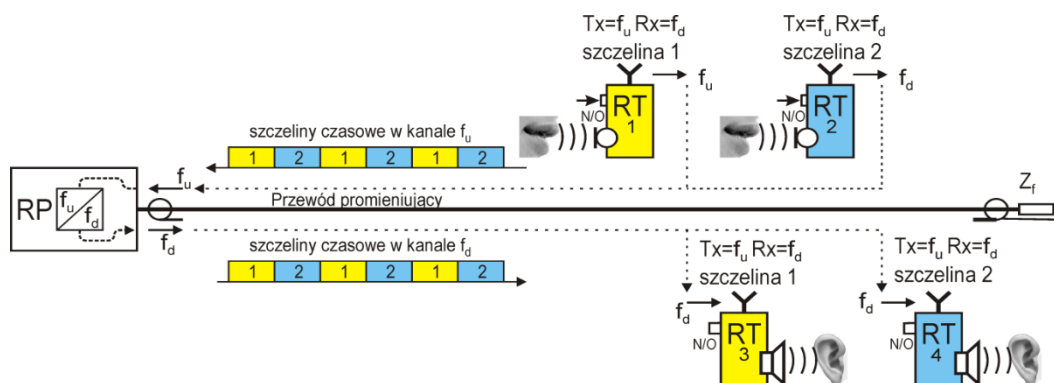
częstotliwościowy dla nadawania i odbioru. Radiotelefon RT1 nadaje w szczelinie czasowej 1, a radiotelefon RT2 odbiera w szczelinie czasowej 1. Radiotelefon RT3 nadaje w szczelinie czasowej 2, a radiotelefon RT4 odbiera w szczelinie czasowej 2.



Rys. 5.19. Ilustracja pracy simpleksowego systemu łączności DMR w trybie bezpośrednim

Praca w trybie bezpośrednim odbywa się bez wykorzystania przewodu promieniującego i stacji bazowej. Zasięg dla tego rodzaju trybu jest uzależniony od zastosowanych częstotliwości oraz warunków propagacyjnych w wyrobiskach górniczych. W przypadku konieczności uzyskania większego zasięgu łączności stosuje się przewód promieniujący oraz stację bazową zawierającą jeden lub kilka przemienników.

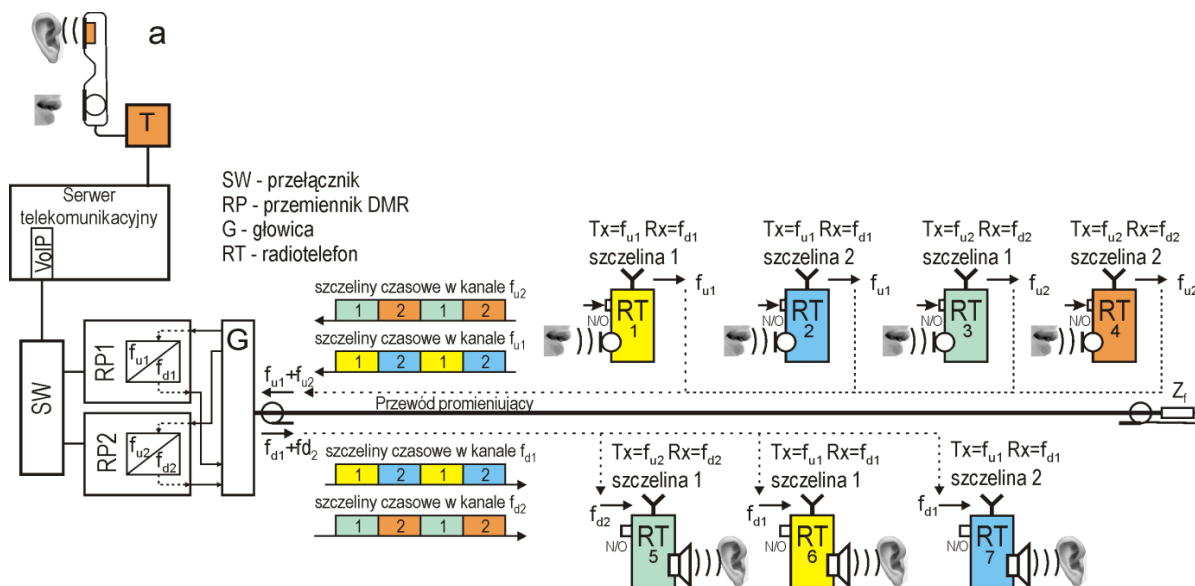
Na rysunku 5.20 pokazano przykład systemu łączności z kablem promieniującym i stacją bazową zawierającą 1 przemiennik. W tego rodzaju systemie mogą być prowadzone dwie rozmowy na wspólnym kanale częstotliwościowym.



Rys. 5.20. Ilustracja pracy systemu łączności z radiotelefonami DMR z przemiennikiem RP i przewodem promieniującym

W sytuacji, gdy dwa kanały są niewystarczające, w stacji bazowej można zainstalować większą liczbę przemienników, z których każdy obsługuje dwie szczeliny czasowe. Przemienniki są przyłączane do przewodu promieniującego za pośrednictwem głowicy. Można je połączyć za pośrednictwem sieci komputerowej Ethernet z kartą VoIP serwera telekomunikacyjnego, uzyskując możliwość połączenia radiotelefonów z abonentami zakładowej sieci telefonicznej. Na rysunku 5.21 pokazano przykład systemu łączności radiotelefonicznej DMR z dwoma przemiennikami i połączeniem z serwerem telekomunikacyjnym

za pośrednictwem sieci komputerowej Ethernet. Na pierwszym kanale częstotliwościowym jest przeprowadzana rozmowa z radiotelefonu RT1 do RT6 (kolor żółty – pierwsza szczelina czasowa) oraz z radiotelefonu RT2 do RT7 (kolor niebieski – druga szczelina czasowa). Na drugim kanale częstotliwościowym jest przeprowadzana rozmowa z radiotelefonu RT3 do RT5 (kolor zielony – pierwsza szczelina czasowa) oraz rozmowa z radiotelefonu RT4 do telefonu T za pośrednictwem łącza VoIP i serwera telekomunikacyjnego (kolor pomarańczowy – druga szczelina czasowa).



Rys. 5.21. Ilustracja pracy systemu łączności DMR z przewodem promieniującym, dwoma przemiennikami RP i połączeniem z serwerem telekomunikacyjnym

Przyporządkowanie poszczególnych kanałów częstotliwościowych i szczelin czasowych w systemie DMR może być przeprowadzone na dwa sposoby:

- statycznie, tzn. każdej grupie rozmównej przyporządkowane są: kanał częstotliwościowy i szczelina czasowa; jest to system konwencjonalny (dyspozytorski); przyporządkowanie odbywa się w trakcie konfigurowania poszczególnych radiotelefonów; ten tryb pracy jest zdefiniowany na poziomie Tier II normy ETSI 102361,
- dynamicznie, tzn. kanał częstotliwościowy i szczelina są przyporządkowane dla przeprowadzenia danej rozmowy; jest to system trunkingowy. Jeden z kanałów (częstotliwość + szczelina) jest tzw. kanałem kontrolnym niewykorzystywanym do transmisji rozmów; kanał kontrolny jest używany do przydzielania kanału częstotliwościowego i szczeliny dla przeprowadzenia rozmowy; ten tryb pracy jest zdefiniowany na poziomie Tier III normy ETSI 102361.

Dla uzyskania systemu trunkingowego niezbędny jest sprzęt (radiotelefony i przemienniki) oraz radiosterownik obsługujący trunking. System trunkingowy pozwala na lepsze wykorzystanie kanałów częstotliwościowych, lecz wymaga bardziej zaawansowanego (i droższego) sprzętu.

Zostały opracowane również firmowe rozwiązania pośrednie. Firma Hytera opracowała:

- pseudotrunking,
- rozszerzony pseudotrunking (XPT).



**Pseudotracking** dotyczy przydzielania wolnej szczeliny czasowej w ramach ustawionego kanału częstotliwościowego. Dany kanał częstotliwościowy można przydzielić kilku grupom użytkowników. Wszystkie radiotelefony ustawione na wspólny kanał częstotliwościowy nasłuchują obu szczelin czasowych. Jeżeli użytkownik dowolnej grupy wciśnie przycisk N/O, to zostanie zajęta pierwsza wolna szczelina czasowa i wszystkie radiotelefony przynależne do wybranej grupy będą odbierały sygnał z radiotelefonu z naciśniętym przyciskiem N/O. Jeżeli w tym samym czasie naciśnie przycisk N/O radiotelefon innej grupy, to dla przeprowadzenia rozmowy zajmie drugą wolną szczelinę. Użytkownik następnej grupy z tego samego kanału częstotliwościowego nie będzie mógł wywołać nikogo ze względu na zajęte obie szczeliny czasowe.

**Rozszerzony pseudotracking XPT** polega na tym, że przemienniki przesyłają informacje dotyczące stanu systemu na każdej częstotliwości i w każdej szczelinie czasowej za pośrednictwem sygnału nawigacyjnego, informując w ten sposób radiotelefony o dostępności poszczególnych kanałów i szczelin czasowych. Radiotelefony mogą się przełączyć na dostępny kanał, aby rozpocząć komunikację. Umożliwia to różnym użytkownikom pochodzącym z poszczególnych grup uzyskanie dostępu do wolnego kanału częstotliwościowego i szczeliny czasowej kanału komunikacyjnego bez przypisania do konkretnego kanału i szczeliny czasowej, jak w przypadku konwencjonalnych rozwiązań DMR Tier II.

W systemie pseudotrackingowym i rozszerzonym pseudotrackingowym nie ma mechanizmu kolejowania i zarządzania priorytetami.

Firma Motorola opracowała kilka wersji pseudotrackingowych, z których w górnictwie stosowany jest system **Capacity Plus** [Motorola]. W systemie tym przemienniki wszystkich kanałów są połączone przez wewnętrzną sieć LAN z radiosterownikiem (komputer z odpowiednim oprogramowaniem). Wszystkie przemienniki stacji bazowej wysyłają w kanale administracyjnym informację o tym, na którym kanale częstotliwościowym i w której szczelinie czasowej znajduje się tzw. kanał spoczynkowy. Nowa rozmowa przez radiotelefon odbywa się na kanale spoczynkowym, natomiast rolę kanału spoczynkowego zaczyna odgrywać inny wolny kanał, chyba że wszystkie kanały są zajęte.

W systemach **trankingowych** jednoczesna liczba połączeń jest większa ze względu na dynamiczny przydział kanału. Jeżeli wszystkie kanały są przydzielone, każde przychodzące żądanie połączenia umieszczone jest w kolejce i jest realizowane, jak tylko zwolnią się kanały zgodnie z kolejnością FIFO (*First in First Out*). Dla poszczególnych połączeń można ustawić priorytety, tak by połączenia z wyższym priorytetem były natychmiast zestawiane. Wykorzystanie zarówno pseudotrackingu, jak i rozszerzonego pseudotrackingu wymaga zastosowania sprzętu (przemienników i radiotelefonów) oraz oprogramowania obsługującego taką funkcjonalność.

## 5.7. Rozległa sieć przewodów promieniujących

Przewód promieniujący ma stosunkowo dużą tłumienność jednostkową w zakresie używanych częstotliwości (np. 4,3 dB/100 m np. dla kabli FLFC3529, VLFC-IS, – tabela 5.1), co ogranicza długość przewodu promieniującego do kilkuset metrów (zazwyczaj 500 m). Dla uzyskania pokrycia radiowego w najważniejszych wyrobiskach kopalń głębinowych niezbędne

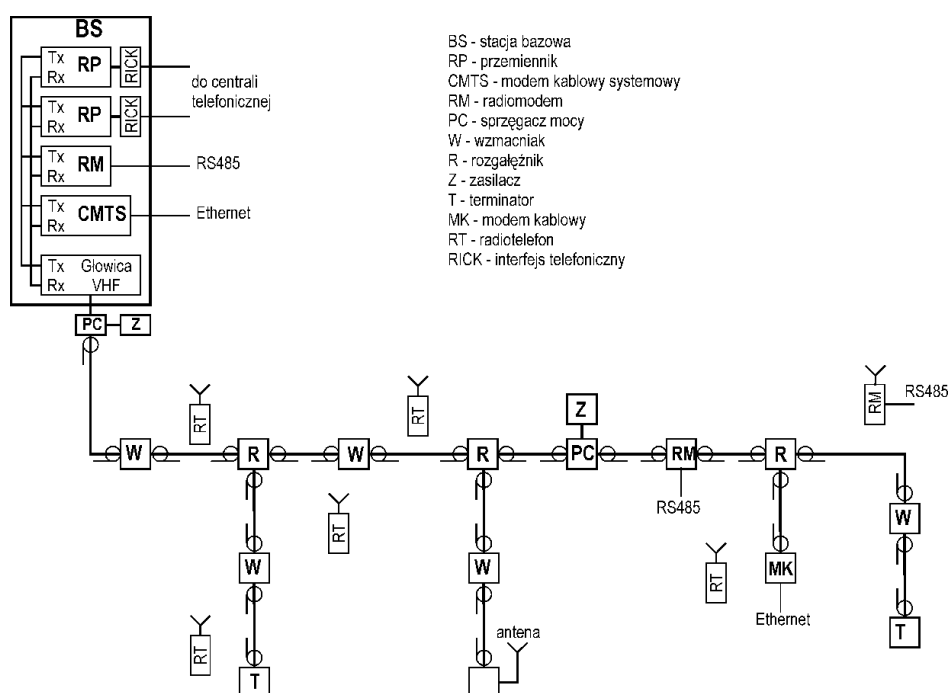
są wielokilometrowe instalacje przewodu promieniującego, zastosowanie wielu urządzeń wzmacniających sygnały radiowe (wraz z układami zasilania), a także rozgałęźników dla budowy rozgałęzionej sieci przewodów promieniujących. Taki system może być również rozbudowany o dodatkowe funkcje, takie jak np. wąskopasmowa czy szerokopasmowa transmisja danych.

System telekomunikacyjny z przewodem promieniującym zabudowany w typowej kopalni składa się z następujących elementów:

- stacja bazowa (BS) zawierająca (w wersji analogowej): głowicę, przemienniki (RP), radiomodemy (RM), interfejsy telefoniczne (RICK), modemy systemowe (CMTS),
- wzmacniaki (W),
- rozgałęźniki (R),
- terminatory (T),
- sprzęgacze mocy (PC), z zasilaczami (Z),
- radiomodemy (RM) oraz modemy kablowe (MK).

Na rysunku 5.22 pokazano przykład schematu blokowego systemu radiokomunikacyjnego z przewodem promieniującym. Przedstawiony system umożliwia:

- prowadzenie jednocześnie dwóch niezależnych rozmów radiotelefonicznych z zastosowaniem radiotelefonów analogowych,
- możliwość połączenia między radiotelefonem, a dowolnym abonentem centrali telefonicznej na obu kanałach,
- wolną transmisję danych między radiomodemami ruchomymi lub wpiętymi do przewodu promieniującego a radiodemem w stacji bazowej (np. 9600 b/s),
- szerokopasmową transmisję danych między modemami kablowymi, a modemem systemowym CMTS.



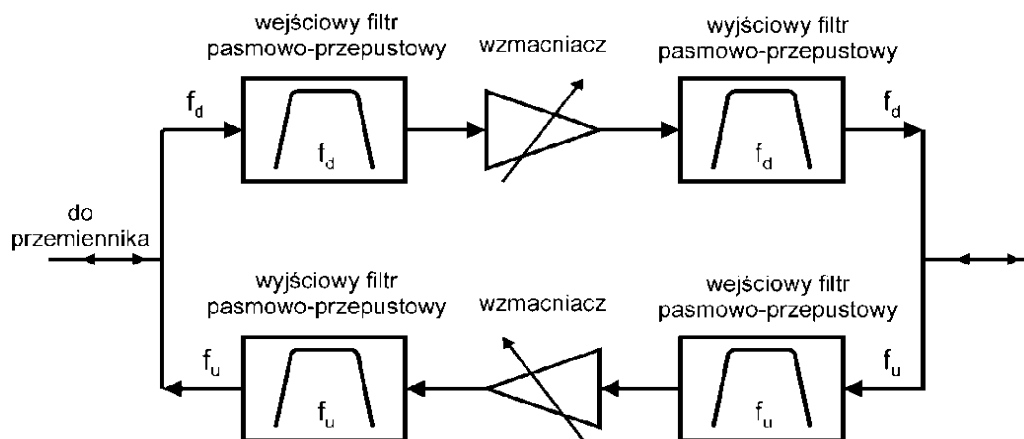
Rys. 5.22. Przykład systemu radiokomunikacyjnego z rozległą siecią przewodów promieniującego

W trakcie nadawania sygnał radiowy z radiotelefonu RT wnika do przewodu promieniującego i jest transmitowany w pasmie „w górę” do stacji bazowej (zlokalizowanej najczęściej na powierzchni w pomieszczeniach dyspozytorskich), a w kolejnych wzmacniakach ulega wzmocnieniu. W przemienniku stacji bazowej (RP) sygnał radiowy ulega przesunięciu do pasma „w dół” i jest nadawany do przewodu promieniującego. W poszczególnych wzmacniakach podlega wzmocnieniu i jednocześnie jest promieniowany na zewnątrz oraz odebrany przez radiotelefony ustawione na odbiór.

Interfejs telefoniczny RICK pozwala na połączenie radiotelefonu z abonentem centrali telefonicznej i przeprowadzenie rozmowy. Radiomodemy zajmują przydzielony kanał częstotliwościowy i pozwalają transmisję danych w obie strony. Modemy kablowe umożliwiają szerokopasmową transmisję danych.

### 5.7.1. Wzmacniaki

Sygnał w przewodzie promieniującym jest przesyłany w dwóch kierunkach (w różnych pasmach częstotliwości dla każdego kierunku). Dla wzmocnienia sygnału radiowego w takim przypadku niezbędne jest zastosowanie **wzmacniaka**, czyli urządzenia wzmacniającego sygnał radiowy w obu kierunkach. Na rysunku 5.23 pokazano uproszczony schemat blokowy wzmacniaka. Zawiera on dwa wzmacniacze wzmacniające sygnał w obu kierunkach. Ze wzmacniaczami współpracują wejściowe i wyjściowe filtry pasmowo-przepustowe. Wzmacniacze mają możliwość regulacji wzmocnienia. Regulacja ta może być ręczna (ustawienie odpowiedniego wzmocnienia po zakończeniu instalacji systemu) lub w układzie automatycznej regulacji wzmocnienia z zastosowaniem sygnału pilota.



Rys. 5.23. Uproszczony schemat blokowy wzmacniaka

W przypadku wykorzystania przewodu promieniującego do szerokopasmowej transmisji danych liczba gałęzi wzmacniających jest większa. Na rysunku 5.24 pokazano przykłady wzmacniaków firm TRANZTEL i PBE (*Pyott Boone Electronics*) stosowanych w kopalniach JSW S.A.



a) WLB-IS



b) BDA-4 hybrid

Rys. 5.24. Przykłady wzmacniaków firm: a) TRANZTEL, b) PBE [TRANZTEL, PBE]

### 5.7.2. Rozgałęźniki

Konieczność zapewnienia łączności radiowej w złożonym układzie wyrobisk kopalni wymusza stosowanie rozgałęzień przewodu promieniującego. Takie rozgałęzienie wymaga zachowania warunków dopasowania impedancji falowej kabla. Dla zachowania dopasowania falowego w takich przypadkach stosowane są rozgałęźniki, które umożliwiają:

- transmisję sygnału radiowego ze stacji bazowej do wszystkich gałęzi kabla promieniującego (wyjść) z odpowiednim podziałem mocy,
- transmisję sygnału radiowego z poszczególnych wyjść do stacji bazowej,
- przenoszenie zasilania prądem stałym pomiędzy wejściem i poszczególnymi wyjściami rozgałęźnika.

Określenia „wejście” i „wyjście” rozgałęźnika należy traktować umownie i dotyczą one transmisji sygnału radiowego od stacji bazowej<sup>1</sup>. Rozgałęźniki mogą być urządzeniami biernymi lub aktywnymi (tzn. mogą zawierać wzmacniacze sygnału). W przypadku rozgałęźnika biernego moc dostarczona do wejścia jest nie mniejsza niż suma mocy na wyjściach (przy obciążeniu impedancją  $Z_f$ ). Oznacza to, że w przypadku rozgałęźnika podwójnego moc na wyjściu jest nie większa niż 0,5 mocy na wejściu i wtedy tłumienność rozgałęźnika jest nie mniejsza niż 3 dB (zazwyczaj 3,5÷6 dB). W przypadku bezstratnego rozgałęźnika potrójnego spotyka się tłumienności 3 dB dla jednego rozgałęzienia oraz 6 dB dla pozostałych rozgałęzień. Rzeczywiste rozgałęźniki mają większe tłumienności od bezstratnych.

Na rysunku 5.25 pokazano przykłady rozgałęźników firm TRANZTEL i PBE.



a) VBU1-IS



b) BU2

Rys. 5.25. Przykłady rozgałęźników: a) podwójny firmy TRANZTEL, b) potrójny firmy PBE [TRANZTEL, PBE]

<sup>1</sup> W literaturze angielskojęzycznej spotyka się pojęcia *divider* (dzielnik, rozgałęźnik) oraz *coupler* (element, który łączy sygnały z kilku źródeł). Według tej terminologii dla transmisji od stacji bazowej rozgałęźnik to *divider*, dla transmisji do stacji bazowej rozgałęźnik to *coupler*.

### 5.7.3. Terminatory

Każdy odcinek kabla promieniującego powinien być obciążony (zakończony) impedancją falową, by uniknąć odbicia sygnału od niedopasowania impedancyjnego na końcu kabla, co powoduje powstanie fali stojącej i lokalnych zaników sygnału. Zakończeniem tym jest terminator. Pod względem elektrycznym terminator jest szeregowym połączeniem rezystora (o rezystancji równej impedancji falowej kabla promieniującego,  $75 \Omega$  dla systemów pracujących w zakresie UHF i  $50 \Omega$  dla systemów pracujących w zakresie VHF) i kondensatora eliminującego przepływ prądu stałego ze źródła zasilania przez terminator. Zakończeniem przewodu promieniującego zapewniającym dopasowanie falowe może być również odpowiednio dobrana antena.

Na rysunku 5.26 pokazano przykłady terminatorów firm TRANZTEL i PBE. Terminatory niektórych firm (np. PBE) zawierają generator sygnału pilota. Generator pilota wytwarza sygnał o stałej częstotliwości (np. 175 MHz) i o zadanym poziomie. Sygnał pilota jest wykorzystywany do regulacji wzmacnienia wzmacniaków.



Rys. 5.26. Przykłady terminatorów firm: a) TRANZTEL, b) PBE [TRANZTEL, PBE]

### 5.7.4. Sprzęgacze mocy

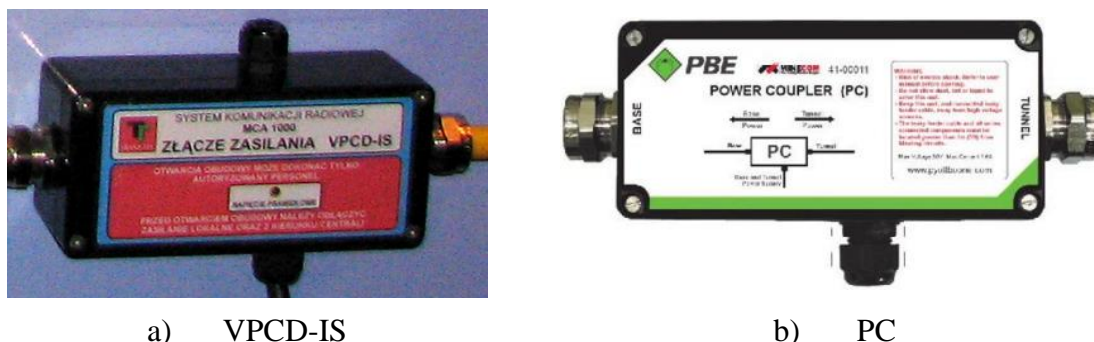
Wzmacniaki stosowane w systemach radiokomunikacji z kablem promieniującym są elementami aktywnymi wymagającymi zasilania napięciem stałym. Dla zmniejszenia liczby zasilaczy stosuje się zasilanie kilku wzmacniaków z jednego zasilacza, wprowadzając napięcie stałe do przewodu promieniującego za pośrednictwem tzw. sprzęgacza mocy<sup>1</sup> (*ang. power coupler*).

Sprzęgacz mocy (złącze zasilania) PC1 (którego schemat przedstawiono na rysunku 5.28) pełni dwie funkcje:

- wprowadza napięcie stałe z zasilacza do przewodu promieniującego, powodując niewielkie tłumienie sygnału nośnego w linii kablowej,
- dzieli przewód promieniujący (kondensatorem) na odrębne strefy zasilania z różnych zasilaczy, tak by uniemożliwić równoległe łączenie różnych zasilaczy (co jest szczególnie istotne w systemach iskrobezpiecznych).

<sup>1</sup> W niektórych dokumentacjach technicznych systemów z kablem promieniującym sprzęgacz mocy określa się nazwą „złącze zasilania”.

Na rysunku 5.27 pokazano widok sprzęgaczy mocy stosowanych w JSW S.A.



Rys. 5.27. Przykłady sprzęgaczy mocy firm: a) TRANZTEL, b) PBE [TRANZTEL, PBE]

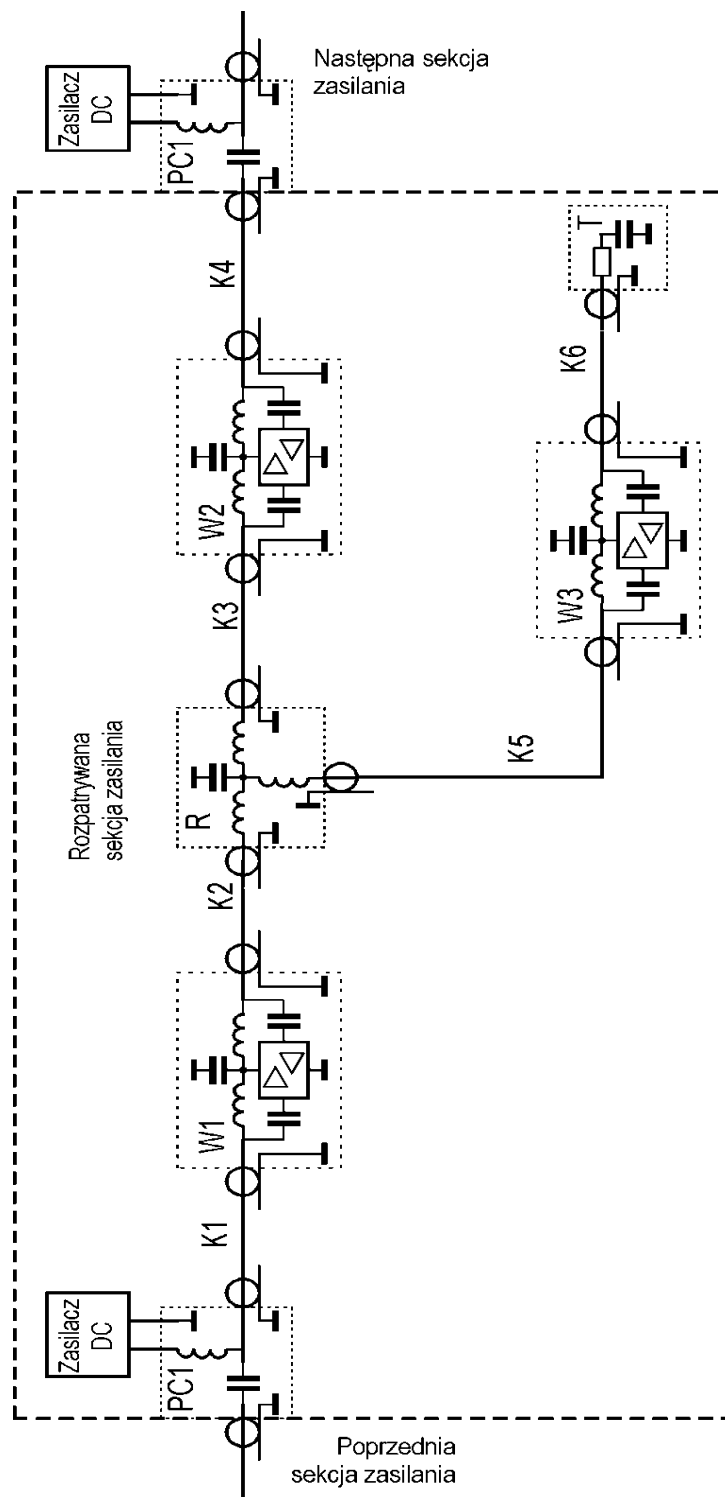
### 5.7.5. Zasilanie wzmacniaków

Do kabla promieniującego jest włączonych szereg elementów umożliwiających pracę systemu radiokomunikacyjnego. Niektóre z tych elementów (np. wzmacniaki) wymagają zasilania prądem stałym. Zasilanie najczęściej realizuje się w ten sposób, że napięcie stałe z zasilacza wprowadza się do przewodu promieniującego przez sprzęgacz mocy. Poszczególne urządzenia wymagające zasilania pobierają prąd z kabla promieniującego. Kabel promieniujący jest wtedy wykorzystywany zarówno do transmisji sygnału nośnego, jak i do zasilania urządzeń prądem stałym. Przepływ prądu stałego w kablu promieniującym wywołuje spadki napięcia i przez to napięcie na zaciskach poszczególnych urządzeń jest mniejsze od napięcia wyjściowego zasilacza. Instalacja kabla promieniującego powinna być tak zaprojektowana i wykonana, aby napięcie na zaciskach każdego urządzenia (wymagającego zasilania prądem stałym) było większe od minimalnego napięcia zasilającego to urządzenie  $U_{zmin}$ .

Zazwyczaj instalacja z kablem promieniującym jest dzielona na sekcje zasilane z odrębnych zasilaczy. Poszczególne sekcje są oddzielone kondensatorami, które są w sprzęgaczach mocy, tak by poszczególne zasilacze nie były połączone równolegle.

W przypadku instalacji iskrobezpiecznych rozdzielanie poszczególnych sekcji jest niezbędne i do tego celu stosuje się trzy szeregowo połączone kondensatory o klasie napięciowej co najmniej 1500 V. Na rysunku 5.28 pokazano przykład schematu systemu radiokomunikacyjnego z kablem promieniującym typu MCA 1000 z zaznaczeniem elementów istotnych dla zasilania poszczególnych urządzeń.

Wprowadzenie zasilania do kabla promieniującego jest zrealizowane przez sprzęgacz mocy (PC1 – rysunek 5.28). W sprzęgaczu jest pojemność oddzielająca poszczególne strefy zasilania, a także niewielka indukcyjność blokująca przepływ sygnału nośnego do zasilacza. We wzmacniakach (W) istnieje obejście dla prądu stałego (indukcyjności szeregowo i pojemność równoległa) dla przekazania napięcia zasilania do następnego odcinka kabla promieniującego. Podobne obejścia istnieją również w innych elementach, np. w rozgałęźnikach (R). W terminatorach (T) jest zabudowany rezystor o wartości odpowiadającej impedancji falowej kabla promieniującego połączony szeregowo z kondensatorem po to, by terminator nie stanowił odbiornika dla prądu stałego (byłaby to zbędna strata mocy).



Rys. 5.28. Przykład układu zasilania jednej sekcji przewodu promieniującego

Prawidłowa praca systemu radiokomunikacji wykorzystującego kabel promieniujący jest uzależniona od poprawnego zasilania wzmacniaków. Prąd stały płynący w kablu promieniującym wywołuje spadki napięć, co obniża wartość napięcia zasilającego poszczególne wzmacniaki. Napięcie zasilania poszczególnych wzmacniaków powinno być nie mniejsze niż napięcie minimalne dla danego typu wzmacniaka. Analizę poprawności układu zasilania należy przeprowadzić na etapie projektowania systemu radiokomunikacji przewodem promieniującym. Szczegóły analizy układu zasilania podano w literaturze [Miśkiewicz, 2010].



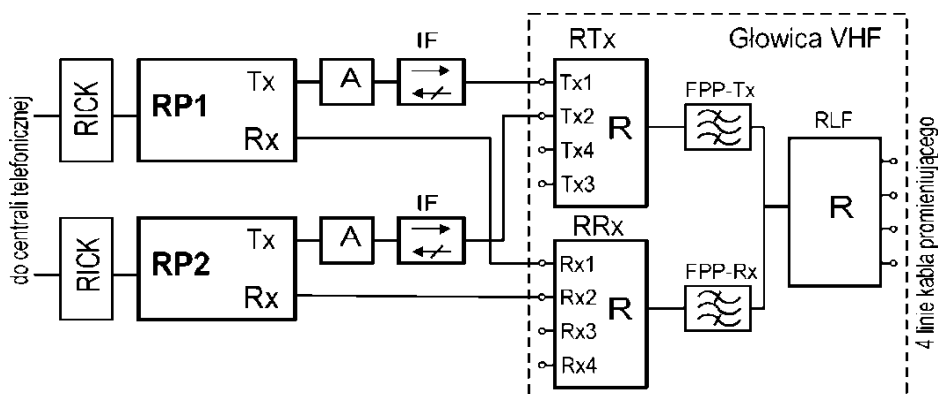
Zasilanie elementów aktywnych (głównie wzmacniaków) powinno mieć podtrzymanie bateryjne, które zapewni funkcjonowanie systemu w przypadku braku napięcia w sieci elektroenergetycznej zasilającej te zasilacze, co często występuje w wyrobiskach podziemnych kopalń. Czas podtrzymania bateryjnego jest uzależniony od funkcji, jakie pełni system radiokomunikacji z kablem promieniującym. Podtrzymanie bateryjne może być zrealizowane dwoma sposobami:

- scentralizowane (jedna bateria zabudowana w zasilaczu prądu stałego lub zasilaczu UPS zasilającym ten zasilacz),
- rozproszone (zasilacz bez baterii, natomiast baterie są zainstalowane w każdym urządzeniu wymagającym zasilania).

Dla prawidłowej pracy systemu radiokomunikacyjnego istotne jest monitorowanie stanu układu zasilania i przekazanie administratorowi systemu informacji o pracy bateryjnej układu zasilania za pośrednictwem systemu radiokomunikacyjnego lub zewnętrznego układu transmisji danych (np. UTS, FOD-900 itp.) i odpowiedniego oprogramowania wizualizacyjnego.

#### 5.7.6. Stacja bazowa dla systemów analogowych

Schemat blokowy stacji bazowej (dla systemów analogowych) przedstawiono na rysunku 5.29. Stacja bazowa jest elementem zawierającym przemienniki dla każdego kanału rozmównego.



Rys. 5.29. Schemat blokowy stacji bazowej dla dwukanałowego systemu radiokomunikacji z kablem promieniującym, pracującego w układzie dyspozytorskim

Przemiennik<sup>1</sup> RP (*Repeater*) tworzy para radiotelefonów połączona ze sobą przez interfejs zwany niekiedy RICK (*Repeater Interface Communication Kit*). Jeden z radiotelefonów jest przełączony stale na odbiór, a drugi jest przygotowany do nadawania. Jeżeli poziom sygnału na wejściu antenowym tego telefonu jest większy od poziomem blokady szumów, następuje uruchomienie odbiornika i przekazanie sygnału do nadajnika. W rezultacie sygnał akustyczny odebrany przez odbiornik jest nadawany na innej częstotliwości nośnej przez nadajnik i podawany do kabli promieniujących. Przemienniki mogą tworzyć dwa odpowiednio skonfigurowane radiotelefony (rozwiązanie stosowane w systemie FLEXCOM) lub może to

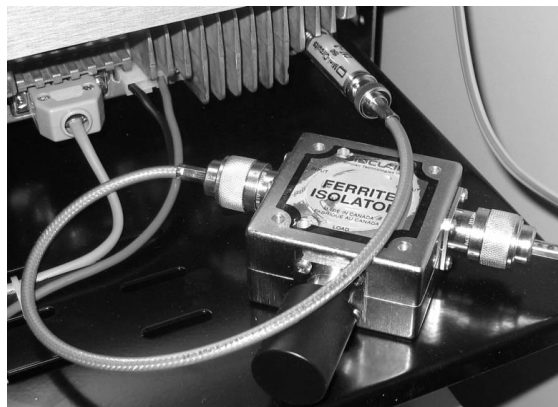
<sup>1</sup> Stosowana jest również nazwa przekaźnik.

być odrębne urządzenie (np. przemiennik FR-3100 firmy ICOM w systemie MCA-1000 pokazany na rysunku 5.32) [Miśkiewicz, 2010].

Interfejs RICK może być wykorzystany do podłączenia kanału rozmównego do centrali telefonicznej. Wtedy użytkownik radiotelefonu (wyposażonego w klawiaturę) może wybrać numer abonenta centrali telefonicznej i przeprowadzić z nim rozmowę. Prowadzenie tego typu rozmowy jest nieco kłopotliwe, ponieważ użytkownik radiotelefonu załącza nadawanie przyciskiem N/O (nadawanie/odbiór), natomiast nadawanie radiotelefonu RT (nad.) jest uruchamiane interfejsem RICK na podstawie pomiaru poziomu sygnału akustycznego przychodzącego z centrali telefonicznej, co wymaga pewnej dyscypliny<sup>1</sup> w prowadzeniu rozmowy przez abonenta centrali telefonicznej.

Transmisja informacji wybierczej z radiotelefonu do interfejsu RICK może odbywać się różnymi metodami zależnie od możliwości funkcjonalnych radiotelefonu i interfejsu RICK. Przykładem interfejsu RICK jest Interconnected Repeater Panel typu 48-MAX (rys. 5.32).

Do wyjścia antenowego nadajnika radiotelefonów RT przyłączone są tłumik<sup>2</sup> 6 dB/50  $\Omega$  oraz izolator ferrytowy IF. Izolator ferrytowy jest czwórnikiem, który umożliwia przepływ energii w jednym kierunku (z małym tłumieniem poniżej 1 dB) oraz pochłania energię transmitowaną w drugim kierunku [Szóstka, 2008]. Na rysunku 5.30 pokazano przykład izolatora ferrytowego I2111A firmy Sinclair. Izolator ferrytowy stosuje się, aby ograniczyć wzajemne oddziaływanie na siebie nadajników radiotelefonów.



Rys. 5.30. Izolator ferrytowy typu I2111A firmy Sinclair

Drugim podstawowym elementem w stacji bazowej jest głowica (*ang. head-end coupler*). W stacji bazowej pełni ona następujące funkcje:

- przyjmuje sygnały radiowe ze wszystkich nadajników przemienników kanałowych (zaciski Tx1 – Txn), sumuje je i rozprowdza np. do czterech linii kabla promieniującego,
- przyjmuje sygnały radiowe z max. czterech linii kabla promieniującego, sumuje je i rozdziela do poszczególnych odbiorników RT (odb.) na zaciski Rx1 – Rxn.

Sygnały wyjściowe z radiotelefonów RT są podawane w głowicy na rozgałęźnik RTx, który sumuje sygnały z poszczególnych radiotelefonów, ograniczając przenikanie sygnału z każdego radiotelefonu na pozostałe i zapewniając dopasowanie falowe. Po zsumowaniu

<sup>1</sup> Rozmówca od strony centrali telefonicznej, mający telefon, powinien rozmawiać w trybie simpleksowym.

<sup>2</sup> Czwórnik o określonej impedancji falowej np. 50  $\Omega$  oraz określonej tłumienności falowej np. 6 dB.

sygnał przechodzi przez filtr pasmowo-przepustowy FPP-Tx dostrojony do pasma „w dół” systemu i dalej do rozgałęźnika RLF, który rozgałęzia ten sygnał na cztery przewody promieniujące. Sygnał z nadajników radiotelefonów nie przechodzi przez filtr FPP-Rx do odbiorników przemienników, ponieważ leży poza pasmem przepustowym tych filtrów.

Sygnał „w górę” z poszczególnych kabli promieniujących (rys. 5.29) jest sumowany w rozgałęźniku RLF i podawany na filtry pasmowo-przepustowe FPP-Tx, FPP-Rx. Ta część sygnału (w sensie widma), która zawiera sygnały z radiotelefonów ruchomych, przychodzi tylko przez filtr FPP-Rx i dalej po rozgałęzieniu jest podawana na odbiorniki radiotelefonów (Rx) obsługujące poszczególne kanały. Głowica jest często układem biernym niewymagającym zasilania. Na rysunku 5.31 pokazano widok głowicy systemu MCA 1000, a na rysunku 5.32 widoki stacji bazowej systemu typu MCA 1000.



Rys. 5.31. Widok głowicy stacji bazowej z tyłu (system MCA 1000). Górne zaciski służą do podłączenia radiotelefonów (odbiorniczych i nadawczych), a zaciski u dołu do podłączenia czterech linii kabla promieniującego

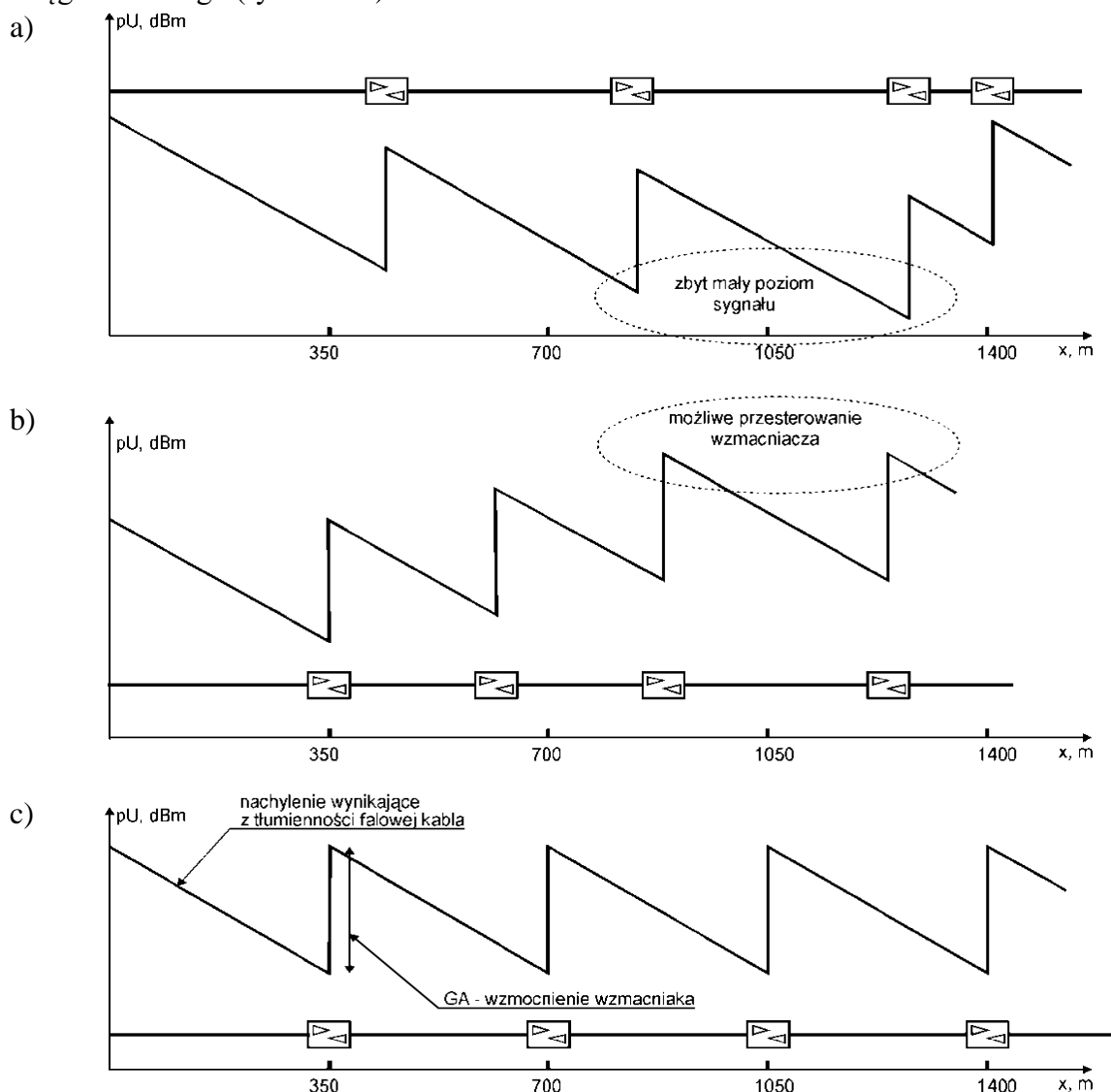


Rys. 5.32. Widok stacji bazowej systemu MCA 1000. Widoczne są: cztery przemienniki firmy ICOM, głowica (na górze), interfejs 48-MAX firmy ZETRON (na spodzie)

### 5.7.7. Regulacja wzmacnienia wzmacniaków

Wzmocnienie wzmacniaka powinno skompensować tłumienie wnoszone przez poszczególne odcinki przewodu promieniującego, ewentualnie przez inne elementy, takie jak np. rozgałęźniki. Stałe wzmocnienie wzmacniaka może stwarzać problemy wynikające ze zbyt niskiego lub zbyt wysokiego poziomu sygnału.

Na rysunku 5.33 c) pokazano przebieg poziomu sygnału od stacji bazowej w funkcji odległości  $x$ , w przypadku, gdy tłumienności falowe poszczególnych odcinków są równe wzmocnieniu wzmacniaka „w dół”. Gdy odcinki kabla promieniującego są krótsze niż wynikające z tłumienności wzmacniacza, poziomy sygnał wzrastają, co może prowadzić do przesterowania wzmacniacza (rys. 5.33 b). Jeśli odcinki kabla promieniującego są dłuższe niż wynikające ze wzmocnienia wzmacniacza, poziom sygnału obniża się, co spowoduje obniżenie zasięgu radiowego (rys. 5.33 a).



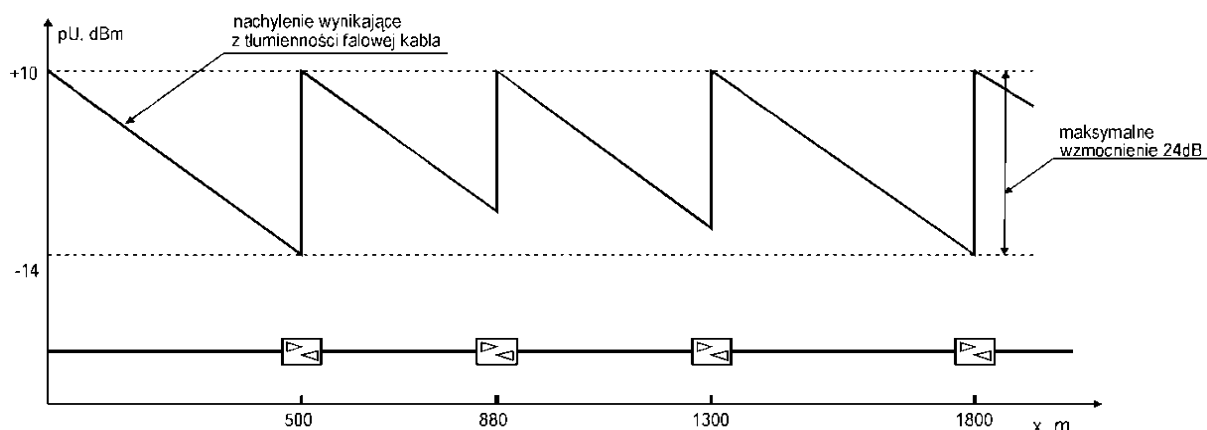
Rys. 5.33. Przebiegi poziomu sygnału w przewodzie promieniującym (kierunek od stacji bazowej) w funkcji odległości, przy stałym wzmocnieniu wzmacniacza: a) dla zbyt długich odcinków kabla, b) dla zbyt krótkich odcinków kabla, c) dla właściwie dobranych odcinków kabla promieniującego

Lepszym rozwiązaniem jest możliwość regulacji wzmocnienia wzmacniaka. Możliwe są następujące rozwiązania:

- ręczna regulacja wzmocnienia wzmacniaka (zworką, przełącznikiem); poprawne ustawienie wzmocnienia ocenia się przez pomiar poziomu sygnału ze stacji bazowej (po wciśnięciu przycisku N/O w radiotelefonie) lub na podstawie obserwacji diod sygnalizujących poprawny poziom sygnału ze stacji bazowej,
- zastosowanie wzmacniaczy z automatyczną regulacją wzmocnienia (ARW),
- zastosowanie wzmacniaczy o wzmocnieniu regulowanym sygnałem pilota.

Wzmacniacz z automatyczną regulacją wzmocnienia charakteryzuje się tym, że jeżeli tylko poziom napięcia wejściowego przekracza pewną wartość, to poziom napięcia wyjściowego jest stały, praktycznie niezależny od poziomu napięcia wejściowego (im wyższy poziom napięcia wejściowego, tym mniejsze wzmocnienie wzmacniacza). Na rysunku 5.34 pokazano przebieg poziomu sygnału (od stacji bazowej) w funkcji odległości z zastosowaniem wzmacniaka o wzmocnieniu 24 dB i przy poziomie napięcia wyjściowego +10 dBm<sup>1</sup>.

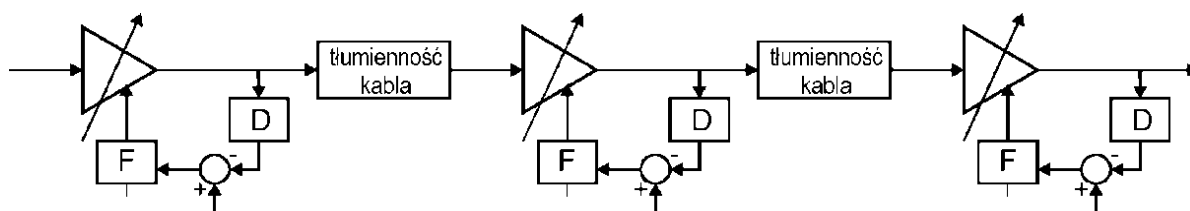
W przypadku zastosowania sygnału pilota, pilot (generator niemodulowany żadnym sygnałem) może być zainstalowany albo w stacji bazowej, albo w najdalszym wzmacniaku. Wtedy układ automatycznej regulacji wzmocnienia mierzy w sposób selektywny tylko sygnał pilota.



Rys. 5.34. Przebiegi poziomu sygnału w przewodzie promieniującym (kierunek od stacji bazowej) w funkcji odległości z zastosowaniem wzmacniaka z funkcją ARW o wzmocnieniu 24 dB i poziomie napięcia wyjściowego +10 dBm

W przypadku automatycznej regulacji wzmocnienia w systemach radiokomunikacyjnych występuje kaskadowe połączenie wzmacniaczy z automatyczną regulacją wzmocnienia. Na rysunku 5.35 pokazano uproszczony schemat blokowy toru „od stacji bazowej” (*downlink*) dla łańcuchowego połączenia trzech wzmacniaków. Sygnał wyjściowy wzmacniacza jest podawany na detektor D, a sygnał wyjściowy z detektora jest porównywany z wartością zadaną. Różnica sygnałów przez filtr steruje wzmocnieniem wzmacniacza.

<sup>1</sup> Poziomy napięcie podawane w dBm, odniesione do mocy 1 mW na impedancji falowej przewodu promieniującego dopasowanego falowo do wzmacniacza (50 Ω lub 75 Ω).



Rys. 5.35. Uproszczony schemat blokowy łańcuchowego połączenia wzmacniaków

W niektórych rozwiązaniach (np. MULTICOM 2.1) do regulacji wzmocnienia wzmacniaczy we wzmacniaku wykorzystuje się sygnał pilota wytwarzany w terminatorze.

Analizę właściwości regulacyjnych łańcuchowego połączenia wzmacniaków przeprowadził Farjow [Farjow, 2009]. Zaproponował on wykorzystanie sygnałów trzech pilotów w torze od stacji bazowej i wprowadzenie regulacji wzmocnienia wzmacniaczy w obu kierunkach oraz korekcji charakterystyki częstotliwościowej wzmacniaczy w obu kierunkach. Tego rodzaju rozwiązanie zostało zastosowane między innymi w nowszych wersjach systemu MULTICOM firmy PBE.

## 5.8. Konwencjonalne systemy radiokomunikacyjne z przewodem promieniującym w górnictwie

Konwencjonalne analogowe systemy radiokomunikacji z przewodem promieniującym używane w górnictwie mają strukturę przedstawioną na rysunku 5.22. W kopalniach podziemnych znalazły zastosowanie, między innymi, następujące systemy:

- FLEXCOM firmy Mining Radio System,
- MULTICOM firmy Mining Radio System,
- MCA 1000 firmy Tranztel,
- BeckerCom firmy Becker Mining Systems,
- SmartComm firmy VARIS Mine Technologies.

Szczegółowy opis tych systemów przedstawiono w monografii [Miśkiewicz, 2010].

## 5.9. Cyfrowe systemy radiokomunikacji z przewodem promieniującym w górnictwie

W nowych rozwiązaniach systemów radiokomunikacji z przewodem promieniującym stosuje się radiotelefony cyfrowe pracujące w standardzie DMR. Firma TRAZTEL opracowała system cyfrowej radiokomunikacji z przewodem promieniującym MCA1000digi. Widok stacji bazowej systemu pokazano na rysunku 5.36.

Stacja bazowa zawiera dwa przemienniki RD985S firmy HYTERA, głowicę, przełącznik 24-portowy (niewidoczny na rysunku) oraz układ zasilania z panelem zabezpieczeń nadprądowych. Przemienniki RD985S mogą obsługiwać zarówno radiotelefony cyfrowe DMR (warstwa Tier II z możliwością obsługi rozszerzonego trunkingu XPT), jak i analogowe. Sieć przewodów promieniujących (wzmacniaki, rozgałęźniki, terminatory, sprzęgacze mocy), praktycznie nie różni się w stosunku do systemu analogowego firmy TRANZTEL typu MCA1000. W kopalniach zagrożonych wybuchem pyłu węglowego i/lub metanu w systemie MCA 1000 digi stosowane są iskrobezpieczne radiotelefony firmy HYTERA typu PD795IS,

PD715IS oraz TTR-100 z oznakowaniem I M1 Ex ia I. Na rysunku 5.37 pokazano przykłady iskrobezpiecznych radiotelefonów firmy HYTERA typu PD795IS (z wyświetlaczem), PD715IS (bez wyświetlacza) oraz TTR-100 (z wyświetlaczem). Dla telefonu PD795IS opisano wybrane elementy manipulacyjne, takie jak wyłącznik z regulatorem głośności, pokrętko wyboru kanału, przycisk N/O (PTT). Radiotelefony PD715IS i PD795IS mogą pracować w następujących trybach:

- konwencjonalny analogowy lub trunkingowy analogowy MPT1327,
- konwencjonalny DMR (Tier II) lub trunkingowy DMR (Tier III),
- rozszerzony pseudotrunkingowy XPT.



Rys. 5.36. Widok stacji bazowej systemu MCA1000digi firmy TRANZTEL

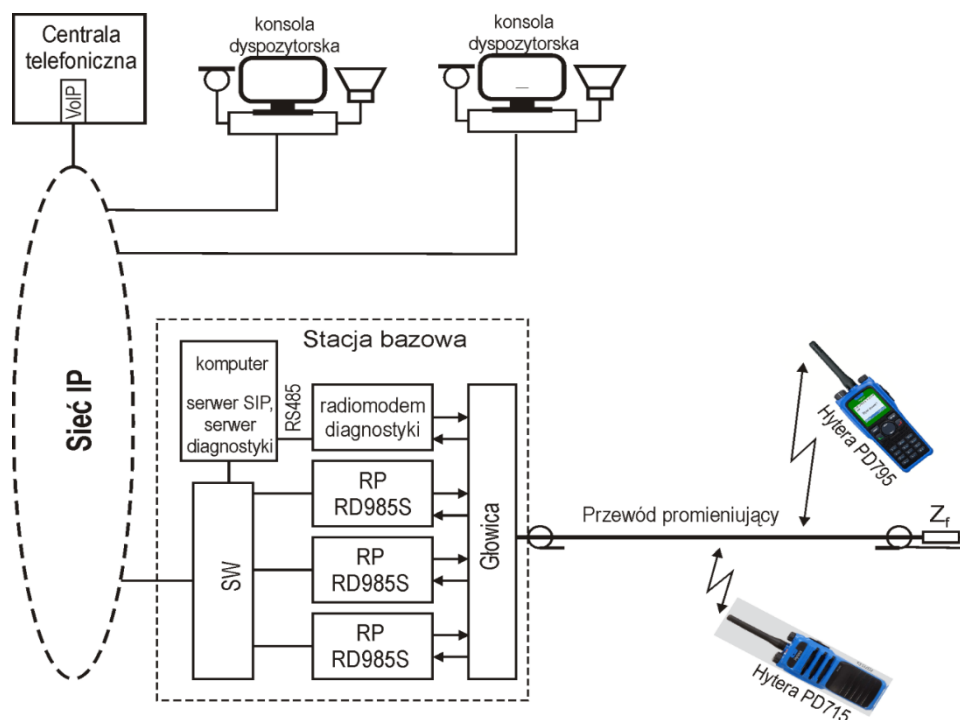


Rys. 5.37. Widok cyfrowych radiotelefonów typu PD795IS, PD715Ex, TTR-100 firmy HYTERA

W przypadku instalacji systemu w kopalni metanowej sieć przewodów promieniujących musi być iskrobezpieczna, oddzielona od stacji bazowej barierą iskrobezpieczną, użytkownicy powinni się posługiwać radiotelefonami iskrobezpiecznymi (I M1 Ex ia I), a stacja bazowa musi być zainstalowana na powierzchni lub na dole w pomieszczeniu ze stopniem niebezpieczeństwa wybuchu „a”.

System MCA-1000digi można uzupełnić o połączenie z serwerem telekomunikacyjnym wyposażonym w kartę VoIP (centralą telefoniczną) oraz o połączenie z konsolą dyspozytorską. Schemat blokowy systemu MCA-1000digi pokazano na rysunku 5.38.



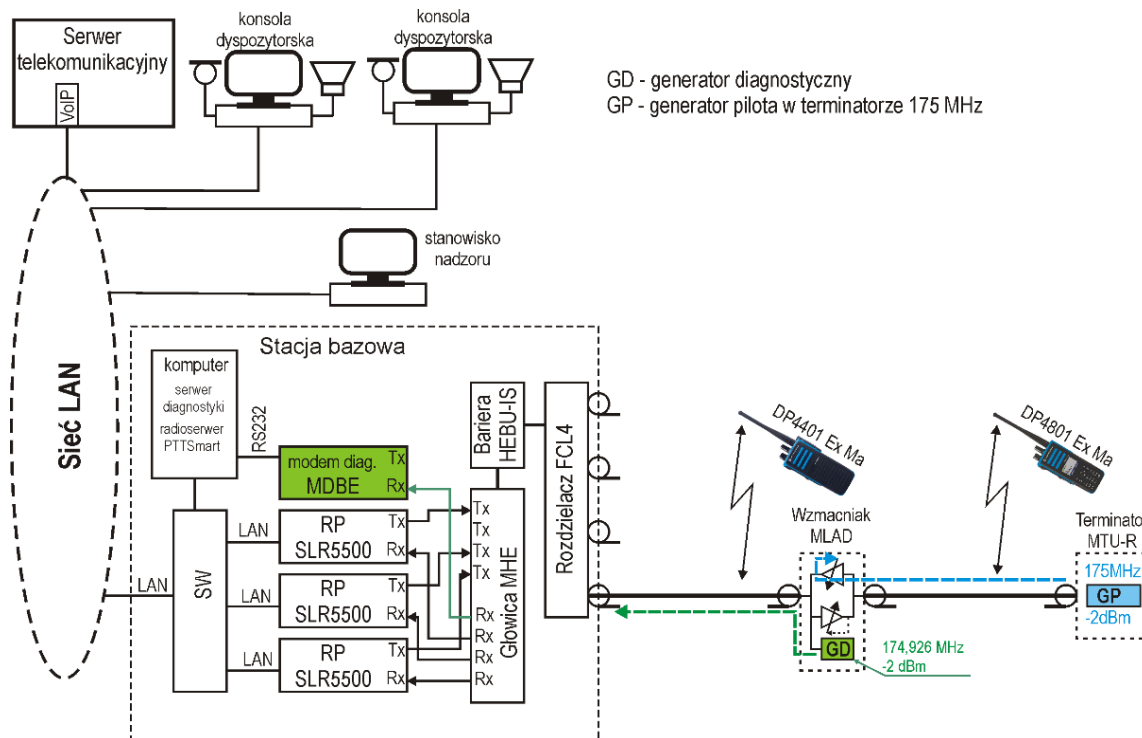


Rys. 5.38. Schemat blokowy systemu radiokomunikacyjnego MCA-1000digi

Zestaw przemienników RD985S jest uzupełniony o radiomodem odbierający sygnały diagnostyczne z poszczególnych wzmacniaków. Modem przekazuje sygnały diagnostyczne do komputera łączem RS485. Przemienniki są połączone z przełącznikiem SW łączami Ethernet. W komputerze jest zainstalowany serwer SIP do obsługi połączeń głosowych z kartą VoIP serwera telekomunikacyjnego. Do przełącznika SW można przyłączyć za pośrednictwem sieci komputerowej konsole dyspozytorskie (komputer wyposażony w mikrofon i głośnik), umożliwiające między innymi obsługę połączeń głosowych dyspozytora z radiotelefonami.

Modyfikacja systemu MCA-1000digi pod nazwą System Łączności Szybkiej SCS-1000digi może być zastosowana do łączności między maszynistą maszyny wyciągowej, załogą w naczyniu wydobywczym (klatka, skip) i obsługą stanowisk sygnałowych na nadszybiu i na podszybiach. W systemie SCS-1000digi maszynista maszyny wyciągowej ze względu na charakter swojej pracy (obie ręce zajęte) jest wyposażony w radiotelefon stacjonarny z zewnętrznym mikrofonem i nożnym przyciskiem N/O. Użytkownicy systemu mogą posługiwać się radiotelefonami DMR (poziom Tier II).

Firma Emitech łącznie z firmą PBE (*Pyott Boone Electronics*) oferuje dla kopalń system radiokomunikacyjny z przewodem promieniującym o nazwie MULTICOM w kilku wersjach. Jest to system stosujący przemienniki DMR oraz radiotelefony DMR firmy Motorola. Wykorzystuje pseudotrankingowy o firmowej nazwie Capacity Plus. Na rysunku 5.39 pokazano schemat blokowy systemu MULTICOM 2.1 z rozszerzeniem o łączność dyspozytorską o nazwie firmowej SmartPTT.



Rys. 5.39. Schemat blokowy części stacyjnej systemu MULTICOM 2.1

W systemie MULTICOM 2.1 zastosowano przemienniki SLR5500 firmy Motorola. W kopalniach metanowych jako terminale ruchome wykorzystuje się iskrobezpieczne radiotelefony firmy Motorola typu DP4401 Ex Ma (bez wyświetlacza) i DP4801 Ex Ma (z wyświetlaczem) z oznakowaniem I M1 Ex ia Ma. W stacji bazowej do głowicy są przyłączone przemienniki DMR typu SLR5500 oraz modem diagnostyczny MDDBE.

System MULTICOM 2.1 może być uzupełniony o platformę SmartPTT, zawierającą konsole dyspozytorskie i realizującą funkcje radiołączności dyspozytorskiej. Dla obsługi platformy SmartPTT w stacji bazowej znajduje się komputer sterujący z oprogramowaniem w celu obsługi łączności dyspozytorskiej (radioserwer SmartPTT). Komputery: sterujący oraz diagnostyczny są połączone łączem RS232 z modemem.

Przemienniki DMR, a także komputer sterujący są połączone z przełącznikiem SW, tworząc wewnętrzną sieć LAN, do której są przyłączane konsole dyspozytorskie oraz stanowisko nadzoru. Konsola dyspozytorska jest komputerem wyposażonym w mikrofon i głośniki umożliwiającym głosową komunikację dyspozytora z radiotelefonami w różnorodnych konfiguracjach. Ponadto dyspozytor może z konsoli wysłać do radiotelefonów krótkie wiadomości tekstowe z żądaniem potwierdzenia. Łącząc stację bazową siecią komputerową z kartą VoIP serwera telekomunikacyjnego i uzupełniając oprogramowanie komputera sterujące o licencję SIP Interconnect, można uzyskać możliwość automatycznego połączenia pomiędzy radiotelefonami a abonentami zakładowej sieci telefonicznej. Istnieje również możliwość zastosowania interfejsu telefonicznego i przyłączenia stacji bazowej do serwera telekomunikacyjnego z wykorzystaniem abonenckiego łącza stałoprądowego.

W części dołowej systemu MULTICOM 2.1 stosuje się szereg elementów zapewniających zasilanie wzmacniaków, rozgałęzianie przewodu promieniującego, zakończenie przewodu

promieniującego impedancją falową oraz wzmacnianie sygnału radiowego w obu kierunkach. Cechą charakterystyczną systemu MULTICOM 2.1 jest regulacja wzmocnienia wzmacniacza „w górę” sygnałem pilota. W terminatorze MTU-R znajduje się generator sygnału pilota o częstotliwości 175 MHz i poziomie -2 dBm. Wzmocnienie wzmacniacza „w górę” we wzmacniaku reguluje się tak, by uzyskać poziom sygnału pilota na wyjściu wzmacniacza równy -2 dBm (niebieska linia na rys. 5.39). Dla sygnału radiowego „w dół” stosuje się typowy układ ARW, tak aby poziom sygnału na wyjściu nie przekroczył wartości zadanej, co pokazano na rysunek 5.34.

Cyfrowe systemy radiokomunikacyjne DMR mają możliwość skonfigurowania dodatkowych funkcji zwiększających bezpieczeństwo pracy, takich jak:

- „samotny pracownik” (*ang. Lone Worker*),
- „upadek pracownika” (*ang. Man Down*),
- obsługa przycisku alarm,
- funkcja wysyłania krótkich komunikatów tekstowych z potwierdzeniem odbioru (*ang. Job Ticketing*),
- sygnalizacja nieobecności radiotelefonu w zasięgu radiowym systemu.

Funkcja „**samotny pracownik**” polega na tym, że radiotelefon wykrywa brak aktywności pracownika dotyczącej obsługi radiotelefonu. W sytuacji braku aktywności radiotelefon w zaprogramowanych odstępach czasu emituje akustyczny sygnał ostrzegawczy, a użytkownik po jego usłyszeniu musi nacisnąć dowolny przycisk radiotelefonu. W przypadku braku reakcji użytkownika na sygnał ostrzegawczy system nadaje temu radiotelefonowi **status awaryjny** (*ang. Emergency Status*), co zostaje uwidocznione na konsoli dyspozytorskiej w postaci sygnalizacji optycznej i akustycznej.

Funkcja **upadek pracownika** polega na tym, że w przypadku bezruchu radiotelefonu (wykrytego przez wewnętrzny akcelerometr) przez określony czas lub wychylenia radiotelefonu poza ustawione położenie graniczne (upadek), system przez ustalony czas nadaje radiotelefonowi **status awaryjny**, co powoduje sygnalizację optyczną i akustyczną na konsoli dyspozytorskiej oraz aktywację mikrofonu („gorący mikrofon” – *ang. „hot mic.”*) umożliwiającą nasłuch otoczenia radiotelefonu przez dyspozytora. Naciśnięcie przycisku **alarm** w radiotelefonie nadaje radiotelefonowi **status awaryjny**, co powoduje sygnalizację optyczną i akustyczną na konsoli dyspozytorskiej oraz aktywację mikrofonu umożliwiającą nasłuch otoczenia radiotelefonu przez dyspozytora.

Dyspozytor może wysłać do jednego użytkownika lub grupy użytkowników **krótki komunikat tekstowy**. Użytkownik radiotelefonu jest zobowiązany do potwierdzenia otrzymania komunikatu. Stwarza to możliwość wysyłania przez dyspozytora poleceń z potwierdzeniem wykonania. Konsole dyspozytorskie udostępniają następujące funkcje:

- wszystkie typy wywołań – indywidualne, grupowe, konferencyjne, rozsiewcze,
- identyfikację rozmówcy (wyświetlany numer ID),
- interkom pomiędzy dyspozytorami,
- klawiaturę do wyboru numeru wywoływanego abonenta,

- odbiór wywołań alarmowych dla funkcji „samotny pracownik”,
- sprawdzenie obecności radiotelefonu w sieci radiowej,
- wywołanie dźwiękowe abonenta – call alert,
- blokadę/odblokowanie radiotelefonu,
- zdalny podsłuch radiotelefonu.

### 5.10. Systemy łączności radiowej z kablem promieniującym w JSW S.A.

W celu usprawnienia transportu materiałów oraz ludzi w wyrobiskach podziemnych w 2018 roku w JSW S.A. podjęto decyzję o modernizacji i znacznej rozbudowie eksploatowanych dotychczas systemów łączności radiowej wykorzystującej przewód promieniujący. Do tego czasu poszczególne kopalnie JSW S.A. eksploatowały radiowe systemy analogowe typu FLEXCOM lub MULTICOM firmy EMITECH, MCA1000 firmy TRANZTEL oraz w ograniczonym zakresie system łączności radiowej z przewodem promieniującym typu BECKERCOM dostarczany jako pomocnicze urządzenie łączności dla maszynistów kolejek podwieszanych firmy BECKER instalowanych w niektórych kopalniach JSW S.A. W 2018 roku sumaryczna długość zainstalowanego w wyrobiskach przewodu promieniującego we wszystkich kopalniach JSW S.A. wynosiła około 110 km. Było to zdecydowanie niewystarczające dla szybko rozwijającego się transportu kołowego (lokomotyw akumulatorowych) a przede wszystkim kolejek podwieszanych. Modernizacja systemów łączności radiowej wykorzystującej przewód promieniujący polegała przede wszystkim na zastąpieniu dotychczas eksploatowanych systemów analogowych łączności radiowej i znacznej rozbudowie (o ponad 200 km) sieci przewodów promieniujących w wyrobiskach dołowych i szybach.

W tabeli 5.2 przedstawiono charakterystykę systemów łączności radiowej przewodem promieniującym w poszczególnych kopalniach. Wyszczególniono typ eksploatowanego systemu łączności, przybliżoną długość zainstalowanych kabli promieniujących i szacunkową liczbę oraz typ eksploatowanych radiotelefonów.

#### Charakterystyka systemów radiowych z przewodem promieniującym w kopalniach JSW S.A. (stan na: II kwartał 2022 r.)

Tabela 5.2.

Kopalnia	Typ systemu	Długość przewodu w wyrobiskach [km]	Liczba radiotelefonów	Uwagi, typ radiotelefonu
KWK Pniówek	MCA1000digi	60	270	PD795IS, PD715Ex
KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Knurów	MCA1000digi	52	80	
KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice	MCA1000digi	32	50	

KWK Borynia-Zofiówka Ruch Borynia	MULTICOM 2.1	36	70	DP 4401 DP4801
KWK Borynia-Zofiówka Ruch Zofiówka	MULTICOM 2.1	60	80	
KWK Budryk	MULTICOM 2.1	60	50	
KWK Jastrzębie-Bzie	MULTICOM 2.1	12	40	
	<b>Razem</b>	<b>312 km</b>	<b>640 szt.</b>	

We wszystkich kopalniach JSW S.A. (z wyjątkiem Ruchu Knurów) stacje bazowe systemu radiowego są zainstalowane na powierzchni w pomieszczeniach centrali telefonicznej lub dyspozytorskiej zakładowej. Mogą więc korzystać z zasilania gwarantowanego, jakie jest dostępne w tych pomieszczeniach. W tym przypadku kopalnie eksploatują najczęściej jedną stację bazową, w której zainstalowanych jest kilka przemienników.

Ponieważ do głowicy stacji bazowej można przyłączyć nawet cztery linie kabla promieniującego, dlatego w Ruchu Zofiówka system łączności radiowej MULTICOM eksploatowany jest w dwóch szybach, a w Ruchu Borynia oraz w KWK Budryk w trzech szybach.

W pozostałych kopalniach (Pniówek, Szczygłowice, Bzie) system łączności radiowej jest eksploatowany w jednym szybie.

Ruch Knurów eksploatuje dwie stacje bazowe systemu radiowego, które są umieszczone w pomieszczeniach o stopniu niebezpieczeństwa „a” wybuchu metanu na podszybiach poziomów 650 oraz 850. Nie posiadają one zasilania gwarantowanego i w razie braku zasilania w sieci elektroenergetycznej na tych poziomach łączność radiowa nie funkcjonuje. Na poziomie 850 jest ona wykorzystywana przez maszynistów trakcji elektrycznej przewodowej oraz akumulatorowej. Na poziomie 650 system radiowy wykorzystywany jest w podwieszanych kolejkach spalinowych. W tej kopalni nie jest możliwa łączność radiowa w szybie z wykorzystaniem systemu MCA1000digi. W łączności szybowej kopalnia stosuje system radiowy ECHO, wykorzystujący liny nośne maszyn wyciągowych do transmisji sygnału radiowego.

Systemy radiowe MCA1000digi oraz MULTICOM 2.1 obsługują najczęściej 4 kanały w następującej konfiguracji:

- jeden (lub dwa) kanały dla osób dozoru. Osoby dozoru mogą wtedy używać radiotelefonów z klawiaturą, co umożliwi kontakt w systemie ogólnozakładowej łączności telefonicznej. W tych radiotelefonach jest możliwa także dowolna zmiana kanałów, co ułatwia kontakt dozorowi i innym służbom technicznym porozumiewanie się z dysponentami transportu na poszczególnych poziomach. W sporadycznych przypadkach radiotelefony te wykorzystują także inne służby np. oddziałów wentylacyjnych w czasie wykonywania określonych robót w przekopach czy chodnikach transportowych, a także ratownicy zastępów ratowniczych.

- jeden kanał dla oddziału szybowego wykorzystującego radiotelefony bez klawiatury, z wydzielonym odrębnym kanałem dla tych służb.
- dwa (lub trzy) kanały dla oddziałów transportu. Dla zapewnienia większego bezpieczeństwa stosuje się oddzielne kanały dla każdego poziomu eksploatacyjnego kopalni. Również niezależne kanały są przyporządkowane dla poszczególnych dysponentów transportu kołowego (trakcja akumulatorowa) oraz transportu wykorzystującego kolejki podwieszane. Służby te wykorzystują radiotelefony bez klawiatury. Radiotelefony te są specjalnie zaprogramowane dla tych oddziałów.

W każdej kopalni JSW S.A. systemy łączności radiowej z przewodem promieniującym są stosowane przynajmniej na dwóch poziomach. W kilku kopalniach (np. Zofiówka, Budryk, Szczygłowice) nawet na trzech poziomach eksploatacyjnych. Fakt ten uzasadnia długość zainstalowanego przewodu promieniującego (tabela 5.2) w poszczególnych kopalniach.

Systemy telekomunikacyjne z przewodem promieniującym stosowane w kopalniach JSW S.A. zawierają nawet po kilkaset wzmacniaków. Dla zapewnienia poprawnej pracy całego systemu stosowany jest monitoring stanu poszczególnych wzmacniaków. Na rysunku 5.40 pokazano przykład planszy diagnostyki systemu MULTICOM.

Plansza zawiera schematyczny układ wyrobisk, w których jest zainstalowany przewód promieniujący, rozmieszczenie wzmacniaków, zasilaczy, bramek identyfikacyjnych, sprzęgaczy mocy oraz terminatorów z generatorem sygnałów pilota. Dla każdego wzmacniaka podawana jest wartość napięcia zasilającego oraz poziom sygnału pilota. Kolorem czerwonym sygnalizowany jest błąd transmisji danych z danego wzmacniaka.



Rys. 5.40. Przykład planszy diagnostycznej systemu MULTICOM 2.1

## 6. Światłowodowe sieci telekomunikacyjne w podziemnych kopalniach węgla

*Kazimierz Miśkiewicz, Antoni Wojaczek*

### 6.1. Oznaczenia

W niniejszym rozdziale na schematach blokowych są stosowane następujące oznaczenia:

SW	– przełącznik (switch) zarówno zarządzalny, jak i niezarządzalny
Nport	– serwer portów szeregowych pozwalający przyłączyć przyłącza RS485, RS422, RS232 do sieci z protokołem TCP/IP
IoLogic	– moduł pomiarowy pozwalający przyłączyć wejścia i wyjścia cyfrowe (dwustanowe) do sieci z protokołem TCP/IP
Fo	– przyłącze światłowodowe jednomodowe, wielomodowe (z dwoma włóknami), również dwukierunkowe z jednym włóknem (WDM BiDi) bez rozróżnienia przepływności
FE	– przyłącze sieci komputerowej 10Base-TX, 100Base-TX, 1000Base-TX bez rozróżnienia przepływności
ZAS	– zasilacz
Mon	– monitor
komp	– komputer
klaw	– klawiatura
SEP	– separator między nieiskrobezpiecznym oraz iskrobezpiecznym przyłączem teletransmisyjnym (FE, RS)
MC	– konwerter mediów między przyłączem FE oraz Fo niezależnie od przepływności i protokołów
Tx	– nadajnik
Rx	– odbiornik
100Base-TX	– standard transmisji w kablach miedzianych z przepływnością 100 Mb/s
1000Base-TX	– standard transmisji w kablach miedzianych z przepływnością 1000 Mb/s
100Base-EX	– standard transmisji w kablach światłowodowych z przepływnością 100 Mb/s
1000Base-LX	– standard transmisji w kablach światłowodowych z przepływnością 1000 Mb/s
Ka	– kamera z wyjściem analogowym (composite video)
KIP	– kamera z wyjściem cyfrowym.

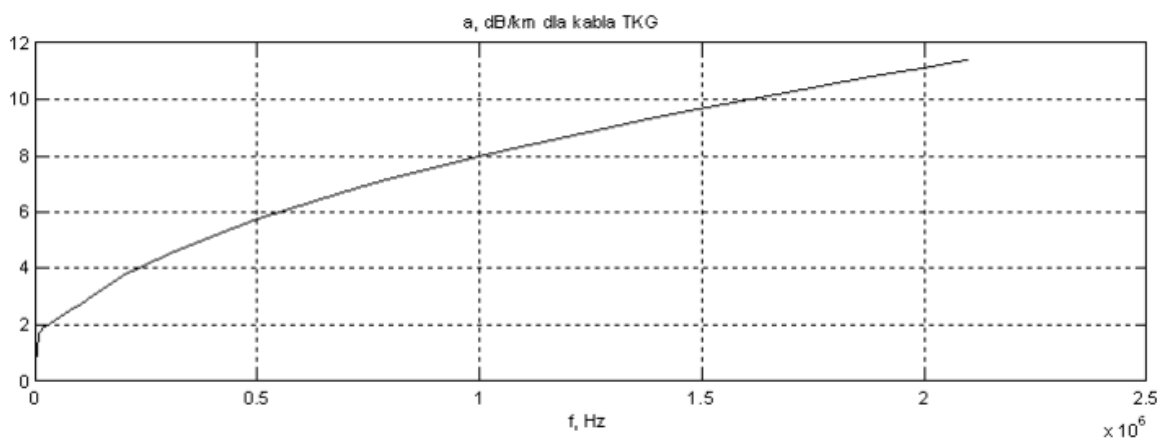


Na schematach blokowych urządzeń kolorem wyróżniono status przeciwwybuchowości w następujący sposób:

- kolor niebieski – urządzenie iskrobezpieczne, obwód iskrobezpieczny (z zabezpieczeniem zarówno ia jak i ib),
- kolor zielony – włókno (włókna) światłowodowe, przyłączy światłowodowe samoistnie bezpieczne,
- kolor żółty – realizacja przeciwwybuchowości dla urządzeń grupy I kategorii M2 (najczęściej osłona ognioszczelna),
- kolor biały – urządzenie budowy zwykłej.

## 6.2. Wstęp

Podstawowym medium transmisyjnym w podziemnych kopalniach węgla są telekomunikacyjne kable górnicze miedziane symetryczne z żyłami o średnicy 0,8 mm. W zdecydowanej większości tego rodzaju kable są wykorzystywane w systemach łączności telefonicznej, alarmowej, wolnej transmisji danych (najczęściej dwustanowych) oraz systemach gazometrycznych a także sejsmologicznych i sejsmoakustycznych pełniąc rolę transmisji sygnałów użytecznych oraz zdalnego zasilania urządzeń abonenckich (końcowych). Kable symetryczne charakteryzują się stosunkowo dużą jednostkową tłumiennością falową w zakresie częstotliwości ponadakustycznych (rys. 6.1) [Wojaczek, 2014]. Dla częstotliwości 2 MHz i długości kabla 10 km tłumienność falowa będzie równa 110 dB, co poważnie ogranicza zasięg transmisji nawet przy wykorzystaniu modemów szerokopasmowych.



Rys. 6.1. Zależność jednostkowej tłumienności falowej kabla symetrycznego TKG od częstotliwości w zakresie częstotliwości ponadakustycznych [Wojaczek, 2014]

Obecnie do transmisji danych w kopalnianych sieciach telekomunikacyjnych w coraz większym zakresie stosuje się kable światłowodowe. Technika światłowodowa jest stosunkowo młodą dziedziną techniki. Jej początki, we współczesnym kształcie, to lata 70-te XX wieku. Charles Kao i George Hockham wykazali, że jest możliwe wyprodukowanie włókna światłowodowego o tłumienności poniżej 20 dB/km ze szkła o dużej czystości. Firma Corning Glass wyprodukowała światłowód o tłumienności 20 dB/km. Udało się skonstruować źródła światła (LED i laser) na fale długości 850 nm, 1300 nm i 1550 nm. Dalsze udoskonalenie technologii umożliwiło produkcję światłowodu jednomodowego. Opracowano również

technologię łączenia światłowodów oraz szereg elementów osprzętu (mufy, przełącznice, konwertery mediów). Pierwsze praktyczne zastosowanie techniki światłowodowej to zbudowanie (w 1977 r.) kabla światłowodowego łączącego dwie centrale telefoniczne w Turynie. W Polsce prace nad techniką światłowodową (w zakresie badań i produkcji włókien światłowodowych) rozpoczęto w latach siedemdziesiątych na UMCS w Lublinie.

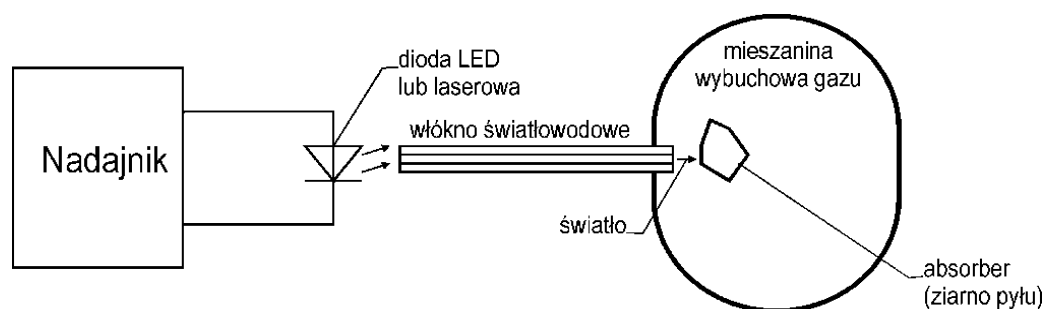
Wprowadzenie techniki światłowodowej do kopalń podziemnych wymagało rozwiązania następujących problemów:

- Opracowania konstrukcji i uruchomienie produkcji kabli światłowodowych przewidzianych do stosowania w kopalniach podziemnych. Kable powinny posiadać następujące właściwości:
  - Uniepalniona zewnętrzna powłoka lub osłona.
  - Wyposażenie kabli przewidzianych do instalacji w wyrobiskach pionowych i silnie nachylonych (powyżej  $45^\circ$ ) w pancerz z okrągłych drutów stalowych ze spiralą przeciwskrętną.
  - Wypełnienie ośrodka nie zawierające żeluz ze względu na możliwość przylegania pyłu w czasie napraw i instalacji kabli w przełącznicach i innych elementach zakończeniowych.
- Dostępności osprzętu światłowodowego przewidzianego do pracy w warunkach środowiskowych kopalń podziemnych w tym także w przestrzeniach zagrożonych wybuchem metanu i pyłu węglowego (stopień ochrony obudowy co najmniej IP54).
- Określenia dopuszczalnych parametrów nadajników optoelektronicznych tak by strumień światła wydostający się z uszkodzonego światłowodu nie spowodował wybuchu metanu czy pyłu węglowego.
- Opracowania normy zharmonizowanej z dyrektywą ATEX dotyczącej zabezpieczenia urządzeń i systemów transmisji wykorzystujących promieniowanie optyczne.
- Zorganizowania laboratoriów oraz jednostek certyfikujących w zakresie badań i oceny urządzeń wykorzystujących promieniowanie optyczne przewidzianych do stosowania w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

### **6.3. Budowa przeciwwybuchowa urządzeń stosowanych w sieciach światłowodowych kopalń metanowych**

Wykorzystanie techniki światłowodowej wymaga zdefiniowania możliwego sposobu zainicjowania wybuchu gazu (pyłu) przez promieniowanie optyczne oraz określenia warunków bezpiecznego stosowania techniki światłowodowej w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

Najczęstszy mechanizm zapłonu mieszaniny wybuchowej gazu (pyłu) pokazano na rysunku 6.2. W przestrzeni zagrożonej wybuchem może dojść do uszkodzenia światłowodu i światło z włókna światłowodowego padając na ziarno absorbera (np. pyłu węglowego) nagrzej go do takiej temperatury, która spowoduje wybuch gazu.



Rys. 6.2. Ilustracja mechanizmu inicjacji wybuchu gazu przy zastosowaniu techniki światłowodowej

W normie [PN-EN 60079-28] przedstawione są trzy sposoby zabezpieczenia przeciwybuchowego w celu zapobieżenia zapłonowi metanu przy stosowaniu techniki światłowodowej w przestrzeniach zagrożonych wybuchem:

- samoistnie bezpieczne promieniowanie – rodzaj zabezpieczenia **op is** (*ang. inherently safe optical radiation*),
- zabezpieczone promieniowanie optyczne – rodzaj ochrony **op pr** (*ang. protected optical radiation*),
- system optyczny z blokadą – rodzaj ochrony **op sh** (*ang. optical system with interlock*).

W sieciach światłowodowych stosowanych w kopalniach metanowych wykorzystuje się najczęściej zabezpieczenie Ex op is. W nadajnikach optycznych z tego rodzaju zabezpieczeniem, moc elektryczna doprowadzona do źródeł optycznych (dioda LED, dioda laserowa) musi być ograniczona odpowiednimi ogranicznikami napięcia i/lub prądu do takiej wartości, przy której moc optyczna jaka może być wypromieniowana ze światłowodu, nie przekroczy wartości bezpiecznych podanych w normie [PN-EN 60079-28]. Dla urządzeń grupy I moc optyczna fali ciągłej jest ograniczona do 150 mW.

Zabezpieczenie Ex op pr wymaga stosowania takiej osłony całej instalacji światłowodu, aby uniemożliwić wydostanie się promienia świetlnego do przestrzeni zagrożonej wybuchem. Np. może to być pancierz kabla optotelekomunikacyjnego na całej długości światłowodu znajdującego się w przestrzeni zagrożonej wybuchem lub zastosowanie dodatkowej rury ochronnej (np. peszla) kabla światłowodowego bez pancierza.

Zabezpieczenie Ex op sh polega na tym, że jeżeli dojdzie do uszkodzenia światłowodu i wydostania się promieniowania optycznego do otwartej przestrzeni, to nadajnik zostanie wyłączony w czasie krótszym od czasu opóźnienia zapłonu. Detekcja uszkodzenia kabla odbywa się przez wykrywanie braku transmisji we włóknach kontrolnych.

Dyrektywa ATEX [ATEX] wprowadziła podział urządzeń budowy przeciwybuchowej na dwie grupy:

- grupa I – urządzenia budowy przeciwybuchowej przeznaczone do stosowania w wyrobiskach podziemnych kopalń oraz częściach instalacji powierzchniowych zagrożonych występowaniem gazu kopalnianego (głównie metanu) lub pyłu palnego (węglowego),

- grupa II – urządzenie budowy przeciwybuchowej przeznaczone do stosowania w innych miejscach zagrożonych występowaniem atmosfery wybuchowej (poza wyrobiskami kopalń podziemnych).

Dla urządzeń grupy I wyróżniono dwie kategorie:

- kategorię M1, obejmująca urządzenia wyposażone w środki zabezpieczenia przeciwybuchowego zapewniające **bardzo wysoki poziom zabezpieczenia**,
- kategorię M2, obejmująca urządzenia wyposażone w środki zabezpieczenia przeciwybuchowego zapewniające **wysoki poziom zabezpieczenia**.

Z kategoriami związany jest poziom zabezpieczenia urządzeń EPL (*Equipment Protection Level*) określający w umowny sposób niezawodność zastosowanego zabezpieczenia [PN-EN 60079-0]. Dla górnictwa określono dwa poziomy EPL:

- Ma – dla urządzeń, które mają „**bardzo wysoki**” poziom zabezpieczenia,
- Mb – dla urządzeń, które mają (tylko) „**wysoki**” poziom zabezpieczenia.

Urządzenia kategorii M1 muszą mieć poziom EPL równy Ma, a urządzenia kategorii M2 muszą mieć poziom EPL równy Mb.

Urządzenia kategorii M1 mogą pracować przy dowolnym stężeniu metanu. Urządzenia kategorii M2 trzeba wyłączyć w przypadku przekroczenia dopuszczalnego stężenia metanu (2% CH<sub>4</sub> lub mniej w zależności od miejsca pomiaru). Wyłączaniem urządzeń kategorii M2 zajmuje się system metanometrii automatycznej [Cierpisz, 2007].

Urządzenia stosowane w kopalnianych sieciach światłowodowych mają też część elektryczną (z wyjątkiem przełącznic światłowodowych). Z tego względu w tych urządzeniach stosuje się również inne sposoby realizacji budowy przeciwybuchowej [Miśkiewicz, 2018]:

- osłony ognioszczelne z oznakowaniem „d”,
- budowę wzmocnioną z oznakowaniem „e”,
- urządzenia i obwody iskrobezpieczne z oznakowaniem „ia”, „ib”,
- hermetyzację urządzeń z oznakowaniem „ma”, „mb”.

Osłona ognioszczelna pozwala na umieszczenie wewnątrz praktycznie dowolnych urządzeń elektrycznych budowy zwykłej a także umożliwia montaż w osłonie z przezroczystym oknem dowolnych kamer, monitorów czy wskaźników lub przyrządów pomiarowych.

Urządzenia budowy przeciwybuchowej muszą mieć na tabliczce znamionowej oraz w dokumentacji, oznakowanie zawierające informacje o rodzaju budowy iskrobezpiecznej. Pełny opis sposobu oznakowania jest zawarty w normach z serii PN-EN 60079, a także w literaturze [Miśkiewicz, 2018]. Oznakowanie zawiera między innymi:

- a. grupę urządzenia (I dla górnictwa),
- b. kategorie urządzenia (M1 lub M2 dla górnictwa),
- c. symbol Ex oznaczający zastosowanie co najmniej jednego rodzaju budowy przeciwybuchowej,

- d. symbol (symbole) zastosowanej budowy przeciwwybuchowej (np. d – osłona ognioszczelna, e – budowa wzmocniona, ma, mb - hermetyzacja, ia, ib – iskrobezpieczeństwo, op is - samoistne bezpieczne promieniowanie optyczne itp.),
- e. symbol grupy wybuchowości gazów (I dla metanu i pyłu węglowego),
- f. poziom EPL (Ma, Mb dla górnictwa).

Interpretacja oznakowania urządzeń budowy przeciwwybuchowej zostanie wyjaśniona na następujących przykładach:

- **I M1 Ex ia I Ma** – urządzenie I grupy, kategorii M1, iskrobezpieczne z poziomem zabezpieczenia ia dla gazów grupy I (metan) i poziomie EPL Ma. Urządzenie może pracować przy dowolnym stężeniu metanu.
- **I M1 Ex ia op is I Ma** – urządzenie I grupy, kategorii M1, iskrobezpieczne z poziomem zabezpieczenia ia, z przyłączem światłowodowym samoistnie bezpiecznym, dla gazów grupy I (metan) i poziomie EPL Ma. Urządzenie może pracować przy dowolnym stężeniu metanu.
- **I (M1) [Ex op is Ma] I** – urządzenie budowy zwykłej z przyłączem optycznym samoistnie bezpiecznym dla gazów grupy I (metan) i poziomie EPL Ma. Oznakowanie w nawiasie dotyczy tylko części urządzenia. Urządzenie jest przewidziane do zabudowy w pomieszczeniu bezpiecznym. Może być częścią składową urządzenia z innym rodzajem zabezpieczenia przeciwwybuchowego, np. może być umieszczone w osłonie ognioszczelnej.
- **I M2 (M1) Ex d [ia op is Ma] I Mb** – urządzenie I grupy kategorii M2 w osłonie ognioszczelnej dla gazów grupy I (metan) i poziomie EPL Mb. W przypadku gdy stężenie metanu przekroczy wartość dopuszczalną (2% lub mniej zależnie od miejsca instalacji) zasilanie urządzenia musi być wyłączone przez system metanometrii. Oznakowanie w nawiasie dotyczy tylko części urządzenia, która jest iskrobezpieczna z poziomem zabezpieczenia ia, przyłącza światłowodowego samoistnie bezpiecznego. Ta część może pracować przy dowolnym stężeniu metanu jeżeli jest wyposażona w wewnętrzny iskrobezpieczny zasilacz z podtrzymaniem bateryjnym z poziomem zabezpieczenia ia.

W urządzeniach **kategorii M1** może być stosowana budowa przeciwwybuchowa z oznakowaniem **ia, ma, op is**. Zastosowanie pozostałych sposobów budowy przeciwwybuchowej powoduje zaliczenie urządzenia do kategorii M2.

#### 6.4. Kable światłowodowe dla kopalnianych sieci telekomunikacyjnych

Do produkcji kabli światłowodowych wykorzystuje się włókna światłowodowe o zewnętrznej średnicy 125  $\mu\text{m}$ :

- wielomodowe gradientowe o średnicy rdzenia 50  $\mu\text{m}$  (oznakowanie G50, lub 50/125),
- wielomodowe gradientowe o średnicy rdzenia 62,5  $\mu\text{m}$  (oznakowanie G62,5 lub 62,5/125),
- jednomodowe o średnicy rdzenia około 8÷9  $\mu\text{m}$ :
  - z nieprzesuniętą dyspersją (oznakowanie J),
  - z nieprzesuniętą dyspersją o podwyższonej odporności na zginanie (oznakowanie Ja, Jb),
  - z niezerową dyspersją (oznakowanie Jn).

Najistotniejsze parametry transmisyjne włókien wykorzystywanych do produkcji kabli światłowodowych przez firmę TELE-FONIKA Kable S.A. pokazano w tabeli 6.1.

### Wybrane parametry transmisyjne włókien światłowodowych [TF-KABLE]

Tabela 6.1.

Parametr	Długość fali	Jednostka	J	Ja, Jb	Jn	G50	G62,5
Tłumienność jednostkowa	850 nm	dB/km				≤2,6	≤2,9
	1310 nm		≤0,35	≤0,35		≤0,6	≤0,7
	1550 nm		≤0,22	≤0,22	≤0,2		
Szerokość pasma przenoszenia	850 nm	MHz·km				>500	>200
	1300 nm					>500	>500

Wybór określonego typu kabla światłowodowego instalowanego w kopalni zależy od jego zastosowania. W tym przypadku należy wziąć pod uwagę przede wszystkim:

- miejsce instalacji,
- technikę instalowania,
- odległość transmisji.

Uwzględniając te czynniki należy zwrócić uwagę na następujące podstawowe elementy:

- centralny element nośny,
- włókno optyczne,
- tubę chroniącą włókna,
- uszczelnienie,
- wzmocnienie,
- powłokę zewnętrzną.

Jak wynika z tabeli 6.1. włókna jednomodowe odznaczają się niską tłumiennością, przez co nadają się do transmisji na dłuższe odległości. Najmniejsza tłumienność występuje przy pewnych długościach fali świetlnej – tak zwanych oknach transmisyjnych: 1310 nm (II okno transmisyjne) i 1550 nm (III okno transmisyjne). Włókna jednomodowe umożliwiają transmisje o przepływności na poziomie Tb/s.

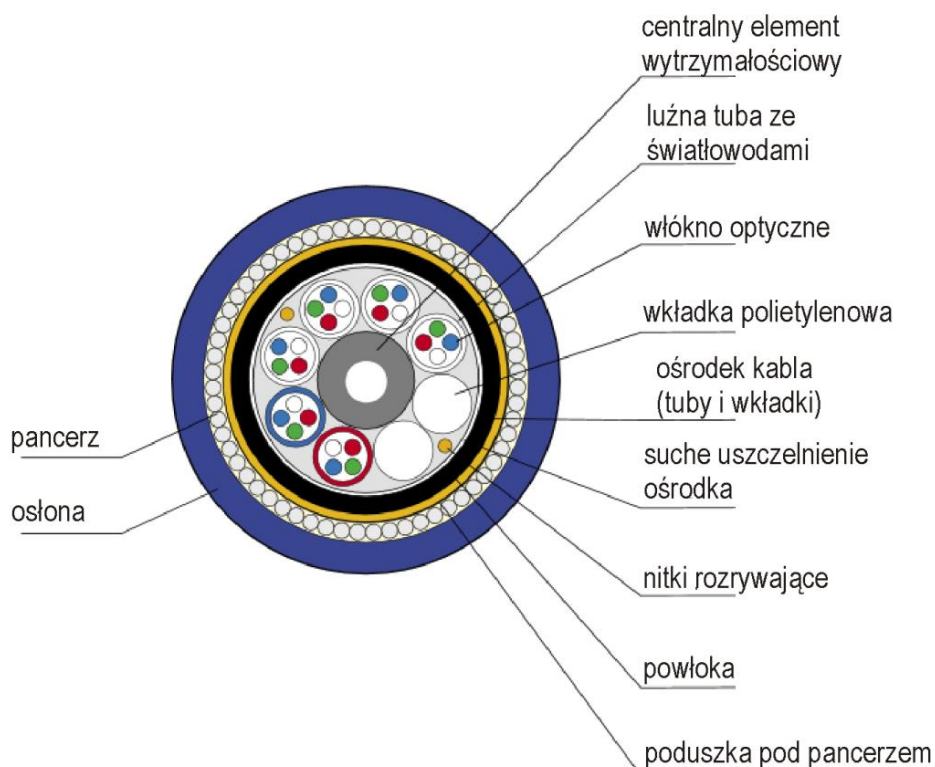
W światłowodach gradientowych są wykorzystywane przeważnie fale o długościach 850 nm i 1300 nm. Dyspersja modowa w światłowodach gradientowych powoduje ograniczenie przepływności transmisji. Najważniejszym parametrem transmisyjnym tych światłowodów jest pasmo przenoszenia wyrażone jako iloczyn długości i częstotliwości (MHz·km) co oznacza, że im dłuższy światłowod tym mniejsza jest maksymalna możliwa przepływność.

W zależności od konstrukcji i zastosowania kable światłowodowe można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- kable wewnętrzne – używane wewnątrz budynków np. w dyspozytorniach centralach i serwerowniach,

- kable zewnętrzne – do instalowania w ziemi, kanalizacjach kablowych, w szybach oraz w poziomych wyrobiskach podziemnych; w tych przypadkach najczęściej stosuje się kable samonośne, kanałowe i opancerzone,
- kable uniwersalne – można je stosować w instalacjach zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych.

W niniejszym rozdziale przedstawiono przykłady kabli światłowodowych skonstruowanych i produkowanych specjalnie dla kopalń podziemnych. Na rysunku 6.3 pokazano przekrój poprzeczny kabla YOTKGtsFoyn.



Rys. 6.3. Przekrój poprzeczny kabla YOTKGtsFoyn

Jest to optotelekomunikacyjny kabel górniczy (OTKG), tubowy (luźna tuba) z suchym uszczelnieniem osrodka (ts), z powłoką polwinitową (Y), opancerzony drutami stalowymi okrągłymi (Fo), z osłoną ochronną polwinitową nierozprzestrzeniającą płomienia (yn). Według katalogu może on zawierać do 72 włókien światłowodowych.

Pierwsza tuba jest koloru czerwonego, jest to tzw. tuba licznikowa (od której zaczyna się numeracja poszczególnych tub), druga tuba, obok jest koloru niebieskiego. Jest to tzw. tuba kierunkowa, określająca kierunek numeracji pozostałych tub. Na osrodek kabla nałożona jest wzdłużnie sucha zaporą przeciwwilgociową o grubości 0,2 mm chroniąca środek kabla OTKG przed wnikaniem wilgoci do środka kabla. Jest to tzw. taśma puchnąca, czyli taśma rozszerzająca się pod wpływem wilgoci i zasklepiająca uszkodzone miejsce.

Przykład optotelekomunikacyjnego kabla górniczego giętkiego, bez pancierza, z elastycznymi powłokami z tworzyw o wysokim indeksie tlenowym przystosowanego do



szczególnie trudnych warunków pracy typu ZW-(QG) GNOTKSdD 6J przedstawiono na rysunku 6.4.



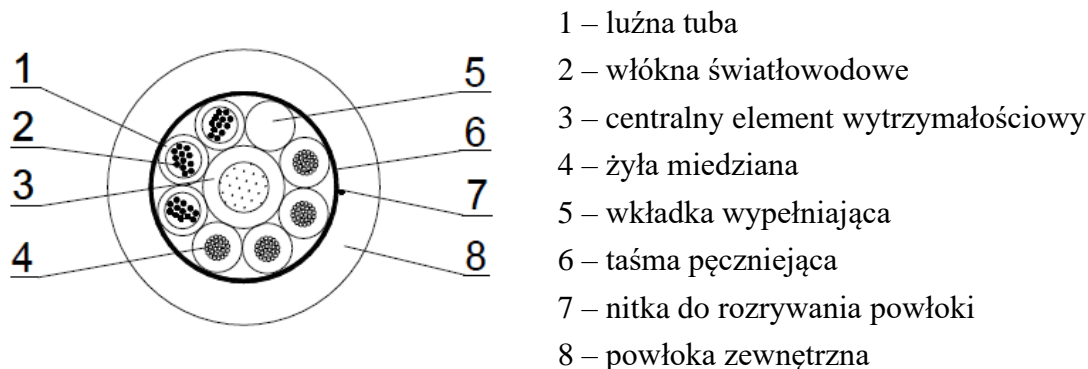
Rys. 6.4. Przykład optotelekomunikacyjnego kabla górniczego typu ZW-(QG)GNOTKSdD 6J przystosowanego do szczególnie trudnych warunków pracy

W kopalniach może być on wykorzystywany do łączenia końcowych elementów dołowej sieci światłowodowej (np. kamer, sterowników maszyn czy urządzeń) z przełącznicami czy stacjami lokalnymi. Dotyczy to w szczególności np. połączenia ścianowego pociągu aparaturowego ze stałą infrastrukturą światłowodową. Prowadzone były również próby połączenia kombajnu ścianowego ze stanowiskiem operatorskim i układem wizualizacji zainstalowanym w chodniku przyścianowym. Kabel ten może być ciągnięty przez kombajn i prowadzony w zastawkach przenośnika zgrzeblowego ścianowego.

Kabel ZW-(QG)GNOTKSdD 6J zawiera moduł optyczny wyposażony w sześć włókien światłowodowych gradientowych (G50 lub G62,5) lub jednomodowych J. Włókna są umieszczone w ścisłej tubie (S) buforowanej, w której warstwa wewnętrzna to materiał akrylowy, a warstwa zewnętrzna jest poliamidowa. Moduł optyczny jest wzmocniony przędzą dielektryczną aramidową (d), a następnie pancierzem zbudowanym z prętów dielektrycznych FRP (koloru białego na rys. 6.4). Ośrodek kabla jest chroniony kilkoma warstwami powłok i wzmocnień. Wewnętrzną powłokę stanowi czarna guma termoplastyczna, która następnie znów wzmocniona jest żółtą (rys. 6.4) aramidową przędzą dielektryczną. Powłoka zewnętrzna jest dwuwarstwowa (QG); warstwę wewnętrzną stanowi guma termoplastyczna (3 mm), a warstwa zewnętrzna o grubości 1,5 mm jest zbudowana z niepalnego poliuretanu.

Wadą kabli światłowodowych jest brak możliwości zdalnego zasilania urządzeń abonenckich. Przykładem konieczności zdalnego zasilania może być instalacja kamer ze światłowodową transmisją obrazu. Tę niedogodność mogą usunąć kable hybrydowe, zawierające zarówno żyły miedziane, jak i włókna światłowodowe. W niektórych przypadkach takie kable są produkowane (w niewielkich z reguły ilościach) dla firm produkujących i instalujących systemy wymagające takich kabli. Na rysunku 6.5 pokazano konstrukcję (przekrój) kabla hybrydowego typu Z-XOTKts 2 – 96 + 4x2,5 mm<sup>2</sup>, który zawiera dwie żyły wielodrutowe o przekroju 2,5 mm<sup>2</sup> oraz od 2÷96 włókien światłowodowych.

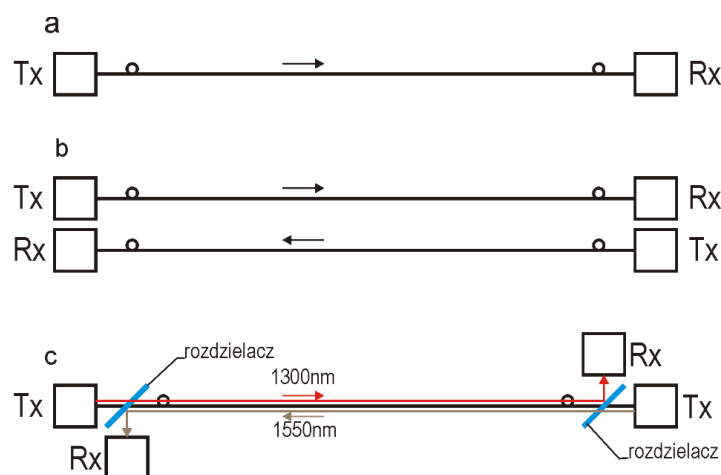
Dużą niedogodnością stosowania tego typu kabli hybrydowych jest jego sposób zakończenia w urządzeniu abonenckim czy zestawie rozdzielczym, jak również naprawa uszkodzonego odcinka tego kabla w wyrobisku. Najczęściej wiąże się to z wymianą całego odcinka uszkodzonego kabla, a instalacja zakończeń, jak i naprawy, odbywają się u producenta sprzętu czy w warsztatach na powierzchni.

Rys. 6.5. Przykład konstrukcji kabla hybrydowego typu Z-XOTKts 2 – 96 +4x2,5 mm<sup>2</sup>

## 6.5. Wykorzystanie włókna światłowodowego

Łącze między dwoma punktami w kopalnianej sieci światłowodowej może mieć następujące konfiguracje:

- Jedno włókno światłowodowe; transmisja przebiega w jednym kierunku od nadajnika Tx do odbiornika Rx (rys. 6.6 a).
- Dwa włókna światłowodowe, każde wykorzystywane jest dla odrębnego kierunku transmisji (rys. 6.6 b).
- Jedno włókno światłowodowe, w którym transmisja jest dwukierunkowa z wykorzystaniem zwieleniania w dziedzinie długości fali WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) (rys. 6.6 c). W tej konfiguracji w jednym kierunku wykorzystuje się II okno transmisyjne (1300 nm), a w drugim kierunku III okno transmisyjne (1550 nm). Rozdzielanie strumieni światła odbywa się przez rozdzielacze (diplexery). Tego rodzaju wykorzystanie włókna światłowodowego jest oznaczane skrótowo **WFM BiDi** (*Bidirectional* – dwukierunkowy).



Rys. 6.6. Konfiguracje łącza światłowodowego

Konfiguracja a) (rys. 6.6) jest stosowana dla transmisji obrazów z kamer z wyjściem analogowym. Sygnał composite video z kamery jest zamieniany na sygnał świetlny w nadajniku (np. VT 4030 firmy IFS) i przekształcany ponownie na sygnał composite video w odbiorniku (np. VR 4030). Konfiguracja b) jest najczęściej stosowana w kopalnianych sieciach światłowodowych. W konfiguracji c) po obu stronach łącza należy zastosować różne

wykonania przyłącza światłowodowego. Wykonania nazywane są jako wykonanie a) (1310 nm nadawanie i 1550 nm odbiór) i wykonanie b) (1550 nm nadawanie i 1310 nm odbiór). Transmisja WDM BiDi pozwala na zwiększenie wykorzystania włókien światłowodowych w istniejących kablach.

## 6.6. Budowa urządzeń sieci światłowodowej w kopalniach metanowych

Dla kopalń metanowych urządzenia wykorzystujące technikę światłowodową są projektowane i budowane dla konkretnego zastosowania elementów (urządzeń) dostępnych na rynku tak, aby spełnić wymagania funkcjonalne oraz ewentualne wymogi budowy przeciwwybuchowej. Z punktu widzenia budowy przeciwwybuchowej urządzeń światłowodowych można wyróżnić:

- Urządzenia instalowane w pomieszczeniach niezagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego (na powierzchni lub na dole w pomieszczeniach ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu). Tego rodzaju urządzenia powinny mieć gwarantowane zasilanie z sieci elektroenergetycznej (np. z siłowni centrali ogólnokładowej lub dyspozytorni) zawierające między innymi: zasilacz stałoprądowy z buforem akumulatorowym, względnie zasilacz UPS. Przyłącza światłowodowe takich urządzeń powinny być samoistnie bezpieczne i posiadać oznakowanie op is.
- Urządzenia kategorii M2 instalowane w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem. W takich przypadkach urządzenia światłowodowe są zasilane bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej (zasilacz znajduje się wewnątrz urządzenia) lub z zasilacza zewnętrznego z wyjściem iskrobezpiecznym (z oznakowaniem ib). Tego rodzaju zasilacze przeciwwybuchowe muszą być jednak wyłączane przez system metanometrii automatycznej w przypadku, gdy stężenie metanu przekroczy wartość dopuszczalną. Przyłącza światłowodowe takich urządzeń powinny posiadać oznakowanie op is, a zewnętrzne przyłącza elektryczne (np. RS lub FE z rys. 6.7) powinny posiadać oznakowanie (poziom zabezpieczenia) ia. Zewnętrzne przyłącza elektryczne dla połączeń lokalnych (np. przyłączenie zewnętrznej klawiatury) mogą mieć oznakowanie ib. Elementy składowe urządzenia z oznakowaniem ia mogą być wyposażone w podtrzymanie bateryjne.
- Urządzenia kategorii M1 instalowane w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem. Wszystkie elementy wewnętrzne urządzenia muszą być iskrobezpieczne z zabezpieczeniem ia, a przyłącza światłowodowe muszą być samoistnie bezpieczne. Urządzenia są zasilane z zewnętrznych zasilaczy z podtrzymaniem bateryjnym i iskrobezpiecznym obwodem wyjściowym z oznakowaniem (poziomem zabezpieczenia) ia. Mogą pracować przy dowolnym stężeniu metanu. Czas podtrzymania baterijnego jest zależny od pojemności baterii i poboru mocy przez urządzenie. Istnieją też mobilne urządzenia kategorii M1 (np. radiotelefony) z wewnętrznym akumulatorem, które mogą pracować przy dowolnym stężeniu metanu.

Pod względem funkcjonalnym w kopalnianych sieciach światłowodowych można wyróżnić (np. rys. 6.7, rys. 6.9, rys. 6.11):

- Urządzenia aktywne zawierające typowe elementy sieci komputerowych, takie jak:
  - przełączniki SW pozwalające tworzyć węzły sieci komputerowej,

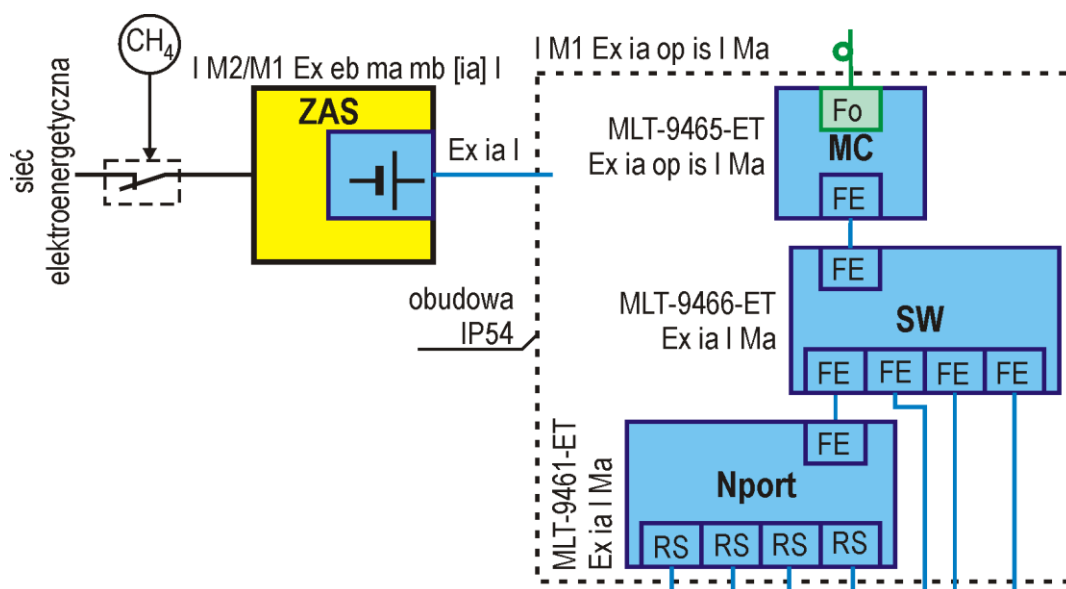
- konwertery mediów MC (Fo/FE) pozwalające przyłączyć sieć światłowodową (przyłącze Fo) do przełączników z przyłączami elektrycznymi (FE),
- serwery porów szeregowych pozwalające przyłączyć porty szeregowe (RS485, RS422, RS232) do sieci Ethernet,
- moduły pomiarowe IoLogik pozwalające przyłączyć wejścia i wyjścia dwustanowe do sieci Ethernet.

W zależności od lokalizacji i sposobu realizacji budowy przeciwybuchowej elementy składowe mogą być budowy zwykłej lub iskrobezpiecznej, natomiast przyłącza światłowodowe muszą być oznakowane jako op is, a zewnętrzne przyłącza elektryczne (RS, FE, dwustanowe) muszą być oznakowane jako ia. Urządzenia aktywne są konfigurowane dla konkretnego zastosowania.

- Urządzenia bierne, głównie złącza (mufy) oraz przełącznice światłowodowe służące do łączenia między sobą kabli światłowodowych.
- Urządzenia złożone zawierające zarówno elementy aktywne, jak i przełącznice światłowodowe.

### 6.6.1. Urządzenia kategorii M1

Urządzenie kategorii M1 musi zawierać elementy iskrobezpieczne z oznakowaniem Ex ia I Ma oraz przyłącza światłowodowe z oznakowaniem Ex op is I Ma. Wszystkie elementy muszą być montowane w obudowie o stopniu ochrony co najmniej IP 54. Urządzenie powinno być zasilane z zasilacza z podtrzymaniem baterijnym z iskrobezpiecznym obwodem wyjściowym z poziomem zabezpieczenia ia. Na rysunku 6.7 pokazano uproszczony schemat blokowy stacji lokalnej typu RSS-1 firmy ELEKTROMETAL [ELEKTROMETAL].



Rys. 6.7. Uproszczony schemat blokowy stacji lokalnej RSS-1

Na rysunku 6.7. kolorem niebieskim zaznaczono urządzenia i przyłącza iskrobezpieczne, kolorem zielonym zaznaczono przyłącze światłowodowe samoistnie bezpieczne, a kolorem

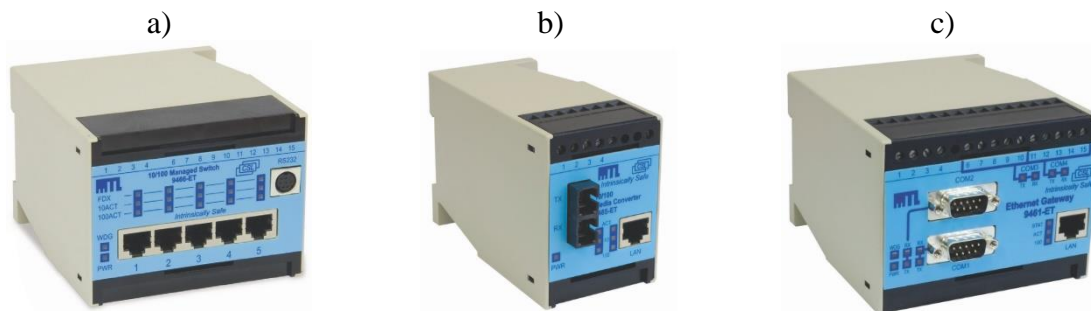
żółtym zaznaczono zabezpieczenia przeciwwybuchowe dla urządzeń kategorii M2 (mb – hermetyzacja, eb – budowa wzmocniona).

W pokazanym przykładzie stacja RSS-1 zawiera następujące elementy:

- przełącznik iskrobezpieczny pięcioportowy SW typu MLT-9466-ET,
- iskrobezpieczny serwer portów szeregowych Nport typu MLT-9461 (RS485/RS422, RS232), który umożliwia włączenie portów szeregowych do sieci z protokołami TCP/IP,
- iskrobezpieczny konwerter mediów MC typu MLT-9465-ET z przyłączem światłowodowym samoistnie bezpiecznym.

Stacja jest zasilana z iskrobezpiecznego zewnętrznego zasilacza (z podtrzymaniem baterijnym) o poziomie zabezpieczenia ia. Posiada oznakowanie I M1 Ex ia op is I Ma i może pracować przy dowolnym stężeniu metanu.

Na rysunku 6.8 pokazano widoki wybranych elementów składowych stacji lokalnej RSS-1. Kolor niebieski płyt czołowych tych elementów zwyczajowo oznacza urządzenie iskrobezpieczne (lub bezpieczne optycznie).



Rys. 6.8 Widoki iskrobezpiecznych elementów firmy MTL: a) przełącznik zarządzalny MTL-9466-ET, b) konwerter mediów MTL-9465-ET, c) serwer portów szeregowych MTL-9461-ET

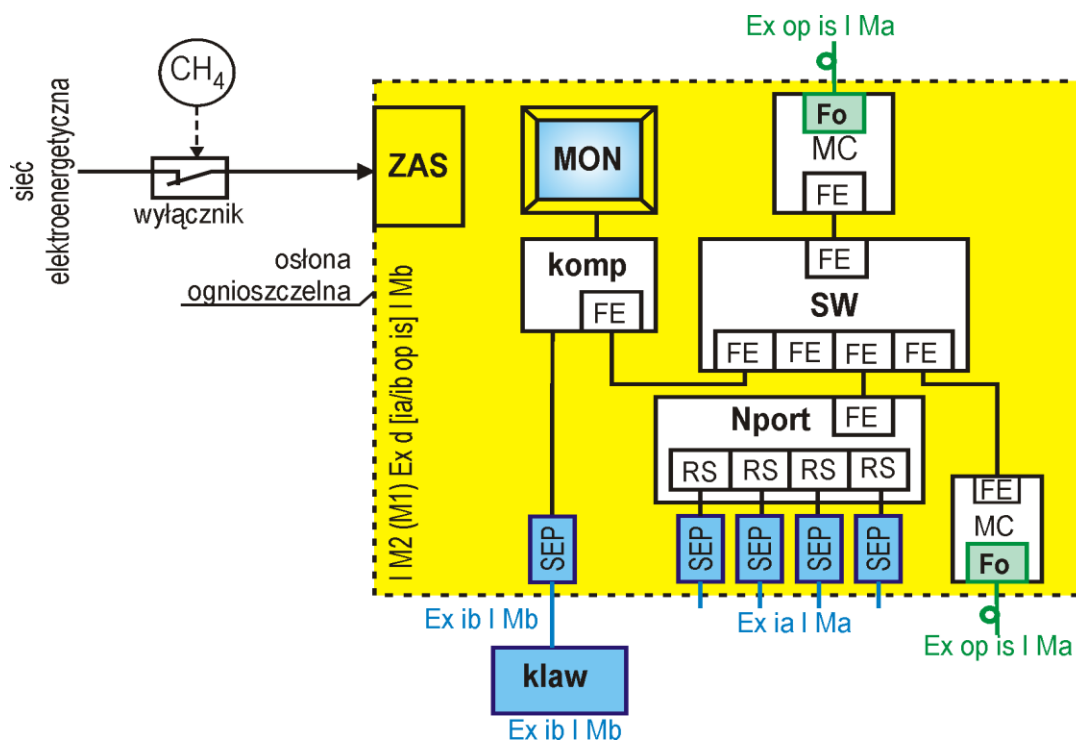
### 6.6.2. Urządzenia kategorii M2

Przykładem urządzenia kategorii M2 jest **ognioszczelne optoelektryczne stanowisko wizualizacji OOSW** opracowane przez firmę Timler [OOSW]. Producent przewiduje różne wykonania tego urządzenia w zależności od jego przeznaczenia. Na rysunku 6.9 pokazano uproszczony schemat blokowy urządzenia OOSW w wersji B zawierający:

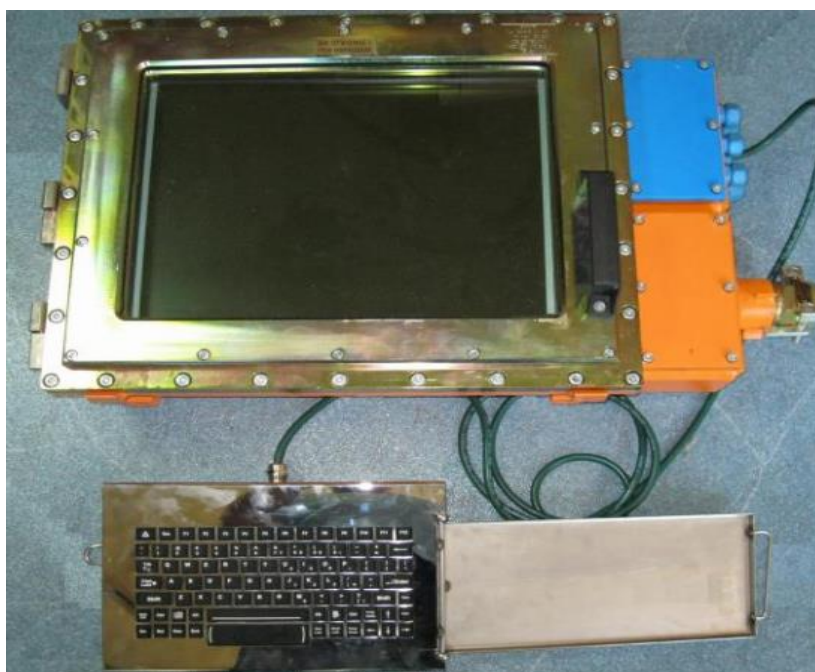
- separatory SEP z wyjściem iskrobezpiecznym (ia) dla portów RS485,
- separator SEP z wyjściem iskrobezpiecznym (ib) dla klawiatury,
- serwer portów szeregowych Nport,
- przełącznik sieciowy SW (określany często w języku potocznym jako „switch”),
- konwerter mediów MC z wyjściem optycznym (Fo) samoistnie bezpiecznym (Ex op is I),
- komputer (oznaczenie komp na rys. 6.9) oraz monitor MON,
- zewnętrzna klawiatura iskrobezpieczna z poziomem zabezpieczenia ib.

Elementy są umieszczone w certyfikowanej standardowej osłonie ognioszczelnej produkcji firmy BOHAMET. Osłona ta jest wyposażona w okno, pod którym umieszczony jest monitor LCD 19” (rys. 6.10). Urządzenie jest zasilane z sieci elektroenergetycznej. W przypadku gdy

stężenie metanu ( $\text{CH}_4$ ) przekroczy próg alarmowy (2% lub mniej), system metanometrii automatycznie wyłącza zasilanie urządzenia OOSW. Do komputera jest przyłączona klawiatura (klaw na rys. 6.9) za pośrednictwem separatora SEP. Klawiatura, jak i przyłącze do komputera, jest iskrobezpieczne o poziomie zabezpieczenia  $\text{ib}$ . Urządzenie OOSW posiada oznakowanie  $\text{I M2 (M1) Ex d [ia/ib op is] I Mb}$ .



Rys. 6.9. Uproszczony schematu blokowego ognioszczelnego optoelektrycznego stanowiska wizualizacji OOSW w wersji B



Rys. 6.10. Widok ognioszczelnego optoelektrycznego stanowiska wizualizacji OOSW



Producenci uniwersalnych osłon przeciwwybuchowych dla urządzeń górniczych kolorem pomarańczowym oznaczają przyłącze (urządzenie) ognioszczelne, a kolorem niebieskim komorę dla przyłączania urządzeń (linii kablowych) iskrobezpiecznych względnie bezpiecznych optycznie (np. rys. 6.10).

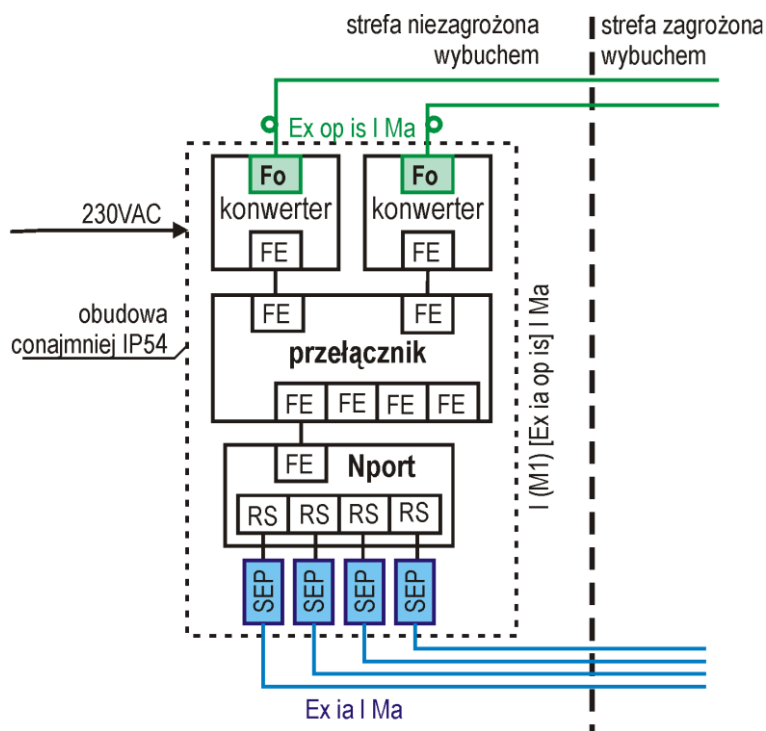
### 6.6.3. Urządzenia teletransmisyjne instalowane w strefie bezpiecznej

Niektóre urządzenia teletransmisyjne mogą być instalowane w strefie bezpiecznej:

- na powierzchni (np. na zapleczu dyspozytorni),
- na dole w pomieszczeniach o stopniu niebezpieczeństwa wybuchu „a”; często są to pomieszczenia głównych rozdzielń 6 kV w rejonie szybów wdechowych.

W przypadku takiej lokalizacji mogą to być urządzenia budowy zwykłej z wyjątkiem przyłączy światłowodowych (dla kabli instalowanych w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem), które muszą być samoistnie bezpieczne (Ex op is I Ma) oraz przyłączy elektrycznych (tzw. niskoprądowych - dla kabli telekomunikacyjnych instalowanych w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem), które muszą być iskrobezpieczne z poziomem zabezpieczenia ia (Ex ia I Ma). Obudowa urządzeń instalowanych na powierzchni jest zależna od miejsca instalacji (często w odpowiednim stojaku), natomiast obudowa urządzeń instalowanych na dole w pomieszczeniach o stopniu niebezpieczeństwa wybuchu „a” musi mieć stopień ochrony co najmniej IP54.

Przykładem urządzenia teletransmisyjnego przywzianego do instalacji na dole w pomieszczeniach o stopniu niebezpieczeństwa wybuchu „a” jest koncentrator światłowodowy RMX-1 (RMX-2) firmy RNT S.A. [RMX]. Na rysunku 6.11 pokazano uproszczony schemat blokowy koncentratora RMX.



Rys. 6.11. Schemat blokowy koncentratora RMX firmy RNT



Koncentrator RMX-1 zawiera wewnątrz urządzenia budowy zwykłej z wyjątkiem przyłączy zewnętrznych. Przyłącza RS485 są wyposażone w separatory iskrobezpieczne SEP dzięki czemu obwody RS mogą być prowadzone do przestrzeni zagrożonej wybuchem. Przyłącza światłowodowe (Fo) są wyposażone w konwertery samoistnie bezpieczne (Ex op is I) dzięki czemu linie światłowodowe można prowadzić w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Koncentrator RMX-1 posiada oznakowanie I (M1) [Ex ia op is Ma] I.

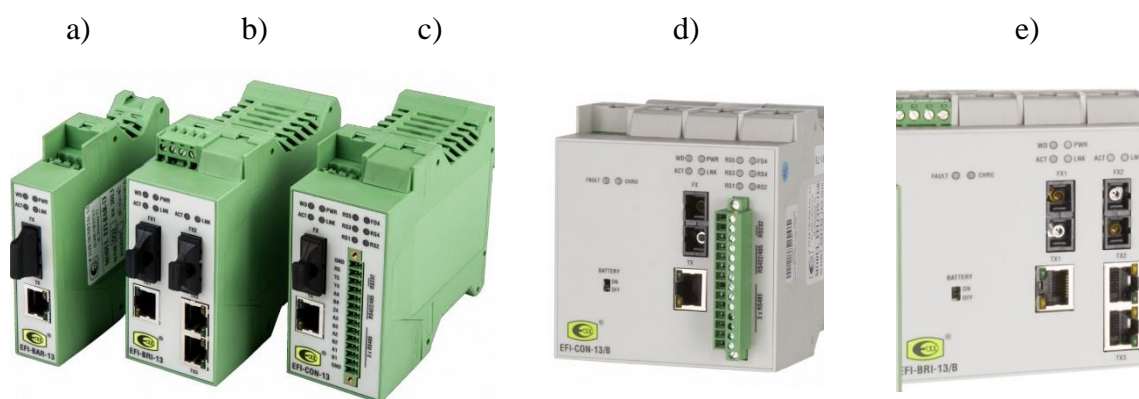
## 6.7. Przykłady urządzeń teletransmisyjnych dla kopalń metanowych

### 6.7.1. Elementy urządzeń teletransmisyjnych

Rozdział przedstawia przykłady modułów elementów teletransmisyjnych sieci światłowodowych, stosowanych w kopalniach JSW S.A., a przeznaczonych o zabudowy w urządzeniach:

- elektrycznych tzw. „silnopiędowych” np. stacjach transformatorowych, wyłącznikach wieloodptywowych, polach rozdzielczych itp.,
- teletransmisyjnych o odpowiednich obudowach własnych np.:
  - osłony ognioszczelne dla urządzeń kategorii M2,
  - obudowy umownie nazwane „iskrobezpiecznymi” dla urządzeń kategorii M1,
  - obudowy metalowe o stopniu ochrony co najmniej IP54 dla urządzeń instalowanych w strefach bezpiecznych.

Na rysunku 6.12 pokazano urządzenia z serii EFI-\*\*-13 firmy ELEKTROMETAL [ELEKTROMETAL]. Elementy elektroniczne tych urządzeń zabudowane są w obudowach modułowych typu ME 45 UT/FE o szerokości 45 mm produkcji firmy Phoenix Contact (podstawa obudowy wykonana jest z tworzywa sztucznego). Podstawa tej obudowy posiada także zatrzask umożliwiający zamontowanie jej na szynie TS 35 mm.



Rys. 6.12. Widoki modułów (przeznaczonych do zabudowy w urządzeniach elektrycznych i teletransmisyjnych) firmy ELEKTROMETAL: a) EFI-BAR-13, b) EFI-BRI-13, c) EFI-CON-13, d) EFI-CON-13/B, e) EFI-BRI-13/B

Moduł EFI-BAR-13 (rys. 6.12 a) jest konwerterem mediów (FE/Fo) między nieiskrobezpiecznym portem Ethernet 100Base-TX (złącze RJ45) a samoistnie bezpiecznym przyłączem światłowodowym (złącze SC). Posiada oznakowanie I (M1) [Ex op is Ma] I.

Moduł EFI-BRI -13 (rys. 6.12 b) jest przełącznikiem zawierającym 3 porty FE (100Base-TX) oraz 2 porty światłowodowe Fo (100Base-FX) samoistnie bezpieczne. Moduł EFI-BRI -13/B (rys. 6.12.e) jest przełącznikiem wyposażonym w podtrzymanie bateryjne.

Moduł EFI-CON-13 (rys. 6.12 c) jest serwerem portów szeregowych. Posiada 3 porty RS485, 1 czteroprzewodowy port RS485/RS422, 1 port RS232 a także port FE (100Base-TX) oraz port światłowodowy Fo (100Base-FX) samoistnie bezpieczny. Porty FE i Fo umożliwiają realizację topologii pierścienia w sieci Ethernet.

Moduł EFI-CON-13/B (rys. 6.12 d) spełnia podobne funkcje jak moduł EFI-CON-13 oraz posiada dodatkowo wewnętrzną baterię, która zapewnia czas autonomicznej pracy bateryjnej na około 8 godzin. Porty światłowodowe modułów EFI-CON-13, EFI-BRI-13, EFI-BAR-13 umożliwiają podłączenie dwóch światłowodów jednomodowych, lub jednego światłowodu jednomodowego dla dwukierunkowej transmisji (WDM BiDi).

W przypadku zasilania z zasilacza z wyjściem iskrobezpiecznym z poziomem zabezpieczenia ia, moduły EFI-BRI-13 i EFI-CON-13 są urządzeniami iskrobezpiecznymi z oznakowaniem I M1 Ex ia [op is Ma] I Ma, a w przypadku zasilania z innego zasilacza są urządzeniami z przyłączem światłowodowym samoistnie bezpiecznym i posiadają oznakowanie I (M1) [Ex op is Ma] I.

Analogiczne rozwiązania techniczne modułów serwerów czy przełączników posiadają inni producenci urządzeń światłowodowych dla górnictwa. Na rysunku 6.13 pokazano np. serwer portów szeregowych IPS-2 firmy ATUT (stosowany w KWK Pniówek) z oznakowaniem I M1 Ex ia op is I Ma, zawierający 4 porty RS485/422, port optyczny 100Base-FX oraz port Wi-Fi. Na rysunku 6.14 pokazano iskrobezpieczny przełącznik ISE-1 firmy ATUT z oznakowaniem I M1 Ex ia I Ma, zawierający 5 portów 10/100Base-TX.



Rys. 6.13. Serwer portów szeregowych ISPS-2 firmy ATUT



Rys. 6.14. Iskrobezpieczny przełącznik ISE-1 firmy ATUT

Na rysunku 6.15 pokazano przełącznik światłowodowy SFX-100M firmy SOMAR. Jest to urządzenie budowy zwykłej. W zależności od wersji może być przełącznikiem zarządzalnym lub niezarządzalnym wyposażonym w 4÷14 portów FE (10/100Base-TX) oraz jeden lub dwa przyłącza światłowodowe samoistnie bezpieczne (100Base-FX).



Rys. 6.15. Przełącznik światłowodowy SFX-100M



Rys. 6.16. Iskrobezpieczny serwer portów szeregowych SM-SPS1

Na rysunku 4.16 pokazano iskrobezpieczny serwer portów szeregowych SM-SPS1 firmy SOMAR. Jest wyposażony w 2 lub 4 interfejsy RS485 oraz przyłącze światłowodowe samoistnie bezpieczne (100Base-FX). Posiada oznakowanie I M1/M2 Ex ia/ib op is I Ma/Mb.

Na rysunku 6.17 pokazano konwerter mediów MKE-S/1 firmy Carboautomatyka, a na rysunku 6.18 pokazano konwerter mediów CFC-\* firmy HASO. Oba konwertery są urządzeniami budowy zwykłej z samoistnie bezpiecznym przyłączem światłowodowym i posiadają oznakowanie I (M1) [Ex op is]. Konwerter CFC-\* po wyposażeniu w moduł SFP typu CFC-SFP/M może być konwerterem mediów 10/100Base-TX na 100Base-FX, a po wyposażeniu w moduł SFP typu CFC-SFP/G może być konwerterem mediów 10/100/1000Base-TX na 1000Base-LX.



Rys. 6.17. Media konwerter MKE-S/1



Rys. 6.18. Konwerter mediów CFC-\*

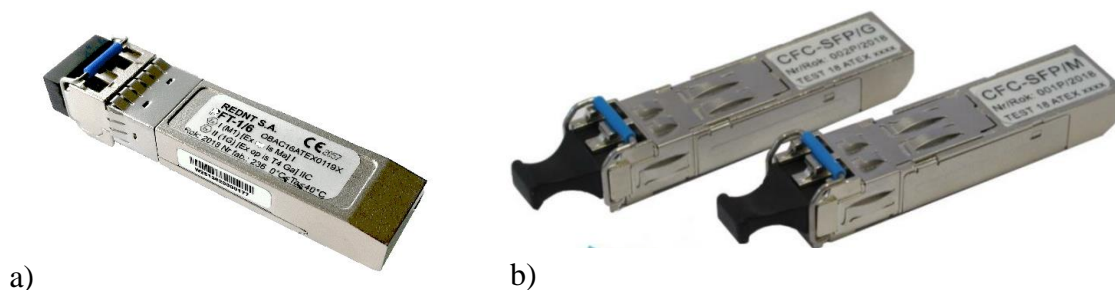
Porty przełączników mogą być wyposażone w gniazda o zestandaryzowanej konstrukcji dla umieszczenia modułu SFP (*ang. Small form-factor pluggable*) zawierającego nadajnik i odbiornik (rys. 6.19). SFP, mały transceiver SFP, zwany często przez producentów modułem SFP (standard przemysłowy małego wtykowego gigabitowego modułu nadawczo-odbiorczego) jest wymienialnym podczas pracy metalowym elementem, który po podłączeniu do innego urządzenia za pomocą kabla (miedzianego lub światłowodowego) pozwala na transmisję danych; transceiver SFP wkłada się do gniazda (portu) SFP (też często nazywanego modułem SFP) w urządzeniu sieciowym. W sieciach światłowodowych kopalń metanowych moduły SFP muszą być samoistnie bezpieczne (oznakowanie (M1) [Ex op is Ma] I). Moduły SFP mogą mieć przyłącze światłowodowe dla dwóch światłowodów jednomodowych,

pojedynczego światłowodu z zastosowaniem dwukierunkowej transmisji (WDM BiDi) przy przepływności 100 b/s lub 1000 b/s.



Rys. 6.19. Gniazda na moduły SFP w przełączniku

Na rysunku 6.20 pokazano przykłady samoistnie bezpiecznych modułów SFP typu RFT-1/\* (przepływność 1Gb/s) firmy REDNT (a) oraz CFC-SFP/G i CFC-SFP/M (100 Mb/s) firmy HASO (b).



Rys. 6.20. Moduły a) SFP typu RFT-1/6, b) CFC-SFP/G i CFC-SFP/M

Dla transmisji analogowego sygnału video (composite video) w sieci światłowodowej niezbędne jest zastosowanie nadajnika sygnału video z wyjściem optycznym oraz odbiornika sygnału video z wejściem optycznym. Przykładem takich urządzeń są nadajnik światłowodowy video SM-VTi1 (rys. 6.21) oraz odbiornik światłowodowy video SM-VR4 (rys. 6.22) firmy SOMAR. Nadajnik SM-VTi1 instalowany w przestrzeni zagrożonej wybuchem jest iskrobezpieczny z samoistnie bezpiecznym przyłączem światłowodowym. Odbiornik SM-VR4 jest instalowany na powierzchni i jest urządzeniem budowy zwykłej, nie posiada żadnego oznakowania przeciwwybuchowego, bo nie posiada nadajnika optycznego.



Rys. 6.21. Iskrobezpieczny nadajnik światłowodowy video SM-VTi1 firmy SOMAR



Rys. 6.22. Wielomodowy odbiornik światłowodowy video SM-VR4 firmy SOMAR



### 6.7.2. Urządzenia teletransmisyjne iskrobezpieczne kategorii M1

W rozdziale przedstawiono przykłady urządzeń teletransmisyjnych kategorii M1, które można stosować w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem metanu i/lub pyłu węglowego i mogą pracować przy dowolnym stężeniu metanu.

Na rysunku 6.23 pokazano widok serwera portów szeregowych SPSG-16 firmy ELEKTROMETAL. Serwer jest umieszczony w obudowie SM300. W serwerze portów szeregowych SPSG-16 mogą być zainstalowane moduły EFI-CON-13 (EFI-CON-13/B z wewnętrznym akumulatorem) i opcjonalnie moduły EFI-BRI. Zaciski portów transmisji szeregowej, zaciski portu 100Base-TX oraz zaciski zasilania wyprowadzone są na listwę zaciskową. Urządzenie wyposażone jest we wpusty DP lub DPT umożliwiające podłączenie zewnętrznego zasilacza iskrobezpiecznego, torów transmisji szeregowej i Ethernetu oraz światłowodu do przyłącza z zabezpieczeniem op is.



Rys. 6.23. Serwer portów szeregowych SPSG-16 firmy ELEKTROMETAL, oznakowanie I M1 Ex ia [op is Ma] I Ma [ELEKTROMETAL]

Na rysunku 6.24 pokazano iskrobezpieczny konwerter mediów typu IK1-R/F z przyłączem hybrydowym (dla Fo i Cu z boku urządzenia) firmy HASO.



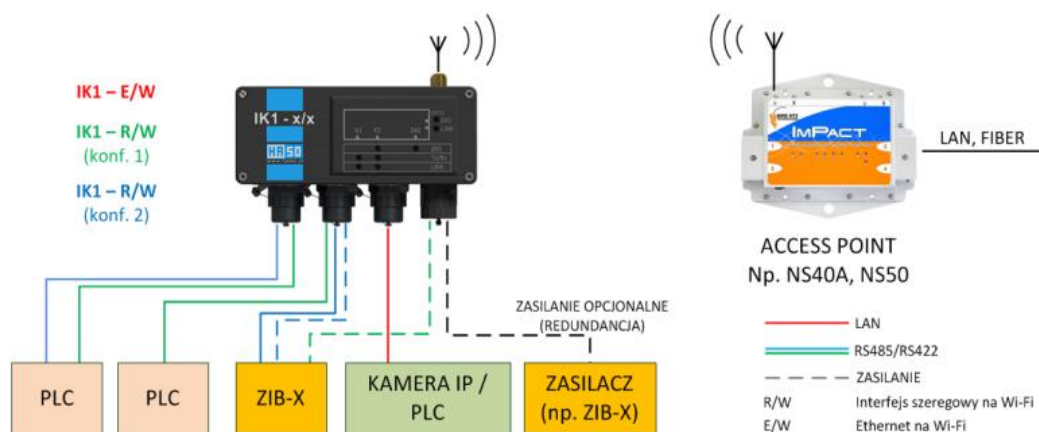
Rys. 6.24. Widok iskrobezpiecznego konwertera mediów typu IK1-R/F firmy HASO z przyłączem hybrydowym (dla Fo i Cu z boku urządzenia), oznakowanie I M1 Ex ia op is I Ma [HASO]

**Iskrobezpieczny konwerter** typu IK1 – x/x jest urządzeniem służącym do konwersji sygnałów cyfrowych w standardach: szeregowym RS232/422/485, Ethernet 100base-TX, optycznym 100base-FX, radiowym Wi-Fi IEEE 802.11b/g oraz Modbus/RTU RS-xxx i Modbus/TCP. Występuje w następujących wersjach:

- IK1-R/F - konwerter standardu RS232/422/485 na światłowód 100 Mb/s (rys. 6.24),
- IK1-R/W - konwerter standardu RS232/422/485 na standard Wi-Fi,
- IK1-R/E - konwerter standardu RS232/422/485 na Ethernet 100 Mb/s,

- IK1-E/F - konwerter standardu Ethernet 100 Mb/s na światłowód 100 Mb/s,
- IK1-E/W - konwerter standardu Ethernet 100 Mb/s na standard Wi-Fi,
- IK1-RM/F - konwerter standardu Modbus/RTU RS-xxx na standard Modbus/TCP poprzez światłowód 100 Mb/s,
- IK1-RM/E - konwerter standardu Modbus/RTU RS-xxx na standard Modbus/TCP poprzez Ethernet 100 Mb/s.

Konwerter może być zasilany redundantnie przez złącze zasilania, złącze hybrydowe (zasilanie doprowadzone wraz ze światłowodem) lub przez złącze kanału drugiego transmisji szeregowej (współpraca z zasilaczem z wyjściem iskrobezpiecznym typu ZIB-x). Na rysunku 6.25 pokazano przykład wykorzystania konwertera IK1-x/x.



Rys. 6.25. Przykład wykorzystania konwertera mediów typu IK1-x/x w kopalni

Na rysunku 6.26 pokazano iskrobezpieczne przełączniki ISG-1 firmy HASO (rys. 6.26 a) oraz BCOM Switch 8/\* firmy BECKER MINING SYSTEM (rys. 6.26 b). Przełączniki mają oznakowanie I M1 Ex ia op is I Ma. Przełącznik ISG-1 posiada od dwóch do ośmiu portów 10/100Base-TX lub 100Base-FX w zależności od konfiguracji. Przełącznik BCOM posiada osiem portów optycznych samoistnie bezpiecznych. Niektóre z portów mogą pracować w pierścieniu.

Podobne rozwiązania mają również inne firmy specjalizujące się w produkcji urządzeń teletransmisyjnych dla górnictwa np. przełącznik ISE-3FX firmy ATUT, który ma trzy przyłącza światłowodowe samoistnie bezpieczne. W zależności od konfiguracji przyłącza umożliwiają przyłączenie dwóch włókien lub jednego włókna w układzie dwukierunkowym (WDM BiDi).



a) Rys. 6.26 a) Iskrobezpieczny switch górniczy ISG-1 firmy HASO



b) Rys. 6.26 b) Iskrobezpieczny przełącznik BCOM Switch 8/\* firmy Becker

Iskrobezpieczny przełącznik ethernetowy ISE-17 firmy ELEKTROMETAL może być wyposażony np. moduły EFI-BRI-13 lub EFI-BRI-13/B (rys. 6.12). W urządzeniu najczęściej dostępne są 2 porty 100Base-FX (samoistnie bezpieczne) oraz 3 porty 100Base-TX.

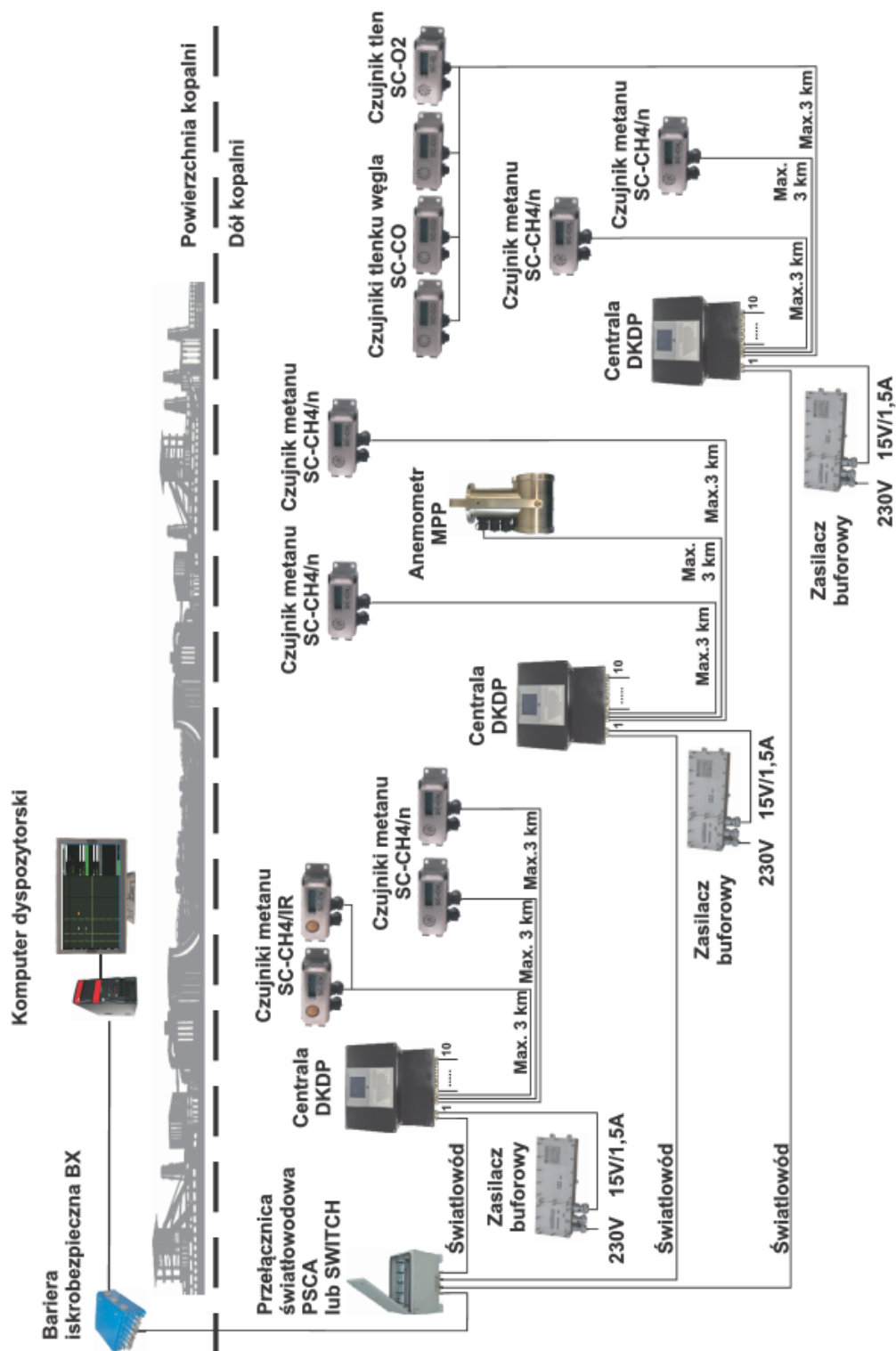


Rys. 6.27. Dołowy koncentrator danych pomiarowych DKPD firmy Carboautomatyka

Na rysunku 6.27 pokazano widok dołowego koncentratora danych pomiarowych DKPD firmy Carboautomatyka. Koncentrator DKPD jest urządzeniem kategorii M1, zawiera wewnątrz komputer z monitorem i klawiaturą, i może być wyposażony w dwa przyłącza światłowodowe, oraz 10 przyłączy pomiarowych wykorzystujących transmisję FSK (dla czujników gazometrycznych) lub RS485. Część przyłączy może być wykorzystana do współpracy z modułami posiadającymi cztery wejścia i wyjścia dwustanowe. Może być wykorzystany w systemach gazometrycznych jako wyniesiona dołowa centrala telemetryczna. Realizuje akwizycję i przetwarzanie danych pomiarowych.

Na rysunku 6.28 pokazano przykład schematu blokowego systemu gazometrycznego wykorzystującego koncentrator SKPD.





Rys. 6.28. Przykład schematu blokowego systemu gazometrycznego z wykorzystaniem koncentratora DKDP [CARBOAUTOMATYKA]

Firma Timler opracowała optoelektroniczne stacje przetwornikowe ALFA-I, ALFA-II, ALFA-III i ALFA-IV [Timler, 2019]. Są to urządzenia z oznakowaniem IM1 Ex ia op is I Ma, które można instalować w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem. Wewnętrzna konfiguracja tych urządzeń (podobnie jak to jest w rozwiązaniach innych firm) zależy od realizowanych funkcji.

### 6.7.3. Urządzenia w osłonie ognioszczelnej

W niektórych przypadkach nie jest konieczna praca urządzeń teletransmisyjnych przy stężeniu metanu powyżej progu alarmowego. Wtedy można zbudować urządzenie teletransmisyjne z elementów budowy zwykłej umieszczonych w osłonie ognioszczelnej, natomiast przyłącza zewnętrzne tak zbudowanych urządzeń muszą być wyposażone w odpowiednie bariery czy separatory z wyjściem oznakowanym jako Ex ia I lub Ex op is I (przypadku przyłącza światłowodowego). Przykładem tego rodzaju urządzenia jest ognioszczelny konwerter PLC-BRI (rys. 6.29) posiadający cechę I M2(M1) Ex d [op is Ma] I Mb wyposażony w przelotowe przyłącze umożliwiające dołączenie sieci PLC (*Power Line Communications* – transmisja danych po sieci elektroenergetycznej) oraz przyłącza światłowodowej sieci Ethernet (Ex op is) 100BaseFX. Umożliwia on dwukierunkową komunikację między siecią PLC a światłowodową siecią Ethernet. Na rysunku 6.30 pokazano optokonwerter OP485d w osłonie ognioszczelnej firmy Carboautomatyka. Jest to serwer portów szeregowych RS-485 z przyłączem optycznym samoistnie bezpiecznym.



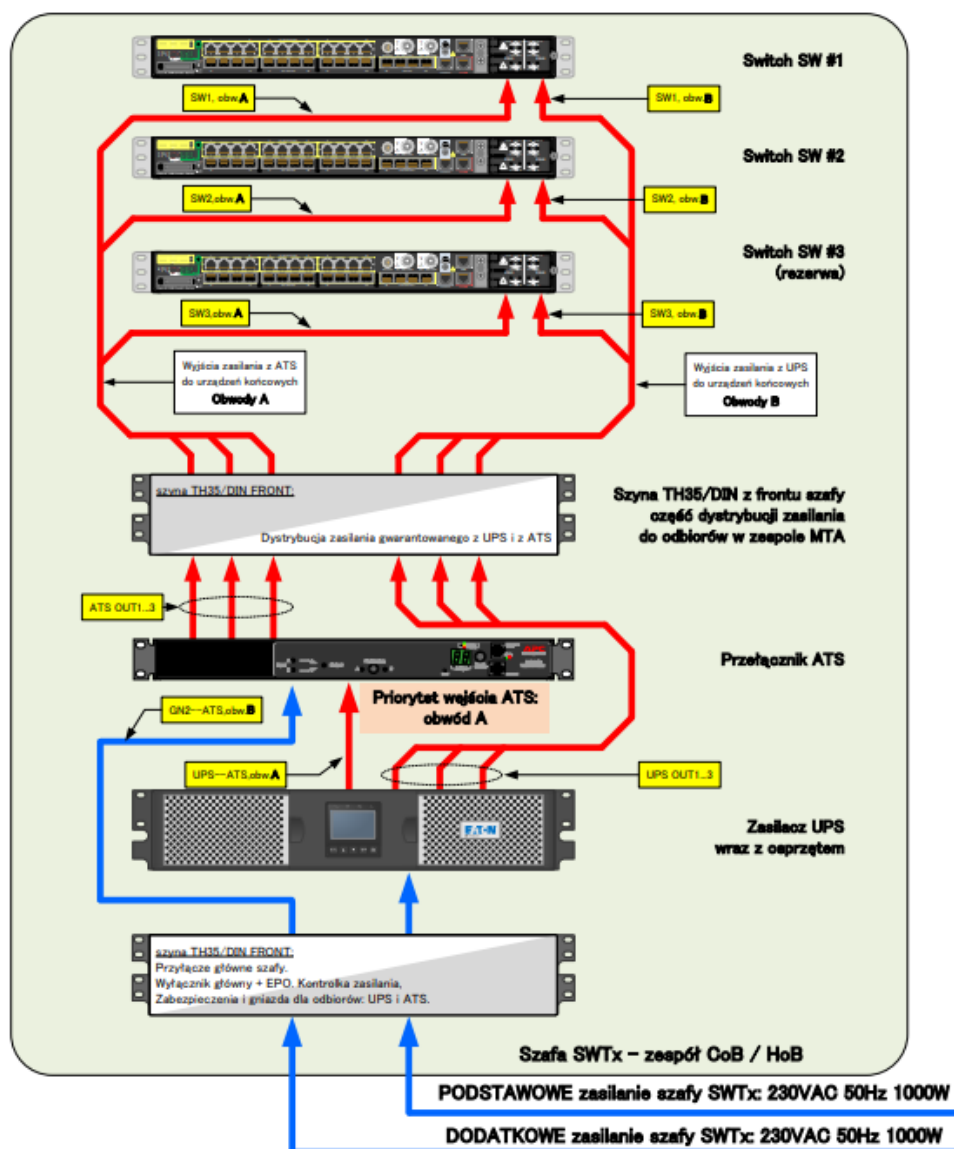
Rys. 6.29. Konwerter przelotowy PLC-BRI-16 firmy ELEKTROMETAL



Rys. 6.30. Optokonwerter OP485d w osłonie ognioszczelnej firmy Carboautomatyka

### 6.7.4. Urządzenia do zabudowy w pomieszczeniach bezpiecznych

Firma JSW IT Systems opracowała **Szkieletowy Węzeł Teletransmisyjny SWTx** przewidziany do instalacji na powierzchni oraz w podziemiach kopalń w wyrobiskach niezagrażonych wybuchem metanu. Na rysunku 6.31 przedstawiono podstawową budowę Szkieletowego Węzła Teletransmisyjnego typu SWTx ze szczególnym uwzględnieniem sposobu zasilania gwarantowanego redundantnego poszczególnych jego przełączników SW.



Rys. 6.31. Podstawowe wyposażenie oraz sposób zasilania gwarantowanego (redundantnego) przełączników SW urządzenia SWTx

Każdy przełącznik SW posiada dwa zasilacze. Jeden z zasilaczy jest zasilany z podstawowego źródła zasilania (sieć elektroenergetyczna) poprzez zasilacz UPS (z zewnętrznym modułem akumulatorowym) z czasem pracy bateryjnej (9÷30 min). Drugi zasilacz przełącznika jest zasilany z przełącznika zasilania ATS. Do przełącznika zasilania ATS doprowadzone jest napięcie z dodatkowego źródła zasilania (sieć elektroenergetyczna) oraz napięcie z zasilacza UPS. Przełącznik zasilania ATS wybiera źródło zasilania (sieć/UPS) dla drugiego zasilacza przełącznika SW.

Ze względu na warunki środowiskowe panujące w szafie SWTx (w tym w przede wszystkim ograniczenia temperaturowe oraz montażowe), w jednej obudowie urządzenia SWTx nie można umieszczać więcej niż trzy sztuki przełączników sieci LAN o wysokości 1U każdy. Każdy przełącznik SW pobiera bowiem kilkaset watów, a duża ilość dostępnych dla użytkownika portów przełączników SW stwarza pewne ograniczenia montażowe i instalacyjne.

Podstawowymi elementami węzła są stosy przełączników (SW), które są umieszczone w zespołach CoB (Core of Backbone) oraz HoB (Hub of Backbone). Zespół CoB pełni rolę węzła sieci szkieletowej (jest połączony z innymi węzłami SWTx) i zawiera stos przełączników z dwoma zasilaczami. Może być on wyposażony maksymalnie w 120 portów optycznych (trzy przełączniki SW). Widok przełącznika SW z serii IE-5000 z zaznaczeniem rozmieszczenia gniazd na moduły SFP przedstawia rysunek 6.32.



Rys. 6.32. Widok przełącznika z serii IE-5000 z zaznaczeniem rozmieszczenia modułów SFP

Zespół HoB pełni rolę węzła dostępowego (jest połączony z innymi urządzeniami takimi jak np. kamery IP, serwery portów szeregowych) i również zawiera stos przełączników przemysłowych (firm CISCO, MOXA, DCN) oraz jeden zasilacz UPS. Może być wyposażony maksymalnie w 288 portów optycznych. Każdy port optyczny jest wyposażony w moduł SFP typu RFT-1/\* firmy REDNT.



Rys. 6.33. Widok szafy konwertorowej Szk-3 firmy Carboautomatyka

Na rysunku 6.33 pokazano widok szafy konwertorowej Szk-3 firmy Carboautomatyka. Szafa zawiera elementy budowy zwykłej oraz elementy z przyłączem światłowodowym samoistnie bezpiecznym a także separatory iskrobezpieczne na przyłączach RS485. W zależności od konfiguracji w szafie Szk-3 instaluje się:

- mediakonwertery MKE-S/1,
- przełączniki firmy CISCO,
- serwery portów szeregowych MOXA,
- separatory galwaniczne dla łącza RS-485.

### 6.7.5. Górnicze przełącznice światłowodowe

Górnice przełącznice światłowodowe są najczęściej umieszczone w obudowie z blachy stalowej o stopniu ochrony IP54. Wewnątrz znajdują się: przełącznica panelowa lub modułowa oraz niezbędne akcesoria montażowe. Przykładem jest przełącznica T-1 firmy Timler. Pojemność przełącznicy może być od 12 do 999 włókien. Na rysunku 6.34 pokazano widok przełącznicy T-1 oraz widok otwartej przełącznicy zainstalowanej w kopalni.



Rys. 6.34. Przełącznica światłowodowa T-1 firmy TIMLER: widok ogólny przełącznicy oraz jej wnętrza w jednej z kopalń

Na rysunku 6.35 pokazano widok przełącznicy światłowodowej AT-PSG firmy ATUT. Przełącznica w zależności od wykonania może mieć pojemność do 144 złączy.

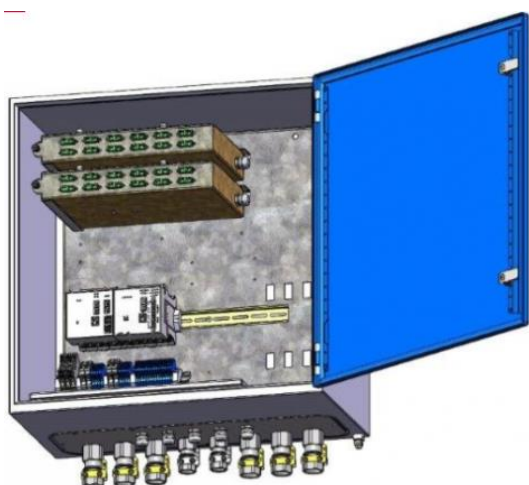


Rys. 6.35. Przełącznica światłowodowa AT-PSG firmy ATUT

Przełącznice T-1 i AT-PSG posiadają oznakowanie I M1 Ex op is I Ma. W przełącznicach światłowodowych można również instalować elementy aktywne sieci światłowodowych. Przykładem takiego rozwiązania jest przełącznica światłowodowa EMFOS-18 firmy ELEKTROMETAL (rys. 6.36). W górnej części przełącznicy umieszczone są moduły ze złączami światłowodowymi, a w dolnej części jest szyna TS-35 do mocowania elementów aktywnych. Przełącznica może być wyposażona w moduły EFI-xxx (rys. 6.12), lub inne kategorii M1. W przypadku zabudowy w przełącznicy modułów kategorii M1 i zasilenia przełącznicy z zasilacza iskrobezpiecznego z wyjściem o zabezpieczeniu ia, przełącznica



będzie mieć oznakowanie I M1 Ex ia op is I Ma, może być instalowana w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem.



Rys. 6.36. Przełącznica światłowodowa EMFOS-18 firmy ELEKTROMETAL: widok ogólny przełącznicy oraz fotografia wnętrza przełącznicy w jednej z kopalń

#### 6.7.6. Kamery stosowane w sieciach światłowodowych kopalń metanowych

Do najważniejszych właściwości kamer stosowanych w kopalniach metanowych należy zaliczyć:

- konstrukcję mechaniczną i oznakowanie budowy przeciwwybuchowej:
  - urządzenie budowy wzmocnionej oznakowanie „e”, (lub „eb” gdy jednocześnie podaje się poziom zabezpieczenia EPL); urządzenie, w którym przeciwwybuchowość osiągnięto przez hermetyzację oznakowanie „m” (względnie „mb” z alternatywnym określeniem poziomu zabezpieczenia EPL) np. I M2 Ex eb mb [ia op is] I Mb,
  - urządzenie w osłonie ognioszczelnej np. I M2(M1) Ex d [ia op is] I Mb,
  - urządzenie budowy iskrobezpiecznej (oznaczenie „ia”), a także bezpieczne optycznie (oznakowanie „op is” I M1) np. I M1 Ex ia op is I Ma lub I M1 Ex ia I Ma,
- postać sygnału wyjściowego kamery:
  - sygnał analogowy composite video w kamerach z wyjściem analogowym,
  - sygnał cyfrowy zgodnie z odpowiednimi protokołami kompresji np. H.264 w kamerach z wyjściem cyfrowym – zwanymi kamerami IP,
- rozdzielczość obrazu: np. 1920x1080, 1280x720, 704x576, 640x480, 320x240 pikseli,
- rodzaj przyłącza:
  - dla sygnałów cyfrowych: światłowodowe lub RJ45,
  - dla sygnałów analogowych: miedziane koncentryczne lub symetryczne, ewentualnie światłowodowe,
- sposób zasilania:
  - bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej lub zewnętrznego zasilacza dla kamer

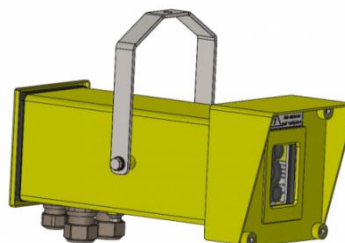
z oznakowaniem I M2,

- z zasilacza z wyjściem iskrobezpiecznym z podtrzymaniem bateryjnym w przypadku kamer z oznakowaniem I M1.

Widoki kamer (kilku producentów i różnego rodzaju) stosowanych w wyrobiskach podziemnych kopalń JSW S.A. przedstawiono na rysunkach 6.37 a) ÷ 6.37 j).



Rys. 6.37 a) Kamera ognioszczelna Bb CAM-01 firmy BARTEC (I M2(M1) Ex d [ia op is Ma) I Mb)



Rys. 6.37 b) Kamera ognioszczelna OKA-1/C firmy ATUT z wyjściem cyfrowym (I M2 Ex db eb [op is Ma) I Mb)



Rys. 6.37 c) Kamera ognioszczelna CAM-1 firmy FAMUR I M2 (Ex d e [op is] I Mb)



Rys. 6.37 d) Kamera ognioszczelna KOR-4 firmy Carboautomatyka



Rys. 6.37 e) Kamera KG-3 firmy HASO z wyjściem cyfrowym (I M2(M1) Ex eb mb [ia op ps] I Mb)



Rys. 6.37 f) Kamera KG-2 firmy HASO z wyjściem cyfrowym (I M1 Ex ia op is I Ma)





Rys. 6.37 g) Kamera iskrobezpieczna IKA-1/D firmy ATUT z wyjściem cyfrowym (I M1 Ex ia op is I Ma)



Rys. 6.37 h) Kamera iskrobezpieczna KTi-2sj firmy SOMAR z wyjściem analogowym (I M1 Ex ia op is I Ma)



Rys. 6.37 i) Kamera iskrobezpieczna CAM-1 firmy FAMUR z wyjściem analogowym (I M1 Ex ia I Ma)



Rys. 6.37 j) Kamera iskrobezpieczna KTI-3 firmy SOMAR z wyjściem analogowym

### 6.7.7. Komputery i monitory w przestrzeniach zagrożonych wybuchem

Komputery (monitory) są coraz częściej stosowane w przestrzeniach zagrożonych wybuchem jako:

- lokalne monitory dla kamer zainstalowanych w strefach bardzo niebezpiecznych (np. zagrożonych tapaniami, zagrożeniami zintegrowanymi),
- jako elementy lokalnych układów monitoringu, nadzoru i sterowania procesów technologicznych.

Na rysunku 6.38 pokazano przykłady komputerów (względnie tylko samych monitorów) w osłonach ognioszczelnych (kategorii M2), komputerów iskrobezpiecznych (kategorii M2 i M1) oraz komputerów budowy zwykłej z przyłączami z zabezpieczeniem ia i/lub op is. Do budowy komputerów i monitorów wykorzystuje się certyfikowane osłony ognioszczelne polskiej firmy BOHAMET S.A. Komputery z monitorami w osłonach ognioszczelnych mają dużą masę np. BbCM firmy BARTEC – 150 kg (rys. 6.38 a), EMPC-15 firmy ELEKTROMETAL z monitorem 19", 130 kg (rys. 6.38 b), EMPC-08 firmy ELEKTROMETAL, z monitorem 17" bez klawiatury ma masę 60 kg (rys. 6.38 d). Masa monitorów zależy w szczególności od przekątnej ekranu monitora, wielkości ognioszczelnej skrzynki przyłączeniowej układu zasilania z sieci elektroenergetycznej a także skrzynki przyłączy teleinformatycznych. Stosunkowo niedużą masę mają urządzenia iskrobezpieczne z zabezpieczeniem ib np. monitor analogowy ET-09Ex firmy FAMUR o masie 21 kg (rys. 6.38 g) oraz urządzenia kategorii M1 np. monitor MG-1 firmy HASO, o masie 8 kg (rys. 6.38 h) i iskrobezpieczne komputery przemysłowe np. HPC-1 (I (M1) [Ex ia op is Ma] I) w obudowie metalowej IP54 (rys. 6.38 i). W obudowie można instalować różne konwertery

i bariery. Obsługę komputera umożliwia klawiatura z padem umieszczona na wsporniku przymocowanym do obudowy (masa do 40 kg).



Rys. 6.38 a) Komputer BbCM firmy BARTEC  
I M2 (M1) Ex db eb [ia ib] I



Rys. 6.38 b) Komputer EMPC-15 firmy  
ELEKTROMETAL  
I M2 (M1) Ex db [ib] [ia op is Ma] I Mb



Rys. 6.38 c) Komputer EH-O/06/06.xx  
firmy Elgór Hansen



Rys. 6.38 d) Komputer ognioszczelny EMPC-08  
firmy ELEKTROMETAL, monitor 17''



Rys. 6.38 e) Monitor MTO-3 firmy  
Carboautomatyka



Rys. 6.38 f) Monitor EH-0/06/04 firmy  
Elgór Hansen



Rys. 6.38 g) Monitor analogowy ET-09Ex firmy FAMUR, I M2 Ex ib I Mb



Rys. 6.38 h) Iskrobezpieczny monitor górniczy MG-1 firmy HASO, I M1 Ex is op is I Ma



Rys. 6.38 i) Komputer przemysłowy firmy HASO przeznaczony dla kopalń węglowych I (M1) [Ex ia op is Ma] I

Nowością są iskrobezpieczne tablety przeznaczone dla kopalń węglowych i stosowane już w JSW S.A. Na rysunkach 6.39 a) i 6.39 b) pokazano przykłady iskrobezpiecznych tabletów:

- tablet Agile X IS w wykonaniu 17-ABF firmy BARTEC z oznakowaniem I M1 Ex ia op is I Ma,
- tablet AEGEX-10 firmy ELEKTROMETAL z oznakowaniem I M2 Ex ib Mb.

Tablety iskrobezpieczne mogą być używane przez pracowników na dole do wprowadzania pewnych danych do systemu komputerowego (szczególnie w strefach z pokryciem radiowym punktów dostępowych Wi-Fi).



Rys. 6.39 a) Tablet iskrobezpieczny Agile X IS firmy BARTEC



Rys. 6.39 b) Tablet iskrobezpieczny AEGEX-10 firmy ELEKTROMETAL

## 6.8. Systemy monitoringu wizyjnego w JSW S.A.

W tabeli 6.2 pokazano zestawienie ilości kamer pracujących w poszczególnych kopalniach JSW S.A. Łącznie w kopalniach JSW S.A. w roku 2019 było zainstalowanych 281 kamer. Liczba ta jest zmienna (i ciągle rośnie) ponieważ kamery instaluje się zarówno na powierzchni jak i w wyrobiskach, w zależności od bieżących potrzeb różnych służb zakładu górniczego (ochrona zakładu, sprzedaż węgla, potrzeby dyspozytorów, kierownictwa i dozoru ruchu, miejsca o szczególnym zagrożeniu).

### Zestawienie ilości kamer w kopalniach JSW S.A. [Timler, 2019]

Tabela 6.2.

Kopalnie (Ruchy) JSW S.A.	Liczba kamer (stan na dzień 09.04.2019)
KWK Budryk – serwer nr 1	47
KWK Budryk – serwer nr 2	75
KWK Pniówek	60
KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie Ruch Borynia	18
KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie Ruch Zofiówka	41
KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie Ruch Jastrzębie	16
KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Knurów	12
KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice	12
<b>Razem</b>	<b>281</b>

Sygnaly z kamer są doprowadzane do:

- lokalnych komputerów (pełniących funkcję monitorów),
- stojaków części stacyjnej (np. STTS) wyposażonych w videoserwery rejestrujące obraz,
- stanowisk wizualizacji między innymi w dyspozytorniach zakładów górniczych oraz w Centrach Nadzoru Energomechanicznego kopalń.

Kamery kategorii M2 muszą być wyłączone w przypadku wystąpienia stężenia metanu powyżej wartości dopuszczalnej. W takiej sytuacji wyłączone zostaje również oświetlenie i praca kamer monitorujących urządzenia technologiczne nie jest potrzebna. Kamery kategorii M1 mogą pracować przy dowolnym stężeniu metanu, lecz brak oświetlenia wyrobisk powoduje istotne ograniczenie jasności obrazu mimo oświetlenia promieniowaniem podczerwonym.



Najczęściej do rejestracji sygnałów video z kamer jest wykorzystywane oprogramowanie firmy MILESTONE. Zarejestrowane sygnały video są przechowywane w videoserwerach przez okres minimum siedmiu dni.

Kamery są instalowane między innymi w następujących miejscach:

- nadszybia,
- podszybia,
- dworce osobowe,
- stacje materiałowe,
- rozdzielnie,
- przesypy przenośników taśmowych.

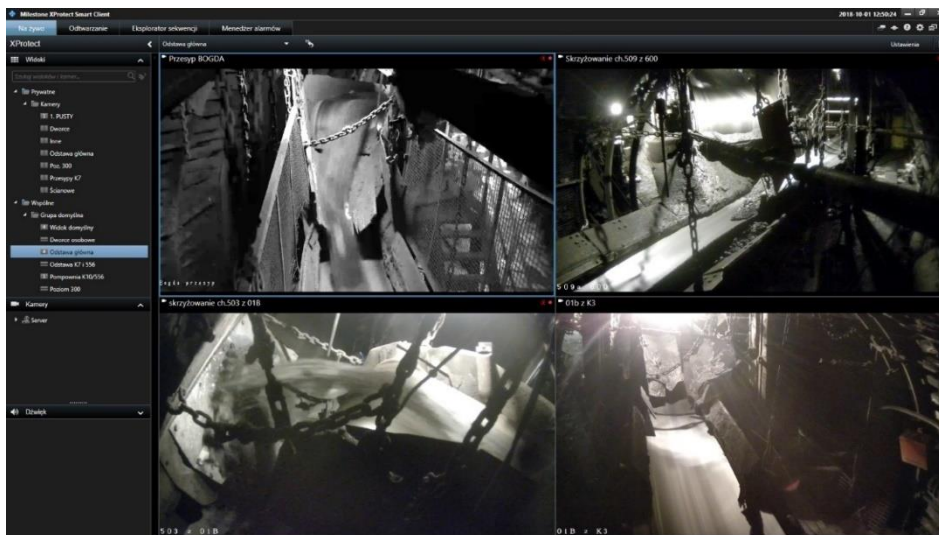
Na rysunkach 6.40 a) ÷ 6.40 d) pokazano przykłady widoków z kamer zainstalowanych w różnych miejscach w wyrobiskach oraz na nadszymbiach.



Rys. 6.40 a) Przykład widoku dworca osobowego



Rys. 6.40 b) Przykład widoku nadszybia kopalni [Warchoń, 2019]



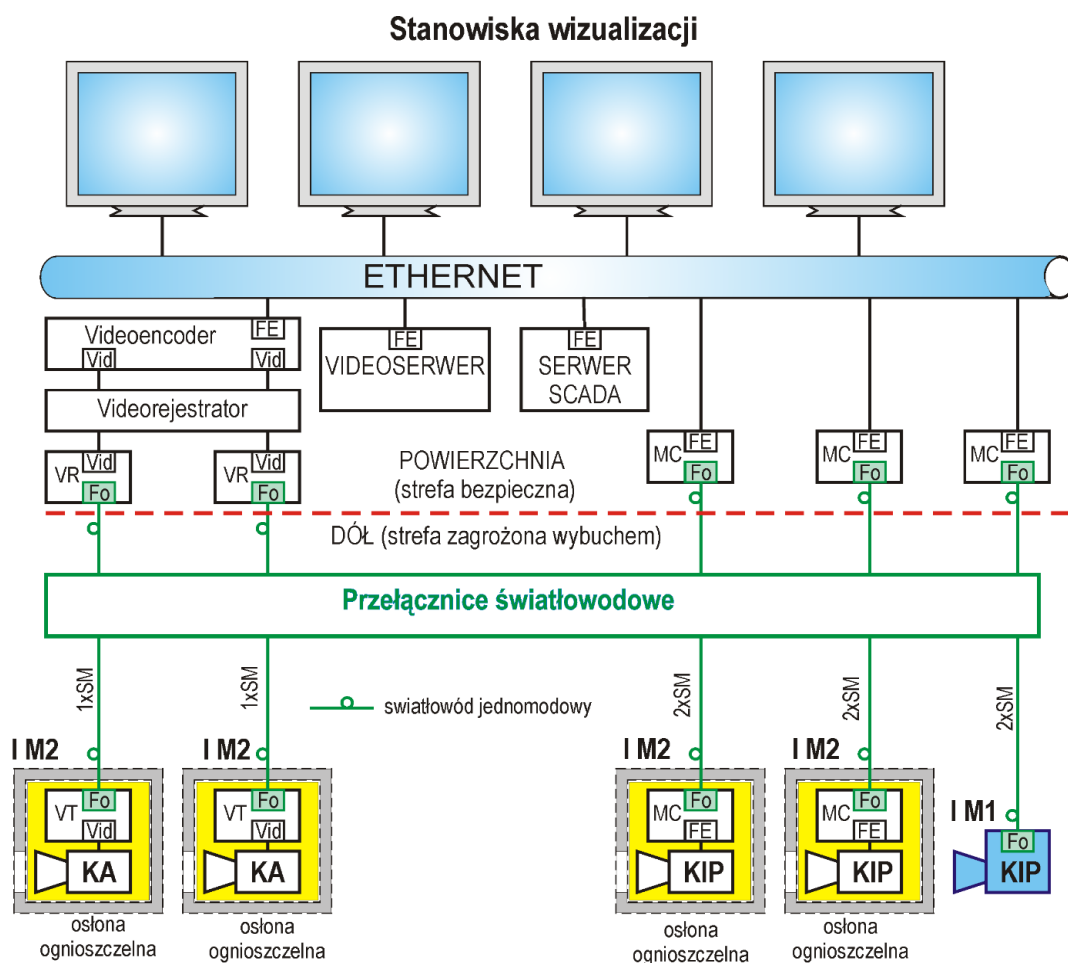
Rys. 6.40 c) Obrazy z kilku kamer na jednym ekranie monitora



Rys. 6.40 d) Dyspozytornia zakładowa z ekranem wielkoformatowym przedstawiającym różne obrazy z kamer

## 6.9. Struktura logiczna sieci światłowodowych w kopalniach metanowych

Najprostsza struktura logiczna światłowodowej sieci transmisyjnej zawiera oddzielne łącza między urządzeniami dołowymi i stojakiem urządzeń stacyjnych. Na rysunku 6.41 pokazano tego typu strukturę zawierającą kamery z wyjściem analogowym (KA) oraz kamery IP z wyjściem cyfrowym (KIP).



Rys. 6.41. Przykład schematu blokowego monitoringu wizyjnego z bezpośrednimi łączami światłowodowymi Vid przyłączy analogowe wideo

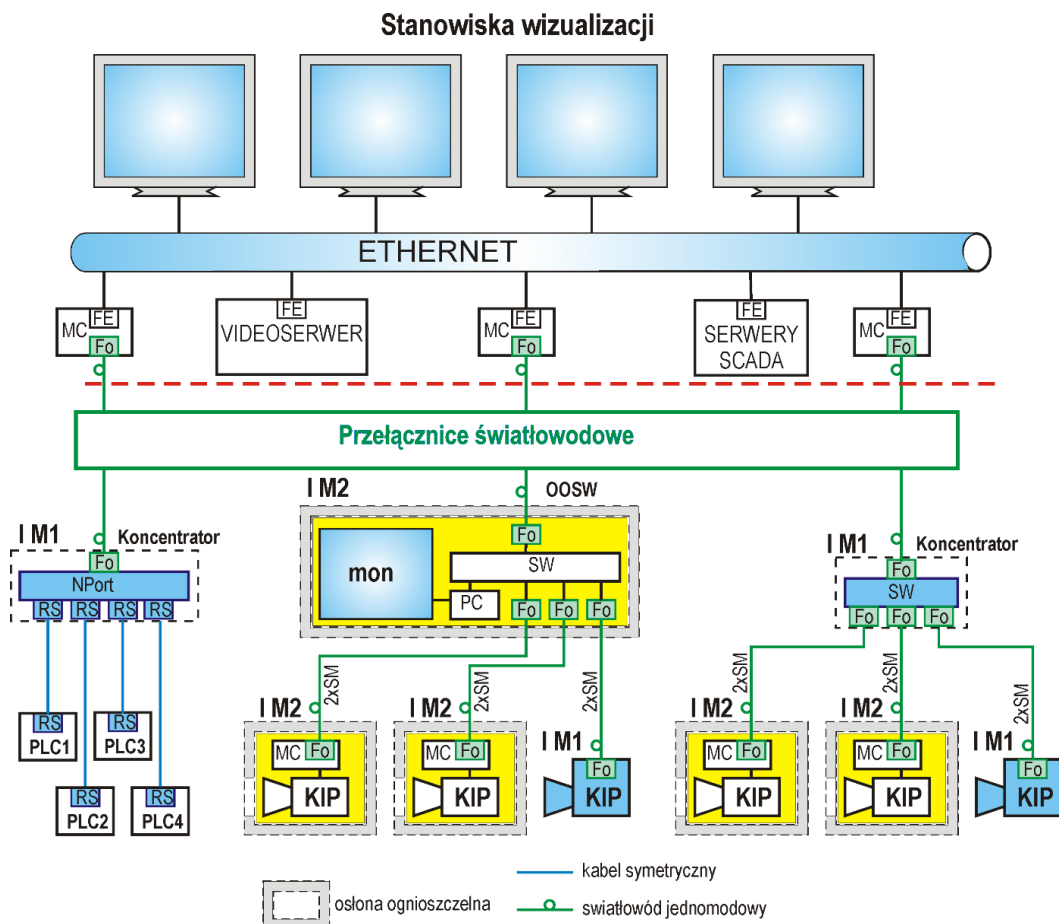
Kamery z wyjściem analogowym (KA) umieszczone w osłonie ognioszczelnej zawierają nadajniki światłowodowe VT z oznakowaniem op is. Sygnał z kamery pojedynczym włóknom jest transmitowany do stojaka urządzeń stacyjnych, gdzie jest wprowadzany do odbiorników VR i dalej jako sygnał composite video do rejestratora i videoenkodera, gdzie jest zamieniany na sygnał cyfrowy z odpowiednim algorytmem kompresji. Sygnał cyfrowy poprzez videoserwer jest kierowany do odpowiednich stanowisk wizualizacji. Sygnał wyjściowy z kamer IP (KIP) poprzez media konwerter lub bezpośrednio z kamery IP jest przesyłany do media konwerterów w stojakach urządzeń stacyjnych i dalej do wideoserwera, a następnie do stanowisk wizualizacji.

W kablowej sieci światłowodowej łączącej urządzenia końcowe z urządzeniami stacyjnymi jest spora liczba przełącznic światłowodowych. Bardziej rozbudowana struktura światłowodowej sieci telekomunikacyjnej zawiera koncentratory (rys. 6.42). W roli koncentratorów mogą być stosowane między innymi następujące urządzenia:

- stacja przetwornikowa ALFA firmy TIMLER w wersjach do zabudowy w pomieszczeniach bezpiecznych (ALFA I, ALFA II) i w wersjach kategorii M1 (ALFA III, ALFA IV),
- iskrobezpieczna stacja lokalna RSS,
- koncentrator światłowodowy RMX.,



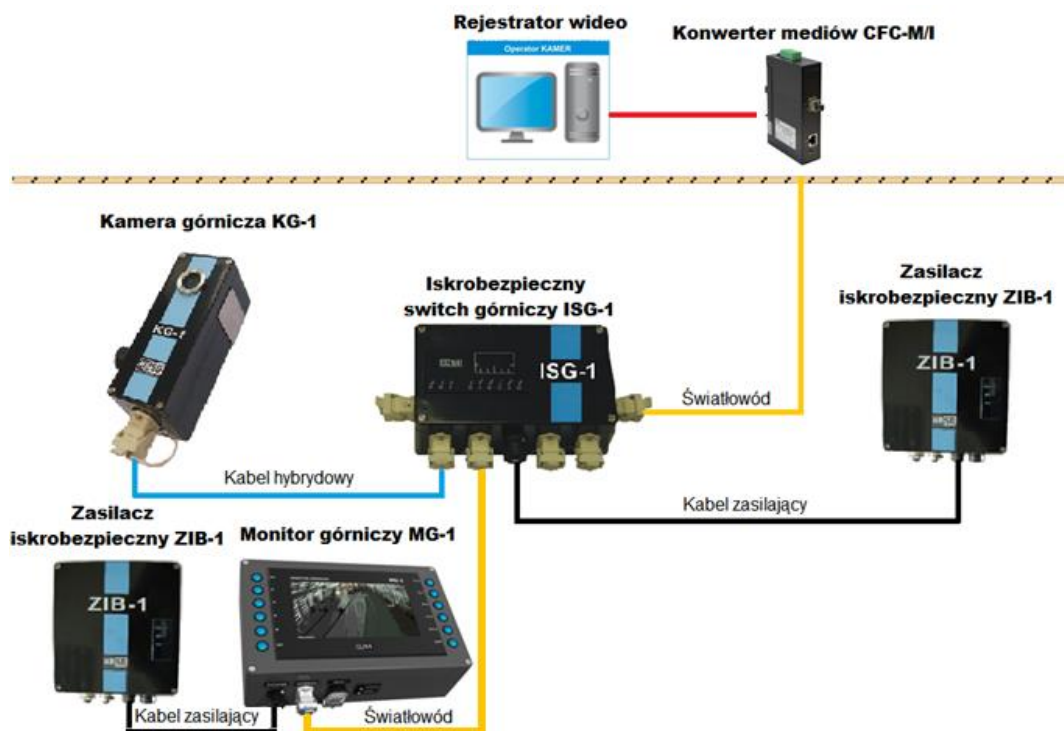
- komputery z monitorem w osłonie ognioszczelnej (np. OOSW ognioszczelne optoelektryczne stanowisko wizualizacji),
- przełączniki (np. ISE-17, BCOM Switch 8/\*, ISE-3FX, ISG-1),
- Szkieletowy Węzeł Teletransmisyjny SWTx.



Rys. 6.42. Przykład schematu blokowego sieci światłowodowej z koncentratorami: NPort - serwer portów szeregowych, RS - przyłącze RS485, MC - media konwerter, PLC - sterownik

We wszystkich systemach wizualizacji wykorzystujących połączenia światłowodowe urządzenia dołowe (koncentratory, kamery sterowniki itp.) wymagają odpowiedniego zasilania sieciowego (iskrobezpiecznego) buforowanego w większości przypadków akumulatorami (tylko w przypadku urządzeń lub ich części kategorii M1).

W systemach wizualizacji mogą być także stosowane kable hybrydowe. Przykładowa najprostsza struktura połączeń górniczych urządzeń iskrobezpiecznych stosowanych w systemie wizualizacji (kamery, przełącznika światłowodowego ISG, konwertera mediów) wraz z układem zasilania z wykorzystaniem kabli hybrydowych i urządzeń firmy HASO została przedstawiona na rysunku 6.43.



Rys. 6.43. Przykładowa prosta struktura połączeń urządzeń iskrobezpiecznych stosowanych w systemie wizualizacji (kamery, przełącznika światłowodowego ISG, konwertera mediów) wraz z układem zasilania z wykorzystaniem urządzeń firmy HASO

## 6.10. Struktura kablowa sieci światłowodowej w kopalniach podziemnych

W kopalnianej sieci światłowodowej można wyróżnić:

- magistralną sieć telekomunikacyjną charakteryzującą się stosunkowo długim okresem istnienia; jest zabudowana: od dyspozytorni i kablowni znajdujących się na powierzchni w kierunku szybów, w szybach oraz głównych wyrobiskach na poszczególnych poziomach,
- oddziałowe sieci telekomunikacyjne budowane na czas eksploatacji poszczególnych rejonów, ścian i przodków; niektóre z urządzeń końcowych tej sieci np. zabudowane w pociągu aparaturowym, w chodnikach przyścianowych, w rejonach skrzyżowania ściany z chodnikiem, przemieszczane są wraz z postępem ściany czy wyrobiska przodkowego,
- sieć powierzchniową obsługującą podstawowe obiekty i ciągi technologiczne na powierzchni takie jak: zakłady przerobcze, punkty sprzedaży węgla, bramy wjazdowe, a także dyspozytornie kopalniane, stałe punkty nadzoru, pomieszczenia dyrekcji i dozoru kopalnianego.

Sieć światłowodową tworzą elementy aktywne, takie jak:

- stojaki urządzeń stacyjnych (np. STTS – Stojak Transmisji Technologicznej Światłowodowej),
- kamery z lokalnymi powierzchniowymi czy dołowymi stanowiskami wizualizacji w wykonaniu przemysłowym,
- koncentratory zawierające najczęściej serwery portów szeregowych, ewentualnie przełączniki,

– dołowe przeciwwybuchowe stanowiska wizualizacji np. (OOSW – ognioszczelne optoelektryczne stanowisko wizualizacji),

oraz elementy bierne (głównie przełącznice światłowodowe i kablownie) połączone kablami światłowodowymi.

Uwzględniając aktualne i przyszłe potrzeby w JSW S.A. opracowano ogólne rekomendacje w zakresie pojemności budowanych i stosowanych kabli światłowodowych (tabela 6.3).

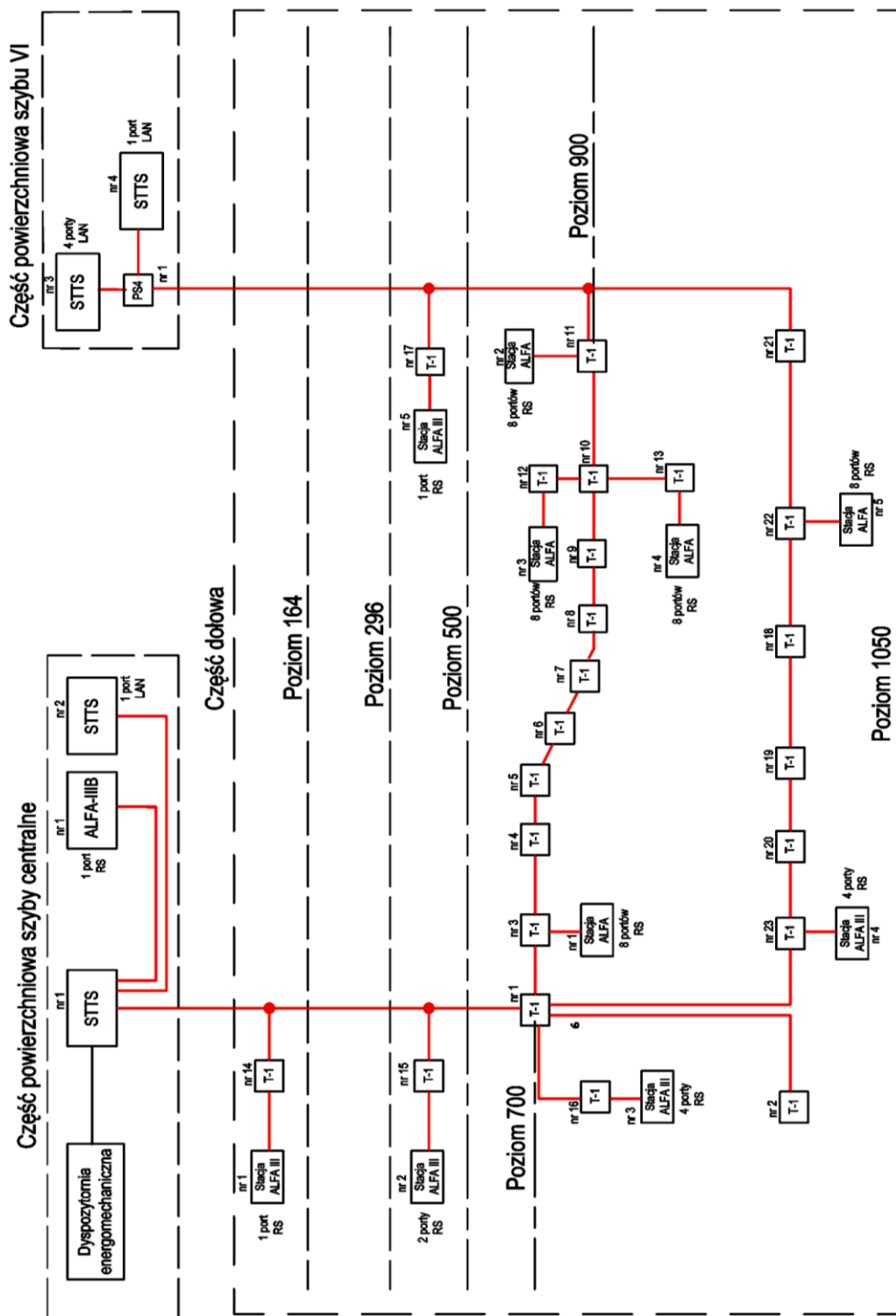
**Rekomendacja w zakresie stosowania kabli optotelekomunikacyjnych w JSW S.A.  
[Polityka, 2020]**

Tabela 6.3.

Oznaczenie	Ilość włókien	Miejsce zastosowania
Z-XOTKtsd	min. 72J	sieć powierzchniowa
YOTKGtsDFoyn	min. 72J	instalacje w szybach
YOTKGtsFtlyn	72J, 36J, 16J	sieć magistralna
YOTKGtsFtlyn	12J, 8J, 4J	sieć oddziałowa
CDAD	12J, 8J, 4J	sieć oddziałowa

Na rysunku 6.44 pokazano przykład schematu blokowego sieci światłowodowej w jednej z kopalni JSW S.A. Kopalnia ta w przeważającej większości stosuje elementy sieci światłowodowej firmy TIMLER.

Aktualnie we wszystkich kopalniach JSW S.A. kable światłowodowe poprowadzone są przynajmniej dwoma szybami. Struktura każdej z sieci umożliwia przełączenie sieci transmisyjnej do innego szybu. Kable światłowodowe prowadzone są na wszystkich poziomach, w których prowadzona jest eksploatacja. Do wszystkich pociągów aparaturowych zlokalizowanych w chodnikach podścianowych ścian eksploatacyjnych JSW S.A. doprowadzone są linie światłowodowe stanowiące ważny element ich monitoringu. W II i III kwartale 2020 roku w JSW S.A. eksploatowano 24 ściany. Każda z nich była na bieżąco monitorowana z wykorzystaniem sieci światłowodowej. Średnio w każdej kopalni eksploatowane i monitorowane były trzy ściany. W krańcowych przypadkach w II kwartale 2020 roku w poszczególnych kopalniach eksploatowano od siedmiu do jednej ściany.



Rys. 6.44. Przykład schematu blokowego sieci światłowodowej: T-1 – przełącznica światłowodowa firmy Timler, STTS – stojak transmisji technologicznej światłowodowej, Stacja ALFA – koncentrator z serwerem portów szeregowych

W tabeli 6.4 podano zestawienie sumarycznej długości magistralnej sieci światłowodowej. We wszystkich kopalniach JSW S.A. sumaryczna długość magistralnej sieci światłowodowej w roku 2019 wynosiła około 190 km.

**Zestawienie długości magistralnej sieci światłowodowej w kopalniach JSW (XII 2018)**  
[Timler, 2019]

Tabela 6.4.

<b>Kopalnie (Ruchy) JSW S.A.</b>	<b>Długość magistralnej sieci światłowodowej [km]</b>
KWK Budryk – serwer nr 1	40
KWK Pniówek	30
KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie Ruch Borynia	25 (+50 <sup>**</sup> )
KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie Ruch Zofiówka	25 (+16,5 <sup>**</sup> )
KWK Borynia-Zofiówka-Jastrzębie Ruch Jastrzębie	25 (+14,5 <sup>**</sup> )
KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Knurów	20 (24,7 <sup>*</sup> )
KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice	22 (34,5 <sup>*</sup> )
<b>Razem</b>	<b>187</b>

\* - długość całej sieci [Tapała, 2019]

\*\* - rozbudowa sieci w 2019 r. [Dziemdziora, 2019]

## 7. Systemy lokalizacji osób i urządzeń

*Kazimierz Miśkiewicz, Antoni Wojaczek*

### 7.1. Wstęp

Rozdział ten wykorzystuje częściowo materiał zawarty w monografii Autorów Miśkiewicz K., Wojaczek A.: *Radiokomunikacja w kopalniach podziemnych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2020.

Jak już wspomniano w rozdziale trzy systemy radiokomunikacyjne stosowane w kopalniach podziemnych wykorzystywane są nie tylko do łączności fonicznej, czy transmisji danych, lecz również do wielu innych zadań, które z formalnego punktu widzenia powinien realizować każdy Kierownik Ruchu Zakładu Górniczego (KRZG). W odniesieniu do systemów lokalizacji i ewidencji osób w Prawie geologicznym i górnictwym i aktach wykonawczych do tego prawa [PGG, 2023; RRM, 2004; RM, 2017] określono ogólne zasady i warunki eksploatacji takich systemów. Najważniejsze z nich to:

- Przedsiębiorca powinien prowadzić ewidencję osób przebywających w zakładzie górnictwym.
- Osobom przebywającym w wyrobiskach zapewnia się lampy osobiste wyposażone w nadajniki lokacyjne przystosowane do emitowania sygnału w sposób ciągły lub okresowy na zapytanie z urządzenia lokacyjnego przez nie mniej niż 7 dni. W zakładzie górnictwym stosuje się systemy lokacyjne złożone z nadajników lokacyjnych oraz urządzeń odbiorczych umożliwiających lokalizację nadajnika z odległości nie mniejszej niż 20 m we wszystkich kierunkach.
- Systemy służące do lokalizacji i ewidencji pracowników w podziemnych zakładach górnictwych powinny być zaprojektowane tak, aby pozwalały na operatywne zarządzanie przemieszczaniem się pracowników zarówno w stanach normalnej pracy, jak i zagrożenia. Powinny one rejestrować przejścia pracowników przez punkty kontrolne systemu, informować dyspozytora w trybie alarmowym, że w strefie zagrożonej znajduje się osoba lub został przekroczony dopuszczalny czas przebywania osoby w strefie zagrożonej. Informacje alarmowe przekazywane do dyspozytora powinny być jednocześnie przekazane (jako informacja zwrotna) do osoby, której to zdarzenie dotyczy.

W przepisach są także określone ogólne minimalne wymagania dla urządzeń radiokomunikacyjnych stosowanych w zakładach górnictwych, do których w szczególności należy zaliczyć:

- W kopalniach metanowych należy stosować przeciwwybuchowe systemy telekomunikacyjne. W szczególności systemy łączności przewodowej oraz radiowej wraz z systemami transmisyjnymi powinny być iskrobezpieczne (dla światłowodów bezpiecznie optyczne) przystosowane do pracy przy dowolnej koncentracji metanu.
- Sprzęt elektryczny i telekomunikacyjny powinien być odporny na oddziaływanie czynników zewnętrznych w miejscu przewidywanego użytkowania. Obudowa sprzętu powinna być wykonana z materiałów niepalnych lub trudnozapalnych. Materiały użyte do obudowy tego typu powinny być odporne na działanie czynników chemicznych, mechanicznych

i elektrycznych. Obudowa sprzętu przy normalnej eksploatacji powinna zapewnić stopień ochrony nie niższy niż IP54.

Aktualne możliwości systemów radiokomunikacyjnych stwarzają możliwość realizacji elektronicznych systemów identyfikacji, lokalizacji, kontroli dostępu i ewidencji załogi w wyrobiskach podziemnych wykorzystując technikę RFID<sup>1</sup> (*Radio Frequency Identification*) ewentualnie jej rozszerzenie zwane RTSL<sup>2</sup> (*Real Time Locating System*). Tego rodzaju systemy są zaliczane formalnie do tzw. systemów bezpieczeństwa i bardziej szczegółowe wymagania funkcjonalne są sformułowane między innymi w punkcie 3.4.6. załącznika nr 3 w rozporządzenia o dopuszczeniu [RRM, 2004] określające, iż systemy bezpieczeństwa służące np. do lokalizacji i ewidencji pracowników w podziemnych wyrobiskach górniczych powinny być zaprojektowane tak, aby pozwalały na operatywne zarządzanie przemieszczaniem pracowników zarówno w stanach normalnej pracy, jak i w stanach zagrożenia, rejestrowały przejścia pracownika przez punkty kontrolne systemu a także informowały dyspozytora w trybie alarmowym o tym, że:

- w strefie zagrożenia znajduje się osoba,
- został przekroczony dopuszczalny czas przebywania osoby zagrożonej w strefie zagrożonej.

Dla wyjaśnienia pewnych sformułowań należy zdefiniować wybrane podstawowe określenia pojawiające się w tym rozdziale.

**Identyfikacja**, zwana w języku angielskim RFID, to technika zdalnego (w zakresie od cm do kilku m) odczytu danych zawartych w elektronicznych identyfikatorach.

**Lokalizacja** – to sposób określania bieżącego położenia górnika lub maszyny albo kontenera transportowego (w czasie i przestrzeni). Często umożliwia ona także wyznaczenie kierunku ruchu górnika czy maszyny. Systemy lokalizacji to jeden z przykładów wykorzystania **identyfikacji**. Istnieją dwa sposoby realizacji lokalizacji:

- **Lokalizacja strefowa** określająca, w której strefie znajduje się górnik, maszyna czy kontener transportowy; na granicy stref instaluje się bramki odczytujące dane z identyfikatorów.
- **Lokalizacja dokładna**, zwana po angielsku RTLS, określająca (z dokładnością do kilku metrów) położenie górnika, maszyny czy kontenera transportowego w wyrobisku.

**Kontrola dostępu** – sprawdzanie, na podstawie odczytu przez bramkę danych z identyfikatora, uprawnień do przejścia przez bramkę. **System kontroli dostępu** może umożliwić przejście przez bramkę (otwarcie bramki obrotowej lub uchylnej, otwarcie drzwi) lub może sygnalizować optycznie i/lub akustycznie zakaz przejścia przez bramkę. Dotyczy to np. bramek w wyrobiskach kopalnianych rejonów o szczególnych zagrożeniach czy pomieszczeń o ograniczonym dostępie (rozdzielni elektroenergetycznych, komór materiałów wybuchowych itp.).

**Lokacja** – nie każdy system lokalizacji umożliwia identyfikację (personalizację) lokalizowanego górnika czy obiektu. Przykładem może być np. nadajnik **lokacyjny** systemu GLON (skrót od górniczy lokacyjny osobisty nadajnik). Korzystając z odbiornika **lokacyjnego**

---

<sup>1</sup> identyfikacja za pomocą częstotliwości radiowych

<sup>2</sup> system lokalizacji w czasie rzeczywistym

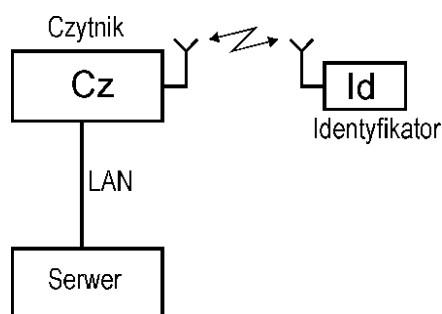


GLOP, można zlokalizować obiekt, lecz nie można go personalizować. Ten sposób lokalizacji w górnictwie określany jest słowem **lokacja**. Dla poszukiwania górników w akcjach zawałowych wykorzystuje się pomiar natężenia pola magnetycznego wytwarzanego przez nadajniki lokacyjne umieszczone w lampach osobistych górników. Zmierzona wartość natężenia pola magnetycznego pozwala na określenie tylko odległości do nadajnika lokacyjnego.

## 7.2. Systemy identyfikacji RFID

W systemach RFID (identyfikacji za pomocą częstotliwości radiowych) występują zawsze dwa urządzenia (rys. 7.1): identyfikator<sup>1</sup> oraz czytnik. Uzupełnieniem systemu jest komputer (serwer) do którego przesyłane są (online) dane z czytnika i który udostępnia je użytkownikom. Czasami czytnik wyposażony jest w pamięć, a dane do serwera są przekazywane offline.

Często **identyfikator** jest nazywany **transponderem**, **tagiem** (etykietą, znacznikiem), **chipem** (spolszczonym słowem angielskim), a czasami (jak w przypadku np. bankowości elektronicznej) **kartą zbliżeniową**. Informacja odczytana przez czytnik jest przesyłana do systemu komputerowego, gdzie jest wykorzystywana w systemie identyfikacji.



Rys. 7.1. Główne elementy systemu RFID

Z punktu widzenia kierunku transmisji sygnałów użytecznych można wyróżnić identyfikatory jednokierunkowe oraz dwukierunkowe, w których czytnik oprócz odbioru charakterystycznego kodu identyfikatora, przesyła do niego inne sygnały użyteczne (np. alarmowe, informacyjne, przywoławcze) wygenerowane w systemie.

Jeżeli w pobliżu czytnika znajdzie się identyfikator, to czytnik korzystając z łącza radiowego czytnik-identyfikator i posługując się zdefiniowanym wcześniej protokołem „odczytuje” dane zapamiętane w pamięci identyfikatora. Mogą to być:

- dane zapisane w pamięci identyfikatora przez producenta,
- dane zapisane w pamięci identyfikatora przez użytkownika (instalatora) systemu RFID,
- dane zbierane przez identyfikator (np. z czujników) w czasie pomiędzy kolejnymi odczytami.

<sup>1</sup> W monografii stosowane będą zamiennie pojęcia; **identyfikator**, który jest bardziej ogólnym (i lepszym) określeniem oraz **transponder**. Identyfikator nie zawsze jest transponderem, czyli urządzeniem nadawczo-odbiorczym. Transponder pochodzi z połączenia słów: **transmitter** i **responder** (nadawać, odpowiadać). Wiele identyfikatorów stosowanych w kopalniach w stanie aktywnym „pracuje jednokierunkowo”, tylko nadaje (np. nadajnik TTAG system ARGUS).

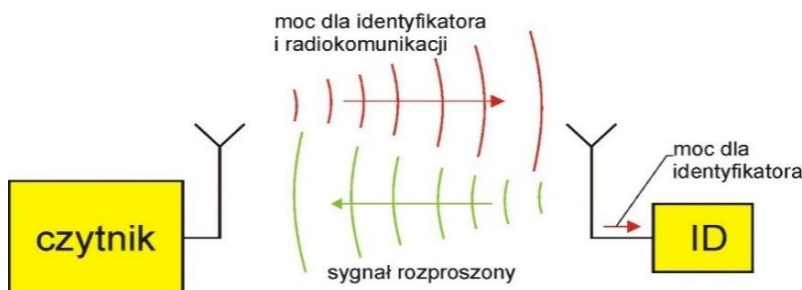
Cechą charakterystyczną systemów RFID jest bezprzewodowa transmisja danych pomiędzy czytnikiem i identyfikatorem. Odległość w zależności od zastosowania i przyjętych rozwiązań układowych elektroniki może być od milimetrów do setek metrów.

Klasyfikację systemów RFID można dokonać ze względu na:

- sposób zasilania identyfikatora,
- sposób przesyłania informacji (protokół) między czytnikiem i identyfikatorem,
- częstotliwości wykorzystane w kanale radiowym,
- funkcjonalność identyfikatora,
- rozmiar pamięci identyfikatora,
- zastosowanie.

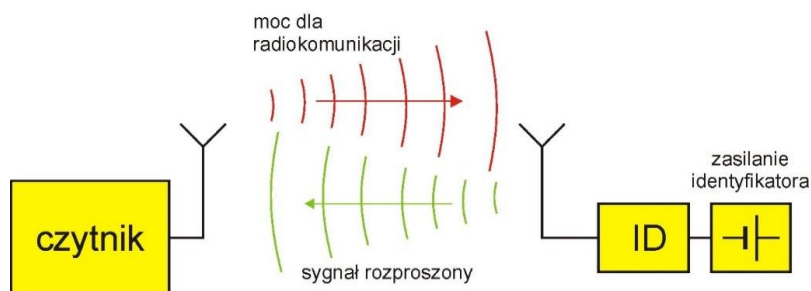
Ze względu na sposób komunikacji pomiędzy identyfikatorem i czytnikiem można wyróżnić trzy podstawowe systemy RFID [Miśkiewicz, 2020]:

- Pasywne, w których identyfikator nie posiada własnego autonomicznego źródła zasilania (rys. 7.2). Czytnik RFID emituje w odpowiednich odstępach czasowych sygnał radiowy (traktowany jako zapytanie). Identyfikator poprzez swoją antenę odbiera sygnał z czytnika i przez prostowanie i powielanie tworzy napięcie zasilania dla swojej elektroniki. Po uzyskaniu właściwego napięcia zasilania identyfikator wysyła swój numer identyfikacyjny oddziałując na sygnał z czytnika (np. poprzez modulacje amplitudy). Czytnik odbiera zmodyfikowany sygnał odczytując numer identyfikacyjny identyfikatora. W tym wypadku jest to transponder.



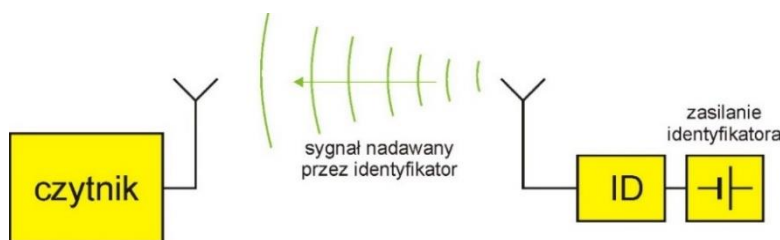
Rys. 7.2. Schemat blokowy systemu RFID z identyfikatorem radiowym (ID) pasywnym

- Semi pasywne, w których identyfikator posiada własne źródło zasilania dla swojej elektroniki (rys. 7.3). Komunikacja pomiędzy czytnikiem i identyfikatorem jest podobna jak w systemach pasywnych. Transponder jest uaktywniany sygnałem z czytnika.



Rys. 7.3. Schemat blokowy systemu RFID z identyfikatorem ID semi pasywnym

- Aktywne, w których identyfikator posiada własne źródło zasilania i własny nadajnik sygnału radiowego (rys. 7.4). Najczęściej identyfikator w systemach aktywnych wysyła swój numer identyfikacyjny ciągle, w bardzo krótkich w pseudolosowo określonych odstępach czasu.



Rys. 7.4. Schemat blokowy systemu RFID z identyfikatorem ID aktywnym

Zakres częstotliwości używanych w systemach RFID wynika z pewnych uregulowań prawnych z zakresu radiokomunikacji, głównie stosownego rozporządzenia ministra „właściwego do spraw łączności” dotyczącego użytkowania urządzeń radiowych nadawczych bez pozwolenia [RMC, 2022]. Rozporządzenie to określa między innymi:

- jakie częstotliwości mogą być użytkowane w systemach RFID,
- maksymalne dopuszczalne parametry urządzeń nadawczych, takie jak moc promieniowania e.i.r.p. (*Effective Isotropical Radiated Power* – zastępcza moc wypromieniowana izotropowo) lub natężenie pola magnetycznego w określonej odległości od nadajnika (np. 10 m),
- kształt wiązki promieniowania anteny nadajnika,
- aktywność nadajnika.

Najczęściej stosowane są systemy RFID pracujące w pasmach częstotliwości 125/135 kHz, 13,56 MHz, 868/915 MHz, 2,45 GHz. Spotyka się również inne pasma częstotliwości np. 433 MHz.

Ze względu na funkcjonalność można wyróżnić następujące systemy z:

- identyfikatorami 1-bitowymi (EAS – *Electronic Article Surveillance* – elektroniczny nadzór nad artykułami); są to najczęściej systemy antykradzieżowe w sklepach, gdzie czytnik tylko wykrywa obecność identyfikatora i generuje alarm przy próbie wyniesienia towaru poza sklep bez zapłaty; obsługa kasy bardzo silnym polem magnetycznym niszczy w sposób nieodwracalny identyfikator;
- identyfikatorami tylko do odczytu;
- identyfikatorami do zapisu i odczytu;
- mechanizmami antykolizji, gdzie możliwe jest odczytanie wielu identyfikatorów znajdujących się w zasięgu czytnika;
- uwierzytelnieniem i szyfrowaniem;
- identyfikatorami (kartami) inteligentnymi zawierającymi procesor kryptograficzny.

Na rysunku 7.5 pokazano przykład transpondera pasywnego TRID (125 kHz) firmy ELSTA [ELSTA], stosowanego do identyfikacji elementów górniczej sekcji obudowy zmechanizowanej (a), budowę wewnętrzną identyfikatora (karty) pasywnego (b) i identyfikator

aktywny z przyciskiem alarmowym (Mobile Communicator firmy Venture) stosowany między innymi w kopalniach amerykańskich (c).



Rys. 7.5. Przykłady identyfikatorów pasywnego (a, b), aktywnego z przyciskiem alarmowym (Mobile Communicator) Venture (c)

Przez strefę działania (odczytu) czytnika należy rozumieć obszar wokół czytnika, w którym zlokalizowany tam identyfikator zostanie poprawnie odczytany. Rozmiar i kształt strefy działania zależy między innymi od aktualnego usytuowania identyfikatora (ze względu na kierunkowość anteny identyfikatora) a także od usytuowania ruchomych maszyn i urządzeń i niekiedy ekranującego działania ciała człowieka i jego osobistego wyposażenia.

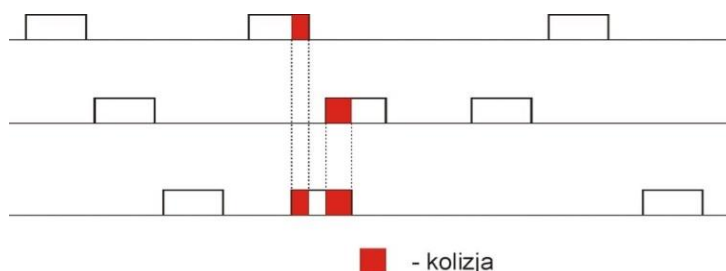
Rozmiar strefy działania transponderów pasywnych i semi pasywnych jest nieduży począwszy od centymetrów (np. dla kart płatniczych z funkcją zbliżeniową) do kilkudziesięciu cm (np. dla identyfikatorów EAS).

W przypadku systemów pasywnych lub semi pasywnych sprzężenie pomiędzy czytnikiem i identyfikatorem może być [Finkenzeller, 2003]:

- indukcyjne,
- pojemnościowe,
- z rozproszeniem wstecznym (electromagnetic backscattering coupling),
- indukcyjne bliskie (rzędu mm).

Transpondery aktywne są wyposażone w źródło zasilania i własny nadajnik. Zasięg strefy działania czytników identyfikatorów aktywnych może być od kilku do kilkuset metrów. Ponieważ w strefie odczytów może znajdować się wiele identyfikatorów istotne jest zastosowanie takiego protokołu komunikacyjnego, który zapewni odczyt wszystkich identyfikatorów przez czytnik w niezbyt długim czasie.

Prostą metodą odczytu wielu identyfikatorów jest zastosowanie protokołu ALOHA [Finkenzeller, 2003]. Polega on na emitowaniu przez identyfikatory w losowych odstępach czasu ramek z numerem identyfikacyjnym niezależnie od zajętości kanału radiowego. Niekiedy wystąpi kolizja, tzn. ramki lub ich fragmenty będą nadawane równocześnie, co uniemożliwia ich poprawny odbiór i odczyt numeru identyfikacyjnego (rys. 7.6).



Rys. 7.6. Ilustracja powstania kolizji w przypadku trzech identyfikatorów w strefie odczytu czytnika

Dla przykładu można podać, że identyfikatory typu TTAG-868FSK/L systemu radiowej identyfikacji personelu i sprzętu typu ARGUS zainstalowane w lampach wszystkich górników pracujących w KWK Pniówek wysyłają dwa razy w ciągu sekundy przez 5 ms swój unikatowy pakiet identyfikacyjny.

Stosując odpowiednio długi czas odczytu identyfikatorów (nadających w losowych, nieregularnych odstępach czasu) można uzyskać prawdopodobieństwo odczytu wszystkich identyfikatorów bliskie jedności. W wielu rozwiązaniach wielkość strefy odczytu czytnika może być regulowana programowo przez ustawienie czułości czytnika.

### 7.3. Możliwości wykorzystania systemów RFID w górnictwie

#### 7.3.1. Rejestracja czasu pracy i zjazdu na dół

Identyfikację RFID można wykorzystać do **rejestracji czasu pracy (RCP)** w zakładzie pracy (zaliczenie „dniówki powierzchniowej”) oraz do rejestracji zjazdu pracowników na dół. Przy wejściu na teren kopalni instaluje się bramki kontroli dostępu przepuszczające ludzi po odczytaniu i weryfikacji identyfikatora osobistego górnika. Bramka zawiera między innymi czytnik oraz ewentualnie mechaniczne elementy blokujące przejście (np. kołowrotek czy rygiel). Czytnik jest przyłączony do systemu RCP. Na rysunku 7.7 pokazano przykłady bramek kontroli dostępu (czytników) zainstalowanych w kopalniach JSW S.A. pełniących różne funkcje w kopalni.

Na głównych bramach wejściowych stosuje się wielostanowiskowe bramki jednokierunkowe osobne dla wejścia oraz osobne dla wyjścia z zakładu pracy (rys. 7.7 a ÷ c). Odczyt z identyfikatora zezwala na wejście jednej osoby, a odczytane dane są przesyłane do systemu RCP dla udokumentowania czasu przebywania pracownika na terenie zakładu pracy.

Podobne jednokierunkowe bramki mogą być zainstalowane na nadszybiach szybów zjazdowych dla **rejestracji zjazdów pracowników** do wyrobisk podziemnych (rys. 7.7 e). Na szybach peryferyjnych i przy małej liczbie górników pracujących w danym rejonie stosuje się bramki zintegrowane realizujące zarówno funkcje RCP, jak i zaliczające zjazdy pracowników. Górnik przed przyłożeniem identyfikatora do czytnika świadomie dokonuje wyboru (przyciskami A, B, C, D rys. 7.7 f) przyczyny swojej obecności w tym rejonie. Na niektórych ciągach komunikacyjnych instaluje się czytniki w wersji terminalowej, najczęściej tylko same czytniki (rys. 7.7 d) i oddzielny duży wyświetlacz.

System rejestracji czasu pracy RCP i system rejestracji zjazdów pracowników mogą być traktowane również jako szeroko rozumiany system **lokalizacji strefowej pracowników**, który posiada informacje o tym, kto (imię i nazwisko) jest na terenie kopalni (strefą lokalizacji jest



kopalnia) i kto zjechał na dół (strefą lokalizacji jest nadszybie, szyb zjazdowy i wszystkie wyrobiska podziemne). Wymienione systemy realizują funkcje **lokalizacji strefowej**.



Rys. 7.7. Czytniki ZAM A.70: a) w obudowie przykręcanej do podłoża, b) w układzie szeregowym na głównej bramie wejściowej kopalni, c) widok płyty czołowej, d) czytnik w wersji terminalowej, e) czytnik na nadszybiu szybu zjazdowego - ewidencja zjazdów, f) w obudowie przykręcanej do ściany przy szybie peryferyjnym realizującym zarówno funkcje RCP, jak i rejestrującym zjazd do wyrobisk podziemnych

W kopalniach JSW S.A. stosowane są systemy RCP czeskiej firmy ZAM. Czytniki systemu RCP są instalowane, konfigurowane oraz serwisowane przez firmę JSW IT Systems (ITS). Wybrane dane techniczne tych czytników:

- wymiary wyświetlacza 70x40 mm,
- zasięg działania kart zbliżeniowych (8 cm MIFARE, 12 cm UNIQUE),
- duża ilość pamiętanych rejestracji – 100 000 lub 200 000,
- wielokolorowy podświetlany element optyczny (piktogram) sygnalizujący zdarzenia kolorem niebieskim, czerwonym bądź różowym,
- sygnalizacja zdarzeń (dźwięki, element optyczny),
- współpraca z kartami zbliżeniowymi przystosowanymi do pracy w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem.

Elektronika jest wykonana na bazie 32-bitowego procesora ARM oraz dwóch procesorów ATMEGA. Bramka może być zasilana napięciem sieciowym 230 V, względnie stałoprądowym (12 V do 48 V). Wyposażona jest w podtrzymanie awaryjne pracy (akumulator 12 V, czas podtrzymania min 4,5 h) Posiada standardowe interfejsy: RS232, RS485 (z optoizolacją), Ethernet 10/100 Mb/s. Umożliwia współpracę z wielu różnymi urządzeniami zewnętrznymi typu rygiel, bramka, kołowrót, przekaźnik. Wewnętrzny czas zegara jest podtrzymywany za pomocą dodatkowej baterii (niezależnej od akumulatora).

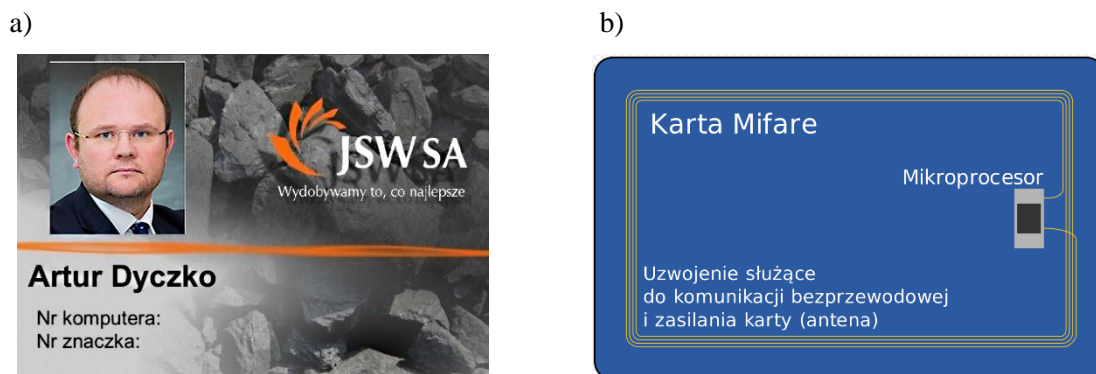
Czytnik w zależności od zastosowanej głowicy czytającej umożliwia współpracę z kartami zbliżeniowymi UNIQUE lub programowalnymi MIFARE. Sygnalizacja zdarzeń czytnika (np. rejestracja) jest prezentowana za pomocą dźwięku oraz dwukolorowego piktogramu. Czytnik umożliwia również zapis pewnych informacji na programowalnych kartach zbliżeniowych MIFARE. Ma on możliwość (w trybie OFFLINE) dodatkowej weryfikacji osoby posługującej się kartą poprzez wymuszenie wprowadzenia z klawiatury indywidualnego kodu zawierającego do 8 znaków. Czas reakcji czytnika na zbliżenie karty wynosi poniżej 1 sekundy (przeszukanie 10000 kart uprawnionych). W momencie rejestracji pracownika na wyświetlaczu może nie tylko pojawić się jego imię i nazwisko, lecz także np. bilans godzin, ważność badań okresowych, ilość dni urlopu do wykorzystania bądź dowolny inny komunikat. Przy współpracy z kołowrotem bramka ma np. możliwość:

- wpuszczenia pracownika tylko w określone dni i o określonej porze,
- zablokowania wielokrotnego rejestrowania tej samej karty pomiędzy odczytami rejestracji,
- wyświetlania na ekranie liczby nieodczytanych rejestracji,
- zastosowania karty identyfikacyjnej jako przepustki (możliwość ustalenia daty ważności karty).

Radiowe systemy RCP oparte na indywidualnych identyfikatorach pracownika stosuje się we wszystkich kopalniach JSW S.A. Osoby zewnętrznych serwisów technicznych i inni goście otrzymują w biurze przepustek kopalni identyfikator jednorazowy, względnie okresowy. Czytnik wejściowy wymaga zbliżenia (na kilka cm) identyfikatora do czytnika. Identyfikator pracownika nie ma własnego źródła zasilania, jest elementem pasywnym. Do rejestracji wejścia (wysłania stosownego kodu do systemu ewidencji załogi) wykorzystuje energię pobraną z czytnika za pośrednictwem pola elektromagnetycznego.

Na rysunku 7.8 (a, b) pokazano przykład (widok i budowę wewnętrzną) karty identyfikacyjnej MIFARE stosowanej w zakładach górniczych JSW S.A. Jest ona również stosowana na nadszybiach przy rejestracji zjazdu do wyrobisk podziemnych osób uprawnionych. Stosowane są karty zbliżeniowe MIFARE (Classic, względnie Plus) w wersji z 7-bajtowym unikalnym numerem seryjnym (UID), zgodnie z normą ISO 14443 typ A.





Rys. 7.8. Przykłady: a) identyfikatora uprawniającego do wejścia na teren JSW S.A., b) wnętrza karty zbliżeniowej MIFARE identyfikatora osobistego

Karta jest dostarczana w kolorze białym (materiał PCV), przystosowana do zadruku na drukarkach termosublimacyjnych<sup>1</sup>. Wybrane dane techniczne karty:

- wymiary: 85,6 x 54 x 0,76 mm,
- chip bezstykowy (RFID): NXP MF1 IC S50 lub NXP MF1SPLUS60x,
- częstotliwość pracy: 13,56 MHz, kompatybilne z ISO 14443A,
- pamięć całkowita EEPROM: 1024 bajty 2048 bajtów,
- posiada unikalny 7-bajtowy numer seryjny (i/lub) nieunikalny 4-bajtowy nr seryjny,
- szyfrowanie: CRYPTO1 48-bit i AES 128-bit (dla kart Plus).

Karty MIFARE wykorzystują do komunikacji z czytnikiem protokół NFC<sup>2</sup> (*near field communication*). Protokół ten zapewnia wymianę danych na odległości kilku cm, korzystając z częstotliwości 13,56 MHz.

W kopalniach JSW S.A. niestosujących systemów RFID w wyrobiskach podziemnych, wymagana przepisami rejestracja miejsc pracy na dole grup pracowników dokonywana jest w dyspozytorni kopalnianej przez przyjęcie (od sztygara zmianowego) telefonicznego ogólnego meldunku o liczbie górników pracujących w danym rejonie i charakterze wykonywanej przez nich pracy. Na podstawie tych telefonicznych meldunków dyspozytor sporządza ogólny raport zmianowy. Raport ten często odbiega od rzeczywistego obrazu przemieszczania się górników w czasie danej zmiany roboczej.

### 7.3.2. Lokalizacja strefowa

Stosowanie np. obrotowych (czy uchylnych) bramek kontroli dostępu lub bramek wymagających włożenia identyfikatora do czytnika w wyrobiskach podziemnych jest nieuzasadnione ze względu na zapewnienie bezpiecznego i szybkiego przemieszczania się

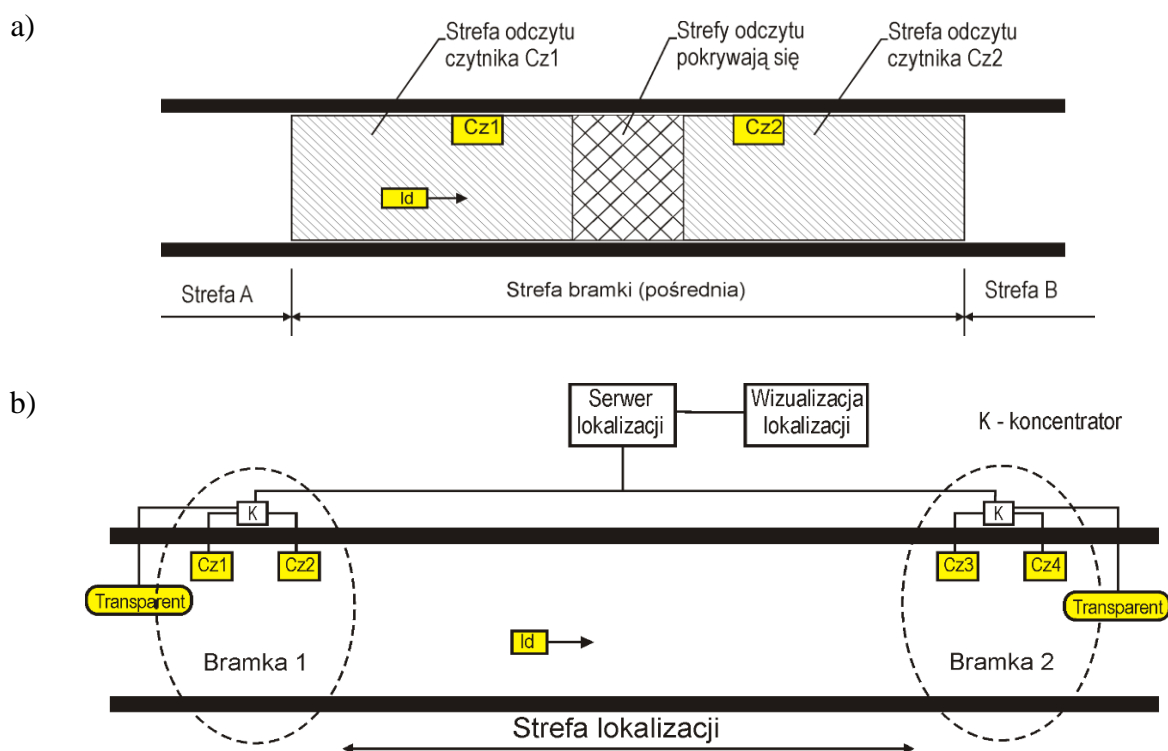
<sup>1</sup> Drukarka termosublimacyjna (sublimacyjna) – typ kolorowej drukarki wykorzystujący ciepło do przenoszenia barwnika na określony nośnik druku. Dla ochrony wydruku przed degradacją lub resublimacją nakłada również warstwę laminatu.

<sup>2</sup> NFC – komunikacja bliskiego zasięgu to protokół, która umożliwia komunikację między dwoma urządzeniami na odległość nie większą niż 20 cm. Jest on najczęściej używany w trakcie płatności zbliżeniowych telefonem. Do przesyłania informacji pozwala on na dwukierunkową **jednoczesną** komunikację tylko z jednym urządzeniem pasywnym.

załogi w sytuacji zagrożenia, ograniczenia w poruszaniu się ludzi, transporcie materiałów i innych urządzeń. W wyrobiskach podziemnych wyposażając pracowników w identyfikatory aktywne można zrealizować **lokalizację strefową**.

Na granicach poszczególnych stref zainstaluje się zestawy co najmniej dwóch czytników zwanych **bramkami RFID** (rys. 7.9 a). Strefy odczytu czytników muszą się częściowo pokrywać. W każdej bramce na podstawie sekwencji odczytów identyfikatorów przez poszczególne czytniki można określić kierunek ruchu identyfikatora (czy porusza się do strefy, czy wychodzi ze strefy). Instalując dwie bramki RFID w wyrobisku można zrealizować lokalizację strefową co pokazano na rysunku 7.9 b).

Jeżeli w strefie obowiązuje ograniczenie liczby jednocześnie przebywających tam osób, ponieważ jest to **strefa szczególnego zagrożenia tapaniami**, to w pobliżu bramek na granicy strefy umieszcza się transparenty, które w przypadku, gdy w strefie znajduje się maksymalna dopuszczalna liczba osób wyświetlają napis „ZAKAZ WEJŚCIA”. System lokalizacji na podstawie liczby zarejestrowanych osób w strefie wyświetla odpowiednie napisy na transparentach.



Rys. 7.9. Ilustracja działania bramki RFID w wyrobisku podziemnym (a), przykład realizacji lokalizacji strefowej w chodniku (b)

### 7.3.3. Lokalizacja dokładna - systemy RTLS

Jak już wspomniano, techniki RFID stosowane w systemach lokalizacji strefowej, funkcjonują na tej zasadzie, że czytniki dokonują odczytu unikalnego kodu identyfikatora (w momencie przechodzenia w pobliżu czytnika) i przekazują go do serwera systemu. Dokładne położenie identyfikatora w danej chwili nie jest istotne. Istotne jest tylko stwierdzenie obecności identyfikatora wewnątrz strefy.

Systemy lokalizacji RTLS są rozwinięciem technik RFID. W takich systemach czytnik nie tylko odczytuje sygnał radiowy wysyłany przez identyfikator, lecz dokonuje także pomiaru pewnych parametrów odebranego sygnału radiowego (np. poziom lub czas nadejścia sygnału z identyfikatora) po to, by system mógł obliczyć położenie identyfikatora z określoną dokładnością w wyrobisku w chwili nadawania sygnału. Systemy RTLS są więc często nazywane **systemami lokalizacji dokładnej** co oznacza, że taki system oblicza położenie identyfikatora z określonym błędem.

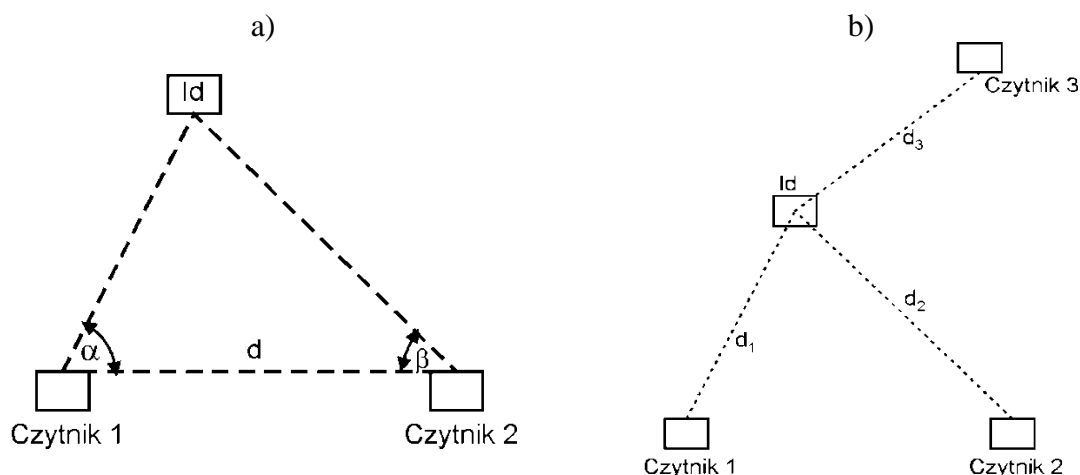
Wyróżnia się następujące sposoby lokalizacji identyfikatorów na płaszczyźnie dwuwymiarowej w systemach RTLS:

- AOA (*Angle of Arrival*) - metoda pomiaru kąta nadejścia sygnału z identyfikatora,
- TOA (*Time of Arrival*) - metoda pomiaru czasu nadejścia sygnału z identyfikatora,
- TDOA (*Time Difference of Arrival*) – metoda pomiaru różnicy czasów nadejścia sygnałów z identyfikatora,
- RSS (*Received Signal Strength*), niekiedy oznaczona skrótem RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) – metoda pomiaru poziomu sygnału radiowego emitowanego przez identyfikator.

Spotyka się również rozwiązania hybrydowe stosujące dwie z wymienionych metod np. AOA i TDOA (rozwiązanie firmy UBISENSE).

W przypadku lokalizacji identyfikatora Id metodą AOA stosuje się dwa czytniki ustawione w odległości  $d$  (rys. 7.10 a). Każdy czytnik jest wyposażony w antenę umożliwiającą określenie kątów  $\alpha$  i  $\beta$  nadejścia sygnału z identyfikatora. Znajomość odległości  $d$  oraz kątów  $\alpha$  i  $\beta$  pozwala na określenie położenia identyfikatora wykorzystując zależności geometryczne dotyczące trójkąta. W przypadku metody TOA powinno się stosować trzy czytniki (rys. 7.10 b). Czytniki dokonują pośredniego pomiaru odległości  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  do identyfikatora mierząc czas potrzebny fali elektromagnetycznej na przebycie odległości od identyfikatora do czytnika. Czas może być mierzony dwoma sposobami:

- dwukierunkowo (czytnik – Id – czytnik) z uwzględnieniem czasu odpowiedzi,
- jednokierunkowo, gdzie identyfikator wysyła sygnały w zdefiniowanych chwilach czasowych. Ponieważ nie można zapewnić synchronizacji zegarów identyfikatora i czytników na wynik pomiaru czasu ma wpływ nieznanne przesunięcie czasowe zegarów identyfikatora i czytnika. Przesunięcie czasowe zegarów można wyznaczyć stosując dodatkowy czytnik (np. trzy czytniki dla lokalizacji na płaszczyźnie lub cztery czytniki dla lokalizacji w przestrzeni), wykorzystując pojęcie pseudoodległości (podobnie jak w systemach GPS [Narkiewicz, 2003]). Znajomość odległości  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , a także położenia czytników pozwala na określenie położenia identyfikatora wykorzystując typowe zależności geometryczne.



Rys. 7.10. Ilustracja metod lokalizacji identyfikatora ID: a) AOA, b) TOA, TDOA, RSS

W przypadku metody TDOA stosuje się czytniki z synchronizowanymi zegarami i mierzy się różnicę czasów przyścia sygnału z identyfikatora do dwóch czytników. W przypadku zastosowania trzech czytników różnice czasów pozwalają na określenie różnic odległości  $\Delta_{12}=d_1-d_2$ ,  $\Delta_{23}=d_2-d_3$ . Znajomość różnic odległości pozwala na określenie położenia identyfikatora wykorzystując typowe zależności geometryczne.

W przypadku metody RSS czytniki dokonują pomiaru poziomu sygnału odebranego z identyfikatora. Jeżeli znany jest model propagacji fali elektromagnetycznej (zależność poziomu sygnału od odległości), to wartość poziomu sygnału odebranego przez poszczególne czytniki pozwoli na określenie odległości  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  oraz położenia identyfikatora.

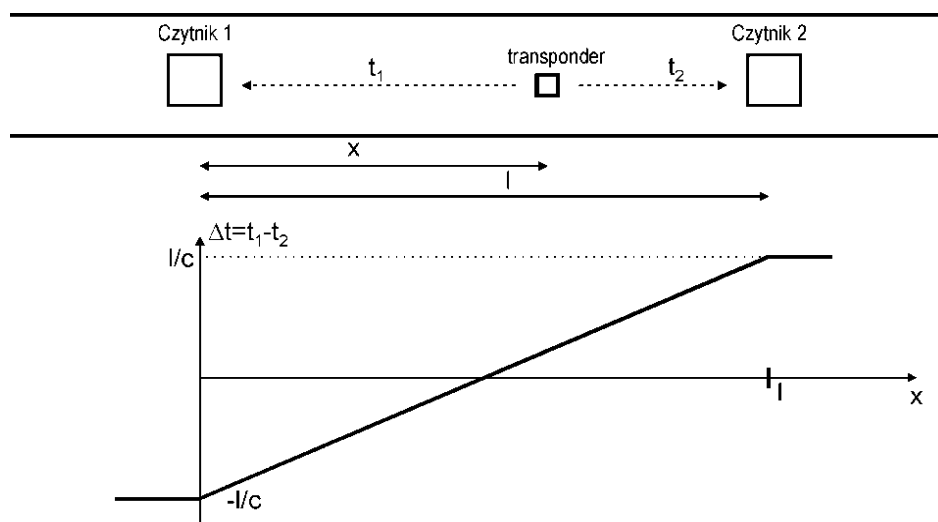
Należy zaznaczyć, że z uwagi na kształt podziemnych wyrobisk korytarzowych nie jest możliwa lokalizacja w przestrzeni dwuwymiarowej, co ma wpływ na dokładność lokalizacji identyfikatora w wyrobisku.

Lokalizacja strefowa, a w niektórych wyrobiskach lokalizacja dokładna, jest istotna w przypadku katastrof górniczych (np. tąpnięciach). Wtedy informacje o położeniu ludzi w chwili katastrofy pozwalają lepiej poprowadzić akcję ratowniczą. Dnia 5.05.2018 r. w Ruchu Zofiówka doszło do wstrząsu, w wyniku którego zostało uszkodzonych siedmiu górników. Ciało ostatniego górnika znaleziono po 12 dniach akcji. Jednym z istotnych problemów prowadzenia akcji ratowniczej w Ruchu Zofiówka była lokalizacja ciał górników. Przebieg akcji ratowniczej skłonił Zarząd JSW S.A. do przeprowadzenia testów kilku dostępnych systemów dokładnej lokalizacji górników RTLS. Z uwagi na kształt wyrobisk korytarzowych możliwa jest jedynie lokalizacja identyfikatorów w osi wyrobiska bez lokalizacji w jego przekroju poprzecznym. Jest to **lokalizacja jednowymiarowa** (występuje tylko jedna współrzędna) tzn. położenie identyfikatora określamy jako odległość od punktu odniesienia (np. od umownego początku wyrobiska). Dla testów w kopalniach JSW przyjęto wymaganą dokładność lokalizacji około 2 m. W wyrobiskach podziemnych praktyczne zastosowanie mogą mieć dwie metody lokalizacji RTLS:

- metoda pomiaru różnicy czasów (TDOA),
- metoda pomiaru poziomu sygnału radiowego (RSS).

### 7.3.4. Lokalizacja dokładna TDOA - pomiar różnicy czasów

Metoda lokalizacji przez pomiar różnicy czasów nadejścia sygnałów TDOA polega na tym, że identyfikator wysyła sygnał radiowy, który jest odbierany przez minimum dwa czytniki (rys. 7.11). Mierzona jest różnica czasu odebrania tego sygnału przez te czytniki. Czas propagacji sygnału od transpondera do czytnika 1 jest równy  $t_1$ , a czas propagacji sygnału od transpondera do czytnika 2 jest równy  $t_2$ .



Rys. 7.11. Ilustracja liniowej lokalizacji metodą TDOA

Jeżeli w wyrobisku identyfikator będzie znajdować między dwoma czytnikami 1 i 2, w odległości  $x$  od czytnika 1, a odległość między czytnikami jest równa  $l$  (rys. 7.11), to zmierzona różnica czasów  $\Delta t$  pozwoli na określenie odległości  $x$  według zależności:

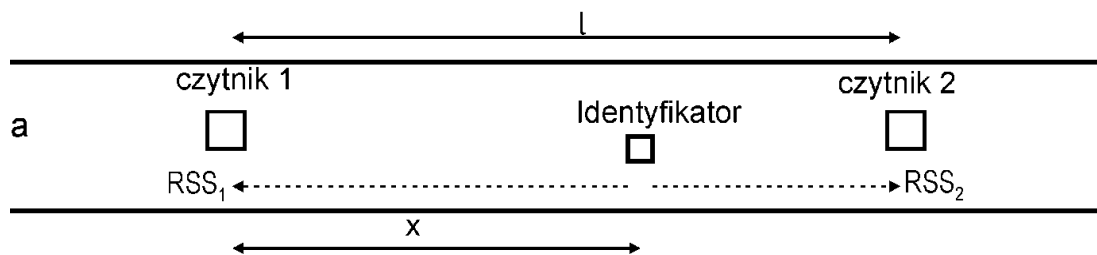
$$x = \frac{c \cdot \Delta t + l}{2} \quad (7.1)$$

Jeżeli w wyrobisku identyfikator będzie znajdować poza przestrzenią między czytnikami to wyznaczenie lokalizacji metodą TDOA nie jest możliwe. Można temu zaradzić instalując czytniki w taki sposób by identyfikator był w zasięgu więcej niż dwóch czytników.

Warunkiem zastosowania metody TDOA jest możliwość pomiaru czasu z dokładnością nanosekundową. Tak dużą dokładność pomiaru czasu można uzyskać stosując modulację szerokopasmową CSS (sygnał chirp).

### 7.3.5. Lokalizacja dokładna RSS - pomiar poziomu sygnału radiowego

Metoda lokalizacji przez pomiar poziomu sygnału radiowego RSS polega na tym, że transponder wysyła sygnał radiowy, który jest odbierany przez dwa czytniki (czytnik 1, czytnik 2), a w systemie mierzona jest różnica poziomu sygnału transpondera ( $\Delta RSS$ ) odebranego przez czytnik 1 i czytnik 2. Na rysunku 7.12 pokazano usytuowanie transpondera względem dwóch czytników.



Rys. 7.12. Ilustracja lokalizacji metodą pomiaru poziomu sygnału radiowego RSS

Różnica poziomów sygnałów odebranych przez czytniki jest równa w przybliżeniu

$$\Delta RSS = 10 \cdot n \cdot \lg \frac{l-x}{x} \quad (7.2)$$

gdzie  $n$  oznacza współczynnik zależny od warunków propagacji sygnału radiowego w wyrobisku (w granicach 1,2 do 1,6).

Z zależności (7.2) można wyliczyć odległość  $x$  między identyfikatorem i czytnikiem 1. Z prób przeprowadzonych w JSW S.A. wynika, że dla systemu lokalizacji metodą RSS uzyskujemy dokładność około 10% odległości  $x$  pomiędzy dwoma czytnikami, a największy bezwzględny błąd lokalizacji (dla przyjętych założeń do szacunkowych obliczeń) jest równy  $\pm 1,5$  m i występuje w środku między czytnikami.

## 7.4. Realizacja lokalizacji strefowej w kopalniach

### 7.4.1. Typowe miejsca instalacji bramek

Uruchomione dotychczas instalacje systemów identyfikacji w kopalniach to systemy lokalizacji strefowej. Z wyjątkiem KWK Pniówek obejmują one kontrolą tylko wybrane rejony czy wyrobiska. Są to najczęściej rejony, w których występują zintegrowane zagrożenia środowiskowe i rejony silnie tąpące. Przy podejmowaniu decyzji o budowie systemu identyfikacji w danej kopalni zauważa się dwie tendencje:

- Dążenie do uzyskania (tylko w określonym najczęściej małym obszarze np. rejonie zagrożonym) względnie dużej dokładności. Uzyskuje się ten cel przede wszystkim przez umiejętnie dobrane miejsca i liczbę lokalizacji bramek.
- Objęcie systemem identyfikacji dużych obszarów (np. całe poziomy eksploatacyjne), zmniejszając jednocześnie tym samym dokładność miejsca identyfikacji górników.

### 7.4.2. Lampownia, nadszybia i podszybia

Zabudowa strefowego systemu lokalizacji w kopalni zawsze musi uwzględnić kilka zasadniczych rejonów zakładu górniczego jakimi są przede wszystkim lampownie, nadszybia, podszybia oraz podstawowe rejony eksploatacyjne. Budowa takiego systemu w kopalni wiąże się z potrzebą sprawdzenia przez górnika prawidłowego działania nadajnika po pobraniu lampy osobistej. Sprawdzenie jego działania polega więc na odebraniu informacji z systemu identyfikacji stosowanego w kopalni (np. optycznie na transparencie na nadszybiu), że dany górnik posiada właściwą lampę. Osoby z zewnątrz zjeżdżające na dół w lampowni powinny zostać wprowadzone do komputerowej bazy danych. Niezbędna jest więc instalacja bramki na

drodze dojścia z lampowni do nadszybia, tak aby każdy pracownik po pobraniu lampy miał możliwość sprawdzenia poprawność działania swojego nadajnika.

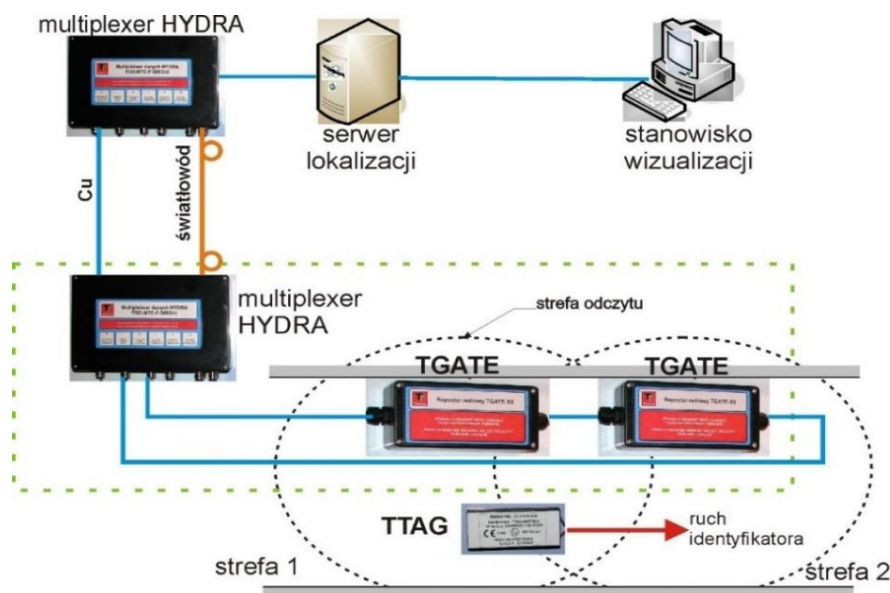
Bramki instalowane na podszybiach informują dyspozytora o liczbie górników pracujących na zmianie roboczej na danym poziomie. Podstawowymi punktami na podszybiach, w których należy instalować bramki, są z reguły krótkie odcinki drogi przejścia pomiędzy wrotami szybowymi, a pierwszym rozwidleniem wyrobiska na poziomie. Umieszczenie bramek w tych miejscach umożliwi szybką kontrolę stanu całej załogi znajdującej się na każdym poziomie eksploatacyjnym kopalni.

### 7.4.3. Przdki eksploatacyjne

Z uwagi na duże zagrożenia w określonych miejscach pracy identyfikacja strefowa w każdej kopalni powinna obejmować górników pracujących w wyrobiskach przodkowych wentylowanych lutniociągami. W tego typu wyrobiskach zazwyczaj nie przebywa więcej niż 20 osób, a maksymalne ich długości nie przekraczają kilku km. Dla zwiększenia dokładności identyfikacji, przy długich wybiegach tych wyrobisk może okazać się konieczne zainstalowanie (oprócz bramki stałej), także drugiej tzw. „ruchomej bramki”, która będzie przebudowywana w miarę postępu czoła przodka.

## 7.5. System lokalizacji strefowej ARGUS

Przykładem iskrobezpiecznego systemu lokalizacji strefowej jest ARGUS opracowany przez firmę TRANZ-TEL i zainstalowany w KWK Pniówek (rys. 7.13).



Rys. 7.13. Ogólny schemat blokowy systemu identyfikacji ARGUS

Budowę systemu w kopalni rozpoczęto w 2011 roku. W 6980 lampach osobistych (jako w tym okresie były na wyposażeniu lampowni) zainstalowano identyfikatory TTAG (rys. 7.14 a), 268 lamp (rys. 7.14 h) posiadało możliwość odbierania wiadomości tekstowych. Przygotowano również 1000 identyfikatorów bateryjnych TTAG-B dla jednostek transportowych. Wybrane dane techniczne identyfikatora TTAG przedstawiono w tabeli 7.1.



## Wybrane dane techniczne identyfikatora TTAG montowanego w lampie osobistej

Tabela 7.1.

Lp.	Symbol	Parametr	Wielkość	Jednostka
<b>Zasilanie</b>				
1	$P_n$	Średnia moc pobierana	1	mW
2	$U_n$	Napięcie pracy	3 – 5	V
3	$I_n$	Średni pobór prądu	200	$\mu$ A
4	$I_{min}/I_{max}$	Standby/Nadawanie	10/12	$\mu$ A/mA
<b>Nadawanie</b>				
5	$F_{av}$	Częstotliwość nośnej	868	MHz
6	$F_{dev}$	Dewiacja/Modulacja	90/FSK	kHz
7	$P_{tx}$	Moc nadajnika	6	dBm
8	$T_{tx}/F_{tx}$	Czas/częstotliwość nadawania	5/2	Ms/ Hz
<b>Wymiary</b>				
9	L/W/H	Długość/Szerokość/Wysokość	60/27/8	mm

Identyfikatory TTAG-B są wyposażone w niewymienny względnie wymienny<sup>1</sup> akumulator (rys. 7.14 b) o minimalnym czasie pracy bateryjnej 3 lata. W systemie logistyki materiałowej mocuje się je na stałe do kontenerów transportowych.

W pierwszym okresie funkcjonowania systemu ARGUS jako bramki identyfikacyjne stosowano tylko przewodowe transpondery TGATE, które protokołem RS485 łączone były z multiplexerami HYDRA. Ponieważ pojawiły się trudności w transmisji tak dużych ilości danych do centrum dyspozytorskiego, podjęto decyzję o budowie w kopalni sieci światłowodowej.

Obecnie przewodowe transpondery radiowe TGATE2 (rys. 7.14 g) stosowane są tylko w stałych punktach systemu identyfikacji strefowej (np. lampownia, nadszybia i podszybia). Pracują w ciągłym nasłuchu na częstotliwości 868 MHz. Wymagają zasilania DC 8-20 V (pobór prądu około 20 mA). Mogą być również wykorzystywane jako regeneratory sygnałów RS485. Posiadają układy sygnalizacji optycznej (TGATE2-8Lx) i/lub akustycznej (TGATE2-8LG).

System bezpieczeństwa ARGUS uzyskał dopuszczenie Prezesa WUG. Urządzenia teletransmisyjne systemu umożliwiają transmisję danych kablami światłowodowymi lub miedzianymi oraz z wykorzystaniem fal radiowych. Dzięki zastosowaniu modemu radiowego TRM-VHF istniała również możliwość przesyłania danych za pośrednictwem kabla promieniującego systemu MCA-1000. Wszystkie urządzenia posiadają standardowy interfejs, co stwarza możliwość współpracy z uniwersalnym multiplexerem systemu teletransmisyjnego

<sup>1</sup> Taki identyfikator składa się z dwóch części: modułu radiowego i baterii

ST-HYDRA. Wizualizację realizował komputerowy system nadzoru dyspozytorskiego Monsteer-D.

ST-HYDRA jest multiplekserem danych o wielu różnorodnych portach wejściowych i zastosowaniach. Stanowi on zasadniczy element systemu identyfikacji personelu i urządzeń ARGUS. Może on realizować między innymi następujące funkcje:

- konwertera transmisji szeregowej z separacją galwaniczną różnych mediów (RS485, modem V.32, światłowód wielomodowy, jednomodowy, modem radiowy),
- repeatera/separatora magistrali RS485,
- akwizycji danych wejściowych: wejścia dwustanowe, analogowe 0,4÷2 V, 4÷20 mA,
- sterowania urządzeń poprzez wyjścia przekaźnikowe.

Aktualnie bramki systemu ARGUS zawierają:

- centralę Multigate (zwaną także sterownikiem Multigate, względnie bramką Multigate); centrala posiada osiem portów dla sond Multigate, jest zasilana napięciem stałym 8÷16 V (pobór mocy około 1,7 W),
- czytniki (zwane przez producenta sondami Multigate lub aktywnymi antenami), które mogą być przyłączone do centrali Multigate kablem o długości do 100 m.

Na rysunku 7.14 pokazano zasadnicze elementy systemu ARGUS, takie jak: identyfikatory TTAG oraz TTAG-B z baterią przystosowany do mocowania do kontenerów transportowych, centralę Multigate i sondę (czytnik) Multigate (oznaczenie Cz na rys. 7.15) z kablem łączącym ją z centralą Multigate, multiplekser HYDRA i transparent.

a)



b)

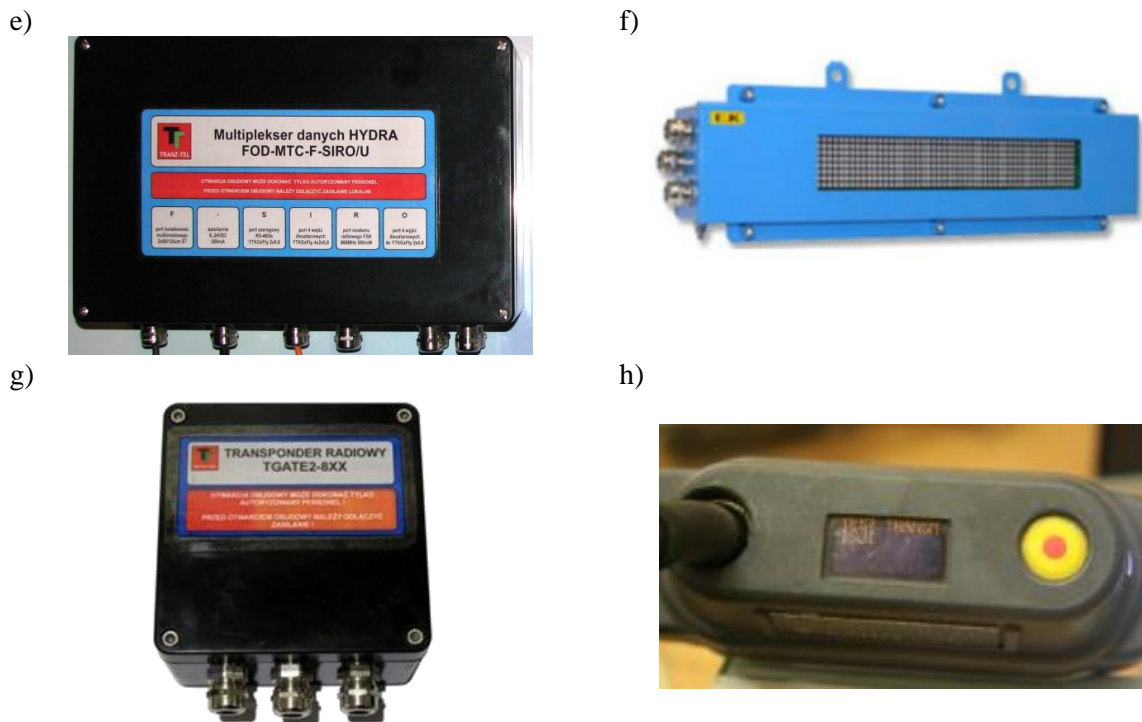


c)



d)

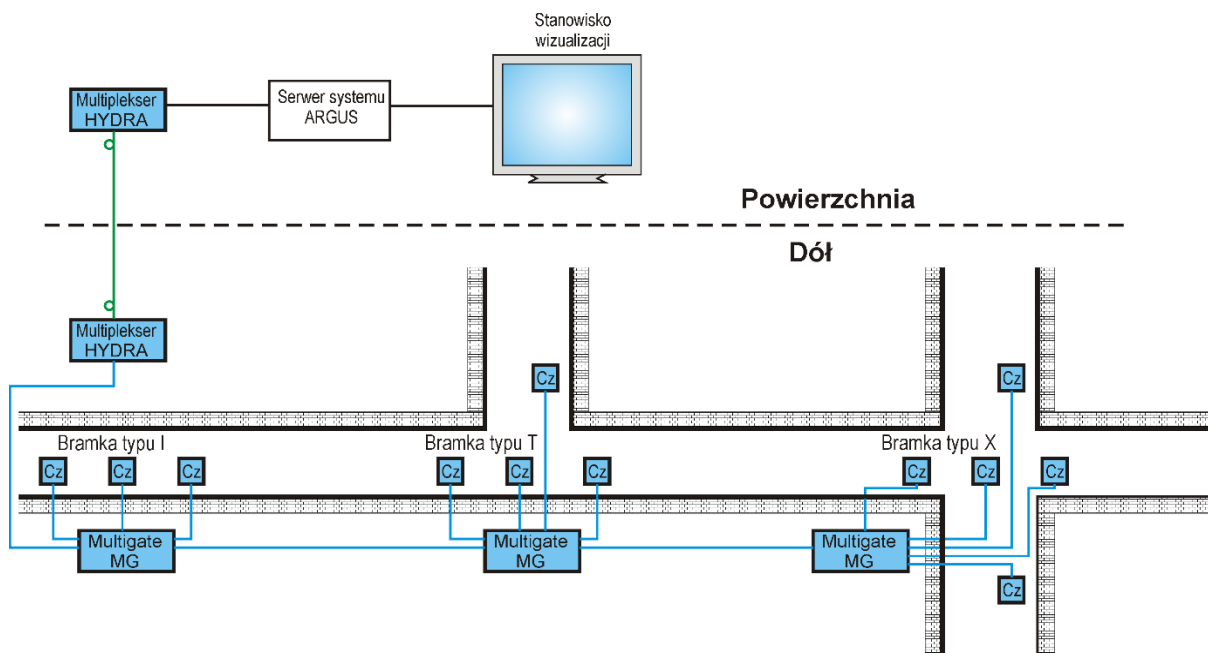




Rys. 7.14. Elementy systemu ARGUS: a) identyfikator TTAG do montażu w pokrywie akumulatora lampy naładowanej, b) identyfikator TTAG-B z wymienną baterią przystosowany do mocowania do kontenerów transportowych, c) centrala Multigate, d) sonda Multigate wraz z kablem zasilającym, e) multiplexer HYDRA, f) transparent, g) transponder radiowy TGATE2, h) lampa osobista z możliwością odbierania wiadomości tekstowych i przyciskiem alarmowym

Liczba sond Multigate podłączonych do centrali zależy od konfiguracji bramki (rys. 7.15):

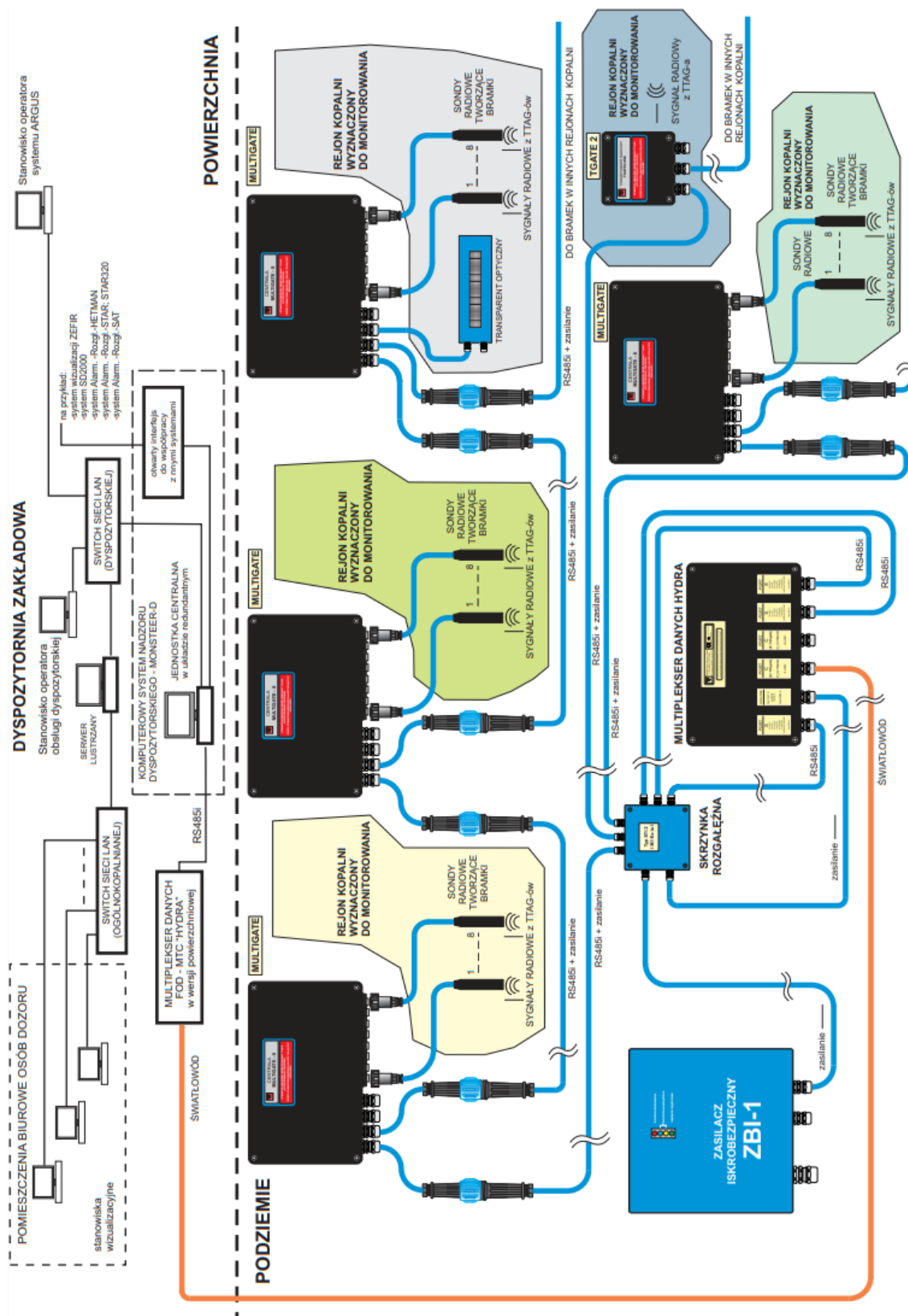
- dla bramki typu I (rozdzielającej wyrobisko na dwie strefy) przewiduje się trzy czytelniki,
- dla bramki typu T (skrzyżowanie z jednostronne) przewiduje się cztery czytelniki,
- dla bramki typu X (skrzyżowanie z dwoma wyrobiskami) przewiduje się pięć czytelników.



Rys. 7.15. Schemat blokowy systemu ARGUS oraz konfiguracje podstawowych rodzajów bramek

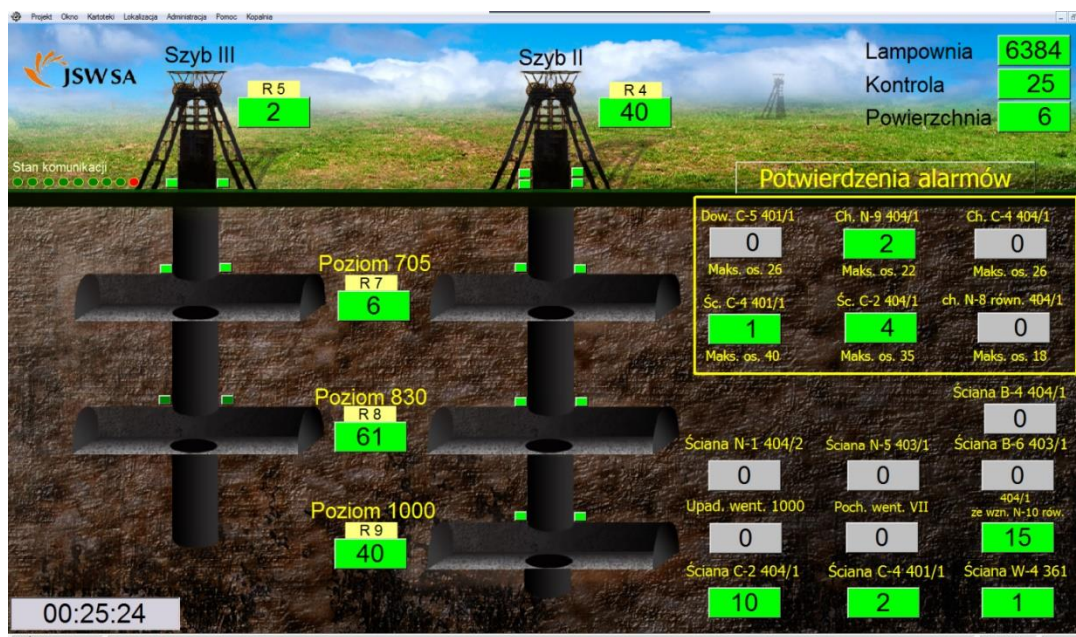
Sondy Multigate są przyłączone łączyami RS485 do centrali Multigate. Poszczególne sterowniki Multigate są przyłączone linią magistralną (RS485) do dołowego multipleksera HYDRA. Dołowy multiplekser HYDRA jest połączony z powierzchniowym multiplekserem HYDRA łączyami światłowodowymi, łączyami RS485 lub łączyami modemowymi. Bramka może być wyposażona w transparenty (rys. 7.14 f) sygnalizujące np. napisem „ZAKAZ WEJŚCIA” w przypadku, gdy strefie szczególnego zagrożenia znajduje się dopuszczalna liczba osób.

Przykładową strukturę systemu ARGUS w kopalni przedstawiono na rysunku 7.16. Na rysunku tym trzy centrale Multigate połączone są szeregowo i poprzez skrzynkę rozgałęźną zasilane są z jednego zasilacza iskrobezpiecznego ZBI-1. Czwarta centrala Multigate oraz przewodowy transponder radiowy TGATE zasilane są oddzielnymi kablami zasilającymi transmisyjnymi (iskrobezpieczny RS485i + zasilanie). Do wszystkich central Multigate podłączone są sondy radiowe tworząc określonego rodzaju bramki (rys. 7.15) w kontrolowanych rejonach kopalni. Następnie poprzez dołowy multiplekser danych HYDRA kablem światłowodowym sygnały z bramek doprowadzone są na powierzchnię do jednostki centralnej systemu nadzoru dyspozytorskiego MONSTEER-D, i dalej do dyspozytora i stanowiska operatora systemu ARGUS. Wykorzystując serwer lustrzany informacje z systemu ARGUS przekazane są do uprawnionych stanowisk ogólnokopalnianej sieci komputerowej.



Rys. 7.16. Przykład ogólnej struktury systemu ARGUS w kopalni





Rys. 7.17. Widok głównego okna programu ARGUS

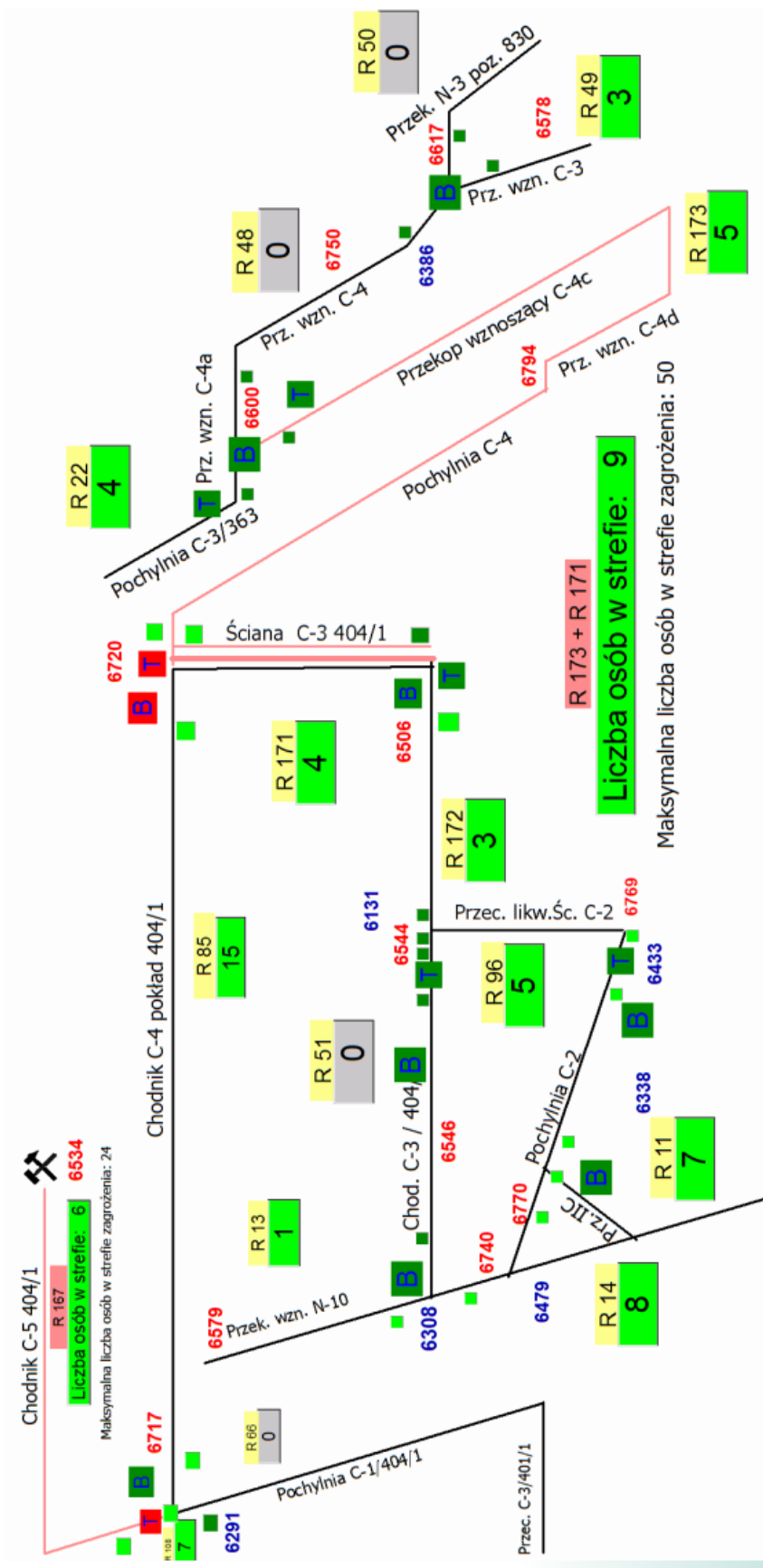
Na rysunku 7.17 pokazano widok głównego okna programu ARGUS. Dyspozytor ma podgląd na liczbę ludzi w poszczególnych rejonach kopalni, w których zainstalowane są bramki systemu z podkreśleniem rejonów, w których występują szczególne zagrożenia (w żółtej ramce). Zbliżanie się liczby ludzi w strefie szczególnego zagrożenia do maksymalnej dopuszczalnej liczby sygnalizowane jest poprzez zmianę koloru tła ikony odpowiadającej temu rejonowi z zielonego na żółty, zaś przekroczenie tej liczby wyzwała sygnał dźwiękowy oraz powoduje zabarwienie tła ikony na kolor czerwony. Kolor szary brak ludzi w strefie.

Na rysunku 7.18 pokazano przykład ekranu wizualizacji systemu identyfikacji personelu i sprzętu typu ARGUS dla wybranego rejonu kopalni. Symbolem B oznaczono bramki Multigate, symbolem T oznaczono transparenty. Symbole B i T na zielonym tle oznaczają komunikację tych urządzeń z serwerem. Symbole B i T na czerwonym tle oznaczają brak komunikacji z serwerem. Symbole R oznaczają numery stref wraz liczbą osób obecnych w strefie. Czterocyfrowe czerwone liczby (np. 6717) to nr telefonów w pobliżu bramki. Małe zielone kwadraciki w pobliżu bramki B to liczba czytników przyłączonych do tej bramki.

Obecnie na dwóch poziomach eksploatacyjnych (850 i 1030) czynnych jest około 100 bramek przeznaczonych dla lokalizacji strefowej. W lampach zainstalowanych jest około 5000 identyfikatorów. System rejestruje liczby osób przebywających w poszczególnych strefach.

Istniejąca infrastruktura systemu ARGUS w KWK Pniówek została również wykorzystana do uruchomienia systemu logistyki materiałowej (o firmowej nazwie KAJTO). W systemie KAJTO eksploatowanych jest obecnie około 2500 identyfikatorów bateryjnych zamontowanych do wozów i kontenerów transportowych. System KAJTO umożliwia między innymi:

- prowadzenie ewidencji i lokalizację jednostek transportowych,
- lokalizację materiału z uwzględnieniem jego rodzaju,
- wskazanie docelowej stacji rozładunkowej,
- wskazanie właściciela transportowanego materiału,
- analizę historii transportów.



Rys. 7.18. Przykład rozmieszczenia elementów systemu ARGUS w rejonie ściany



## 7.6. Przykłady systemów lokalizacji dokładnej RTLS dla górnictwa

Jak już wspomniano w 2018 roku w Ruchu Zofiówka nastąpiło tąpnięcie, w wyniku którego zginęło pięciu górników, a zastępy ratownicze miały duże trudności w odnalezieniu poszkodowanych. Fakt ten skłonił Zarząd JSW S.A. do działań mających na celu uruchomienie systemów RTLS w szczególnie zagrożonych rejonach kopalń. Zdawano sobie sprawę, że w przypadku katastrofy na dole każdy system telekomunikacyjny pracujący w tym rejonie zostanie uszkodzony. System lokalizacji RTLS da jednak informację o rozmieszczeniu osób w sekundach przed samą katastrofą, co ułatwi szybsze dotarcie do poszkodowanych i ich odnalezienie. W kopalniach JSW S.A. przeprowadzono więc testy czterech systemów lokalizacji. Każdy z systemów realizował:

- **lokalizację strefową** w lampowni, nadszybiu, podszybiu i na dworcu osobowym,
- **lokalizację dokładną** w rejonie ściany eksploatacyjnej obejmującą chodnik podścianowy, ścianę oraz chodnik nadścianowy.

Testy dotyczyły następujących systemów:

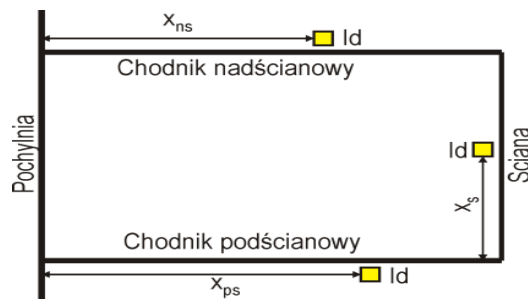
- EMLOK-16 firmy ELEKTROMETAL,
- PORTAS firmy EMAG/SEVITEL,
- ISI firmy ZAM Servis,
- ATUT-Location firmy ATUT.

Każdy z tych systemów został zainstalowany w innej kopalni JSW S.A. na stanowiskach stałych (lampownia, nadszybie, podszybie, dworzec osobowy) i w wybranych rejonach ścian tych kopalń o podobnych parametrach. Elementy dołowe tych systemów są iskrobezpieczne z oznakowaniem I M1 Ex ia I Ma, a przyłącza światłowodowe mają oznakowanie op is i mogą być stosowane w kopalniach metanowych.

W chodnikach przyścianowych, a także w ścianie zainstalowano czytniki w odległościach (określonych przez firmy biorące udział w testach) wynikających z właściwości tych systemów. Systemy RTLS obliczają lokalizację identyfikatora w stosunku do czytników. Natomiast dla użytkownika istotne jest (w miarę najdokładniejsze) określenie położenia identyfikatora w wyrobisku względem przyjętego punktu odniesienia np.:

- w ścianie odległość od chodnika podścianowego  $x_{ns}$ ,
- w chodniku podścianowym odległość od skrzyżowania z pochylnią  $x_{ps}$ ,
- w chodniku nadścianowym odległość od skrzyżowania z pochylnią  $x_{ns}$ .

Na rysunku 7.19 pokazano przykład układu współrzędnych dla potrzeb lokalizacji w rejonie ściany.



Rys. 7.19. Współrzędne dla potrzeb lokalizacji identyfikatorów w rejonie ściany

Dla poprawnego obliczenia współrzędnych identyfikatora niezbędne jest wprowadzenie współrzędnych wszystkich czytników do bazy danych systemu lokalizacji. W miarę postępu ściany należy modyfikować konfigurację systemu lokalizacji RTLS. Przy eksploatacji od granic następuje skracanie chodników przyścianowych, co powoduje konieczność likwidacji najdalszych czytników i usuwania ich z bazy danych systemu lokalizacji RTLS. W oprogramowaniu dla wizualizacji lokalizacji identyfikatorów niezbędne jest przeliczenie współrzędnych lokalizacji na współrzędne mapy wyrobisk rejonu ściany.

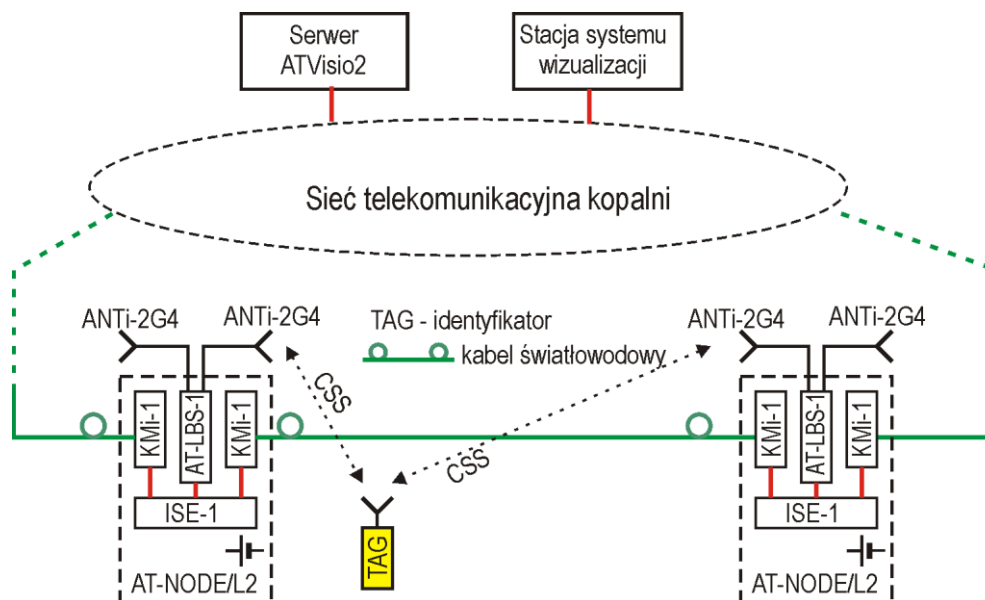
### 7.6.1. System ATUT-Location

System ATUT-Location firmy ATUT realizuje lokalizację dokładną metodą TDOA w zakresie częstotliwości 2,4 GHz. System ten składa się z następujących części:

- dołowej zawierającej: węzły AT-NODE/(L2 – L9) połączone siecią światłowodową, identyfikatory AT-LTAG-1 w wersji z wyświetlaczem i/lub bez wyświetlacza, anten teletransmisyjnych (ANTI-2G4), czytników i zasilaczy iskrobezpiecznych,
- powierzchniowej zawierającej między innymi serwer ATVisio2 oraz stacje systemu wizualizacji w dyspozytorni.

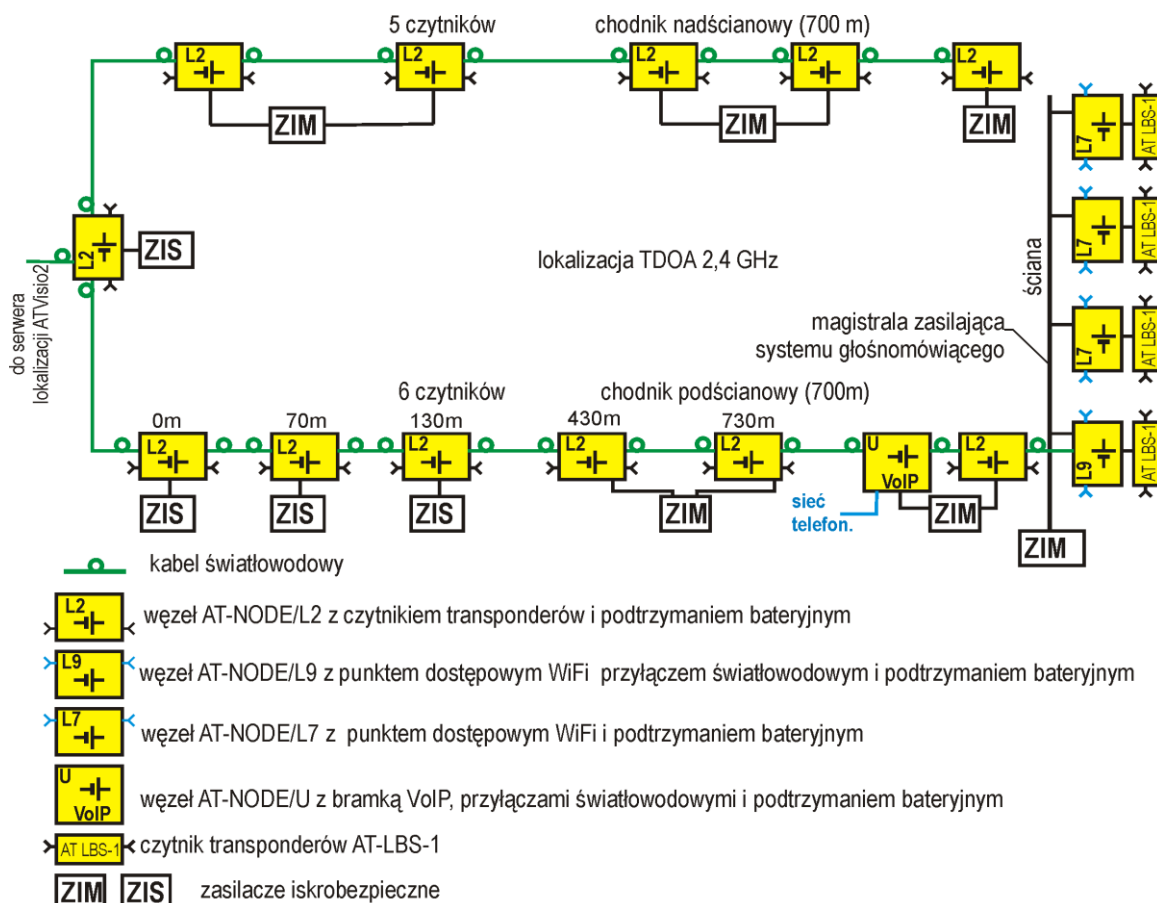
Uproszczony schemat blokowy systemu lokalizacji RTLS typu ATUT-Location z zastosowaniem węzłów AT-NODE/L2 przedstawiono na rysunku 7.20. Węzeł AT-NODE może między innymi zawierać następujące moduły:

- KMi-1 – konwerter elektrooptyczny,
- AT-LBS-1 – moduł pełniący rolę dwóch czytników dla lokalizacji RTLS w pasmie 2,4 GHz,
- ISE-1 – iskrobezpieczny przełącznik (switch),
- ATX566 – akumulator iskrobezpieczny.



Rys. 7.20. Schemat blokowy systemu lokalizacji RTLS z zastosowaniem węzłów AT-NODE/L2

Schemat blokowy systemu lokalizacji RTLS typu ATUT-Location dla rejonu ściany zrealizowany dla potrzeb testów w jednej z kopalń JSW S.A. pokazano na rysunku 7.21.



Rys. 7.21. Schemat blokowy systemu lokalizacji dokładnej ATUT-Location w rejonie ściany

W chodnikach przyścianowych dla połączenia węzłów AT-NODE zastosowano kable światłowodowe, a w ścianie dla transmisji danych z czytników zastosowano punkty dostępowe 802.11 wykorzystywane do łączności telefonicznej VoIP w ścianie. W pobliżu wylotu ściany do chodnika podścianowego zastosowano węzeł AT-NODE/U zawierający bramkę VoIP umożliwiającą połączenie terminali mobilnych VoIP z siecią łączności telefonicznej kopalni. W ścianie zrezygnowano z instalacji kabla światłowodowego i do transmisji danych między modułami AT-LBS-1 wykorzystano dodatkowo węzły AT-NODE/L9 z osobnymi antenami ANTi-2G4 pracujące jako punkty dostępowe 802.11 w pasmie 2,4 GHz.

Węzły AT-NODE/L\* (rys. 7.19, rys. 7.20) są zasilane z zasilaczy iskrobezpiecznych i zawierają wewnętrzną baterię akumulatorów. W instalacji kopalnianej zastosowano odległości między węzłami AT-NODE/L\* wynoszące do 300 m.

Do modułu AT-LBS-1 są przyłączone dwie anteny panelowe typu ANTi- 2G4 o rozmiarach 12x12 cm i zysku energetycznym 8 dB. Komunikacja między czytnikami i identyfikatorami odbywa się z zastosowaniem modulacji CSS. Identyfikatory z wyświetlaczem AT-LTAG-1/LCD posiadają dodatkową funkcjonalność:

- wyświetlanie komunikatów tekstowych przesyłanych przez dyspozytora,
- nadawanie alarmu (do dyspozytora) przyciskiem,
- wykrywanie bezruchu przy zastosowaniu akcelerometru.

Na rysunku 7.22 pokazano wybrane elementy systemu lokalizacji ATUT-Location.

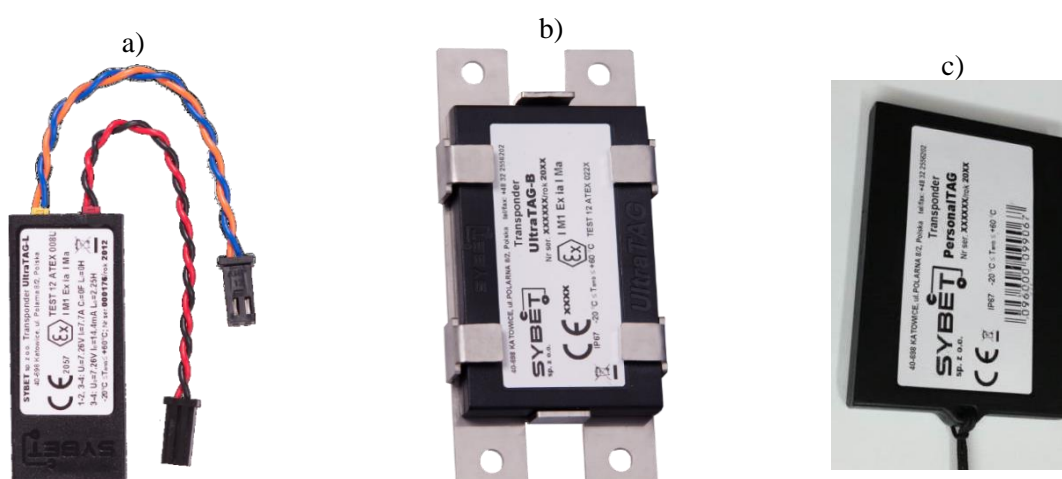


Rys. 7.22. Elementy systemu lokalizacji ATUT-Location: a) identyfikator AT-LTAG-1, b) identyfikator AT-LTAG-1/LCD, c) antena ANTi-2G4, d) węzeł AT-NODE/L7

### 7.6.2. System PORTAS

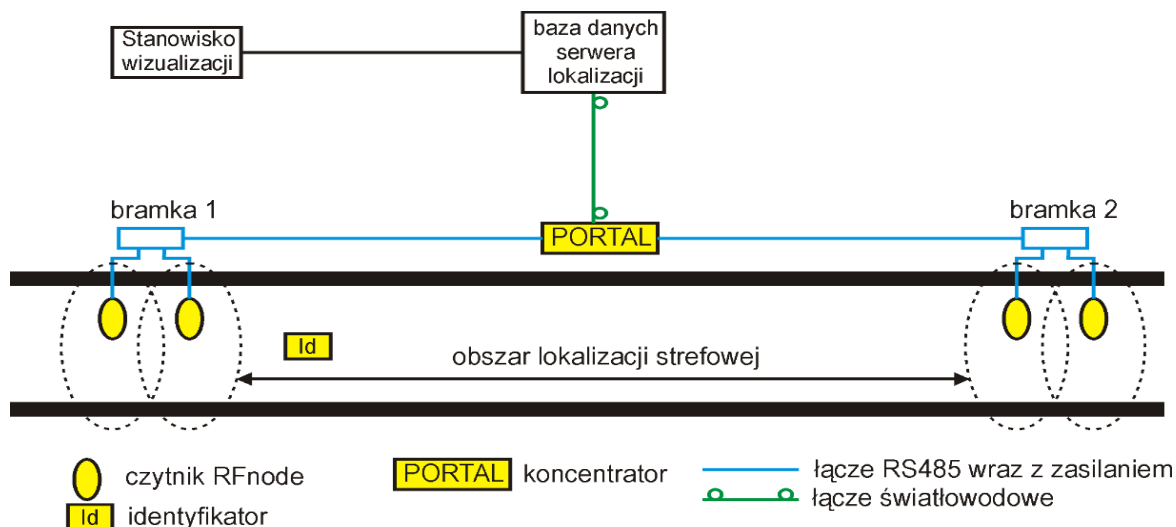
System lokalizacji PORTAS realizuje lokalizację strefową RFID (ludzi i materiałów) oraz lokalizację dokładną RTLS metodą pomiaru poziomu sygnału radiowego RSS w paśmie częstotliwości 868 MHz [PORTAS 2019]. Wykorzystuje następujące identyfikatory (rys. 7.23):

- UltraTAG-L przystosowany do montażu w obudowie akumulatora lampy nahełmnej,
- PersonalTAG z własnym źródłem zasilania i z uchwytem do przymocowania zawieszki,
- UltraTAG-B z własnym źródłem zasilania przystosowanym mocowania na kontenerze transportowym lub pojeździe.



Rys. 7.23. Widoki identyfikatorów systemu PORTAS: a) UltraTAG-L przystosowany do montażu w obudowie akumulatora lampy nahełmnej, b) UltraTAG-B przystosowany do mocowania na kontenerze transportowym lub pojeździe, c) PersonalTAG z własnym źródłem zasilania i uchwytem do przymocowania zawieszki

Na rysunku 7.24 pokazano ogólny schemat blokowy realizacji lokalizacji strefowej w systemie PORTAS.



Rys. 7.24. Schemat blokowy lokalizacji strefowej w systemie PORTAS

Dla lokalizacji strefowej wykorzystuje się czytniki RFnode (rys. 7.25) przyłączone przewodowo do koncentratora (centrali) PORTAL<sup>1</sup> (rys. 7.26). Koncentrator PORTAL posiada pięć portów RS485 wraz z zaciskami zasilającymi oraz przyłącze światłowodowe. Czytniki RFnode<sup>2</sup> są łączone z koncentratorem PORTAL dedykowanym kablem zawierającym dwie żyły 2,5 mm<sup>2</sup> do zasilania i 2x0,8 mm do transmisji danych.



Rys. 7.25. Widok czytnika RFnode



Rys. 7.26. Widok koncentratora PORTAL

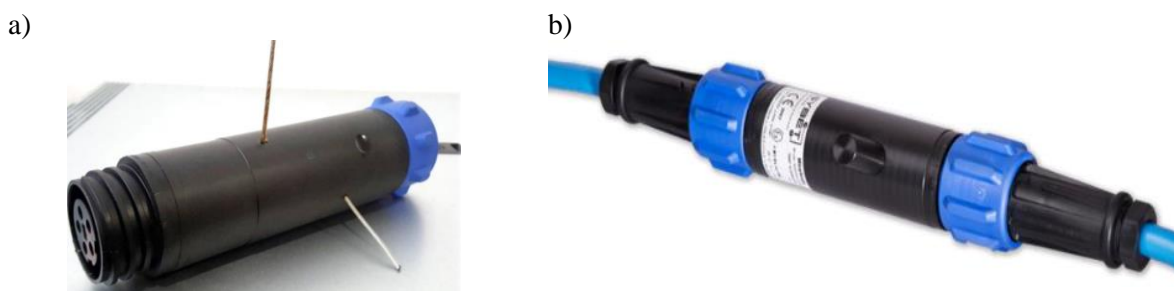
Koncentrator PORTAL jest zasilany z zasilacza iskrobezpiecznego. Dane z koncentratora PORTAL są transmitowane do bazy danych w serwerze lokalizacji siecią światłowodową. Dla lokalizacji RTLS w systemie PORTAS stosuje się czytniki WireNode<sup>3</sup> (rys. 7.27) łączone

<sup>1</sup> Koncentrator nazywany jest często centralą PORTAL.

<sup>2</sup> Czytniki RFnode nazywane są również węzłami radiowymi bramki PORTAL.

<sup>3</sup> Czytnik WireNode jest często nazywany radiowym węzłem magistralowym.

między sobą kablem w układzie łańcuchowym. Czytniki WireNode przyłączone do kabla magistralnego rozmieszcza się w wyrobisku w odległościach 20 – 40 m. Współrzędne miejsca instalacji czytników muszą być wprowadzone do bazy danych systemu RTLS.



Rys. 7.27. Widok czytnika WireNode: a) z osłoną końcową, b) w układzie przelotowym

Dla przeprowadzenia testów lokalizację strefową uruchomiono w lampowni, na nadszybiu, na podszybiu i na kilku dworcach osobowych SO1-SO3, SO-30. W rejonie ściany (chodnik podścianowy, ściana, chodnik nadścianowy) uruchomiono lokalizację dokładną RTLS z tym, że cały rejon ściany potraktowano również jako jedną strefę. Wizualizacja lokalizacji strefowej udostępnia użytkownikowi między innymi następujące funkcje:

- wyświetlanie liczby identyfikatorów w strefie w czasie rzeczywistym (z sekundowym opóźnieniem),
- raport przemieszczania się identyfikatora po terenie kopalni.

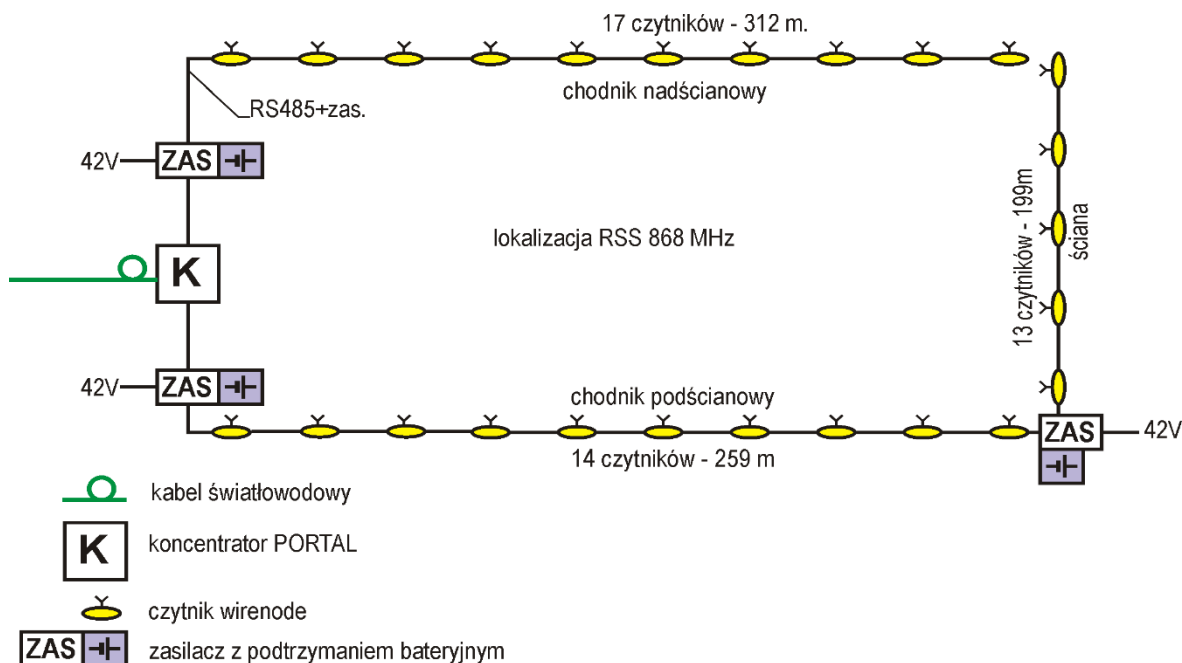
#### Przykład raportu lokalizacji strefowej wybranego identyfikatora w czasie testu na kopalni

Tabela 7.2.

Położenie	Wejście	Czas pobytu
Lampownia	2019-01-28 07:30:25	00:08:27
poza lampownią	2019-01-28 07:38:52	00:00:14
Nadszybie	2019-01-28 07:39:06	00:03:35
poza nadszybiem	2019-01-28 07:42:41	00:01:34
Podszybie	2019-01-28 07:44:15	00:03:26
poza podszybiem	2019-01-28 07:47:41	00:11:29
Dworzec SO1-SO3	2019-01-28 07:59:10	00:07:24
poza SO1-SO3	2019-01-28 08:06:34	00:05:08
Dworzec SO-30	2019-01-28 08:11:42	00:03:34
poza SO-30	2019-01-28 08:15:16	00:18:52
Ściana D-1	2019-01-28 08:34:08	01:15:01
poza ścianą	2019-01-28 09:49:09	00:22:06
Dworzec SO-30	2019-01-28 10:11:15	00:05:46
poza SO-30	2019-01-28 10:17:01	00:03:05
Podszybie	2019-01-28 10:20:06	00:06:03
poza podszybiem	2019-01-28 10:26:09	00:01:38
Nadszybie	2019-01-28 10:27:47	00:02:10
poza nadszybiem	2019-01-28 10:29:57	00:03:26
Lampownia	2019-01-28 10:32:23	

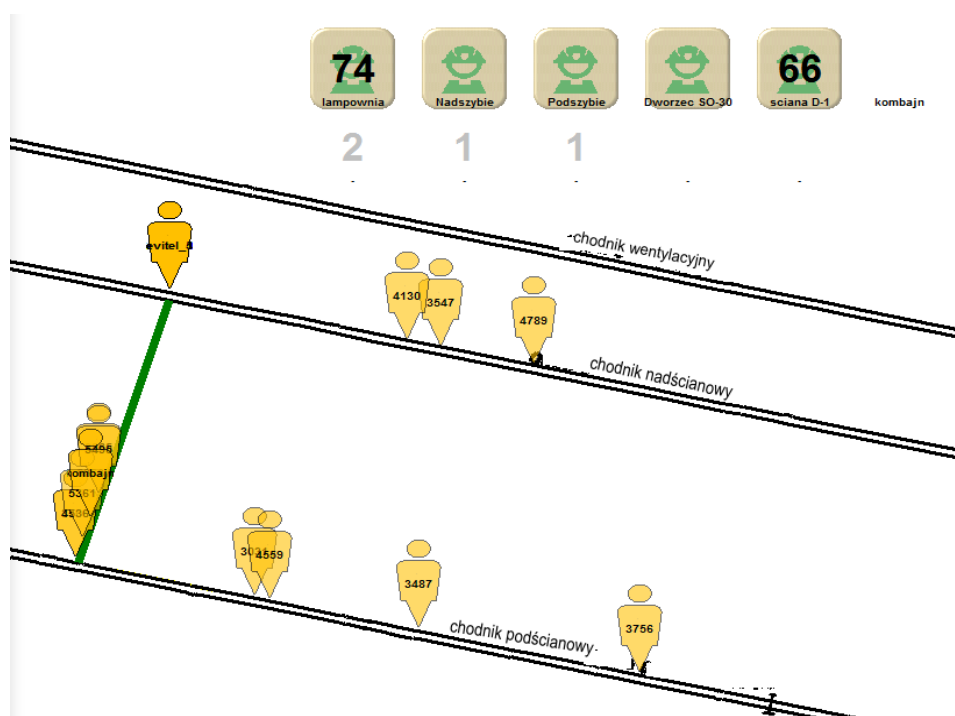


W tabeli 7.2. pokazano przykład raportu przemieszczania się jednego wybranego identyfikatora w trakcie testów przeprowadzonych 28.01.2019 r. W raporcie wykazano czas przebywania identyfikatora w poszczególnych strefach oraz czas wejścia i przemieszczania się pomiędzy strefami. Na rysunku 7.28 przedstawiono przykład schematu instalacji systemu PORTAS realizującego identyfikację RTLS w wybranym dla testów rejonie ściany eksploatacyjnej.



Rys. 7.28. Schemat blokowy instalacji systemu PORTAS w rejonie ściany wydobywczej

System PORTAS umożliwia prezentowanie pozycji poszczególnych identyfikatorów na mapie rejonu, gdzie zrealizowano lokalizację RTLS.



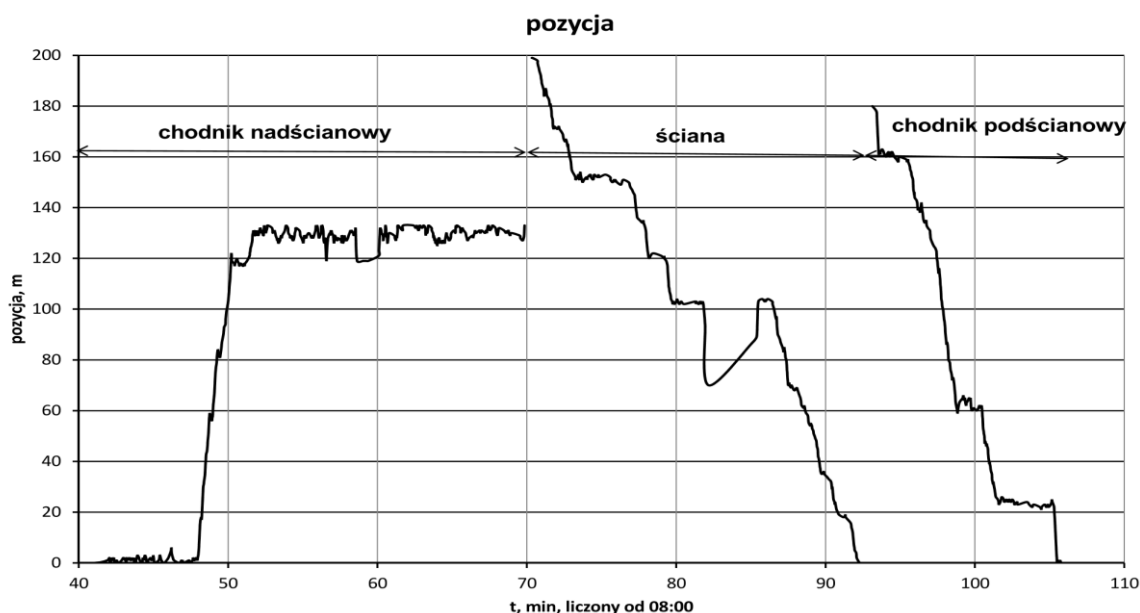
Rys. 7.29. Przykład prezentacji lokalizacji identyfikatorów w rejonie ściany



Na rysunku 7.29 pokazano przykład planszy systemu wizualizacji prezentującej pozycje poszczególnych identyfikatorów (górników) w rejonie ściany. W górnej części ekranu są pokazane ilości identyfikatorów w poszczególnych strefach lokalizacji strefowej.

System PORTAS potrafi wygenerować również historię ruchu poszczególnych identyfikatorów w zadanym przedziale czasu. Na rysunku 7.30 pokazano historię ruchu wybranego identyfikatora w czasie przejścia chodnikiem nadścianowym, ścianą oraz chodnikiem podścianowym pokazując współrzędne w układzie współrzędnych jak na rysunku 7.18.

Na rysunku 7.30 widoczne jest zaburzenie ruchu w ścianie w czasie od 9:22 do 9:25 (około punktu  $t=82$  min) spowodowane chwilowym odłączeniem (dla testu) czytnika nr 26 umieszczonego w ścianie w odległości około 87 m od chodnika podścianowego. Punkty nieciągłości na wykresie czasowym wynikają z przyjętych układów odniesienia dla chodników przyścianowych i ściany wydobywczej.



Rys. 7.30. Wykres czasowy ruchu wybranego identyfikatora w rejonie ściany

### 7.6.3. System EMLOK-16

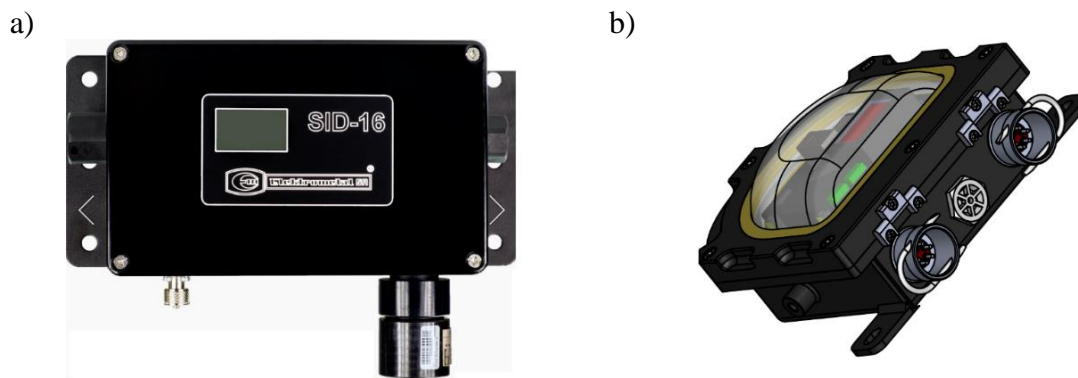
System typu EMLOK-16 firmy ELEKTROMETAL realizuje lokalizację RTLS w czasie rzeczywistym metodą TDOA w pasmie częstotliwości 2,4 GHz. Składa się on z następujących podstawowych urządzeń:

- identyfikatorów EMTAG instalowanych w lampach zasilanych z akumulatora tej lampy oraz identyfikatorów z autonomicznym zasilaniem,
- czytników identyfikatorów typu SID,
- koncentratorów, konwerterów TDS oraz serwerów portów szeregowych SPSG,
- zasilaczy sieciowych z wyjściem iskrobezpiecznym; np. ZIS-10.

Czytniki SID-16 wykonane są w dwóch wersjach przedstawionych na rysunku 7.31. Łączone są przewodowo magistralą systemową analogiczną, jaka jest stosowana w systemie łączności głośnomówiącej UGS-10. W sporadycznych przypadkach do połączenia czytników

SID-16 można wykorzystać modułowe radiowe iskrobezpieczne punkty dostępowe Wi-Fi (2,4 GHz, lub 5 GHz) np. typu MR-14/5G.

Czytnik SID-16 realizuje dwukierunkową łączność radiową z ruchomymi identyfikatorami EMTAG. Komunikacja między czytnikiem i identyfikatorami odbywa się z wykorzystaniem modulacji CSS. Dane z czytników są przesłane do serwera systemu identyfikacji i wizualizacji. Na ich podstawie możliwe jest określenie położenia identyfikatorów w czasie rzeczywistym.

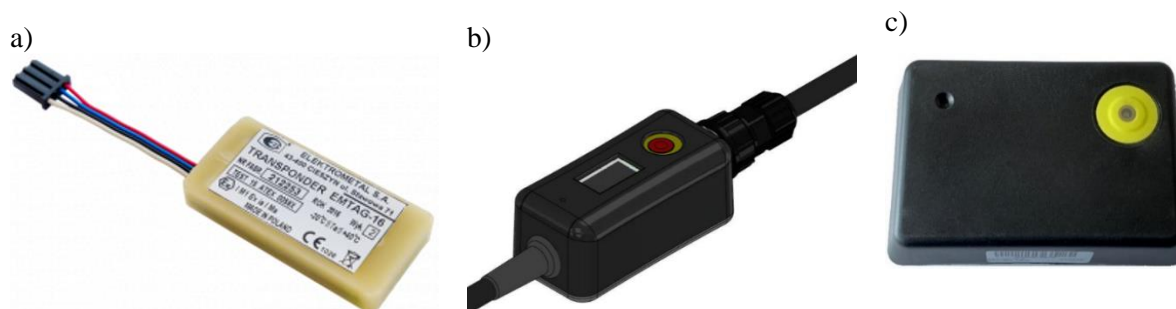


Rys. 7.31. Czytniki systemu identyfikacji EMLOK typu: a) SID-16, b) SID-16S

Równocześnie możliwe jest przesłanie informacji z urządzenia SID-16 do będących w jego zasięgu identyfikatorów, które umożliwiają odbiór informacji dyspozytorskich. Może to być np. krótka informacja tekstowa pokazywana na wyświetlaczu zainstalowanym na przewodzie łączącym akumulator ze źródłem światła lampy osobistej górnika (EMTAG 16W rys. 7.32 b).

Znamionowe napięcie zasilania urządzenia SID wynosi od 13 do 15 V. Pobór prądu nie przekracza 90 mA. Urządzenia mogą być wyposażone w wyświetlacz graficzny, autonomiczne źródło zasilania (czas pracy min. 8 h) typu 3ZZI-5/2 oraz gniazdo do przyłączenia zewnętrznej anteny radiowej [ELEKTROMETAL].

W systemie mogą być stosowane różne identyfikatory. Identyfikator EMTAG-16 (rys. 7.32 a) przeznaczony jest do umieszczenia w lampie górniczej. Wykorzystuje jej zasilanie i umożliwia wymianę danych z procesorem lampy poprzez dwukierunkowy szeregowy port transmisyjny. Wyposażony jest także w czujnik ruchu.



Rys. 7.32. Identyfikatory typu EMTAG: a) EMTAG 16, b) EMTAG 16W, c) EMTAG-16B

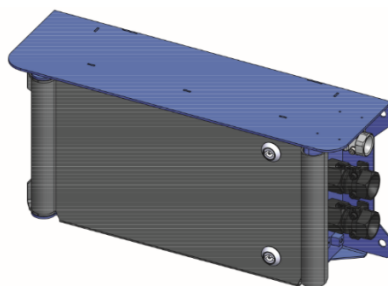
Identyfikator EMTAG-16W (rys. 7.32 b) również jest zasilany z lampy górniczej. Montowany jest na kablu łączącym głowicę lampy z akumulatorem. Umożliwia przesyłanie komunikatów tekstowych z systemu nadzorczego do wybranego użytkownika. Użytkownik powiadamiany jest o otrzymaniu wiadomości przez pulsowanie światła emitowanego przez

głowicę oraz za pomocą dodatkowych elementów sygnalizacyjnych (sygnalizator dźwiękowy oraz wibracyjny). Zabudowany przycisk umożliwia potwierdzenie odebranej wiadomości, która przedstawiana jest wyświetlaczowi OLED. Identyfikatory są zasilane napięciem 3,1 - 5,0 V. Pobór prądu w czasie nadawania/odbioru nie przekracza 130 mA/80 mA. W tzw. „stanie uśpienia” pobór ten wynosi około 1  $\mu$ A.

Identyfikator EMTAG 16B (rys. 7.32 c) jest zasilany z autonomicznego źródła zasilania. Wyposażony jest w przycisk, diodę świecącą, sygnalizator dźwiękowy i wibracyjny, a także czujnik ruchu. Umożliwia więc odbiór (oraz nadawanie) sygnałów porozumiewawczych i alarmowych. Wbudowany żółty przycisk umożliwia potwierdzanie otrzymanych sygnałów, a także realizację funkcji powiadamiania przez użytkownika o grożącym niebezpieczeństwie.

Urządzeniami teletransmisyjnymi (koncentratorami) są serwery portów szeregowych typu SPSG-16 oraz konwertery TDS-16 (rys. 7.33). Urządzenie SPSG-16 może być wyposażone w kilka modułów umożliwiających konwersję transmisji RS485 lub RS232 (np. w standardzie MODBUS RTU) na transmisję TCP dostępną przez port 100Base-TX (złącze RJ45) lub 100Base-FX (złącze SC). W przypadku wystąpienia przerw w zasilaniu sieciowym urządzenie może dalej pracować dzięki modułowi akumulatorowemu. W przypadku transmisji sygnałów Ethernetowych, do dyspozytorni liniami miedzianymi symetrycznymi z wykorzystaniem modemów DSL, względnie światłowodowymi, należy wykorzystać konwertery typu TDS-16 Ex. Posiadają one budowę iskrobezpieczną względnie bezpieczną optycznie (op is). Wymagają zasilania stałoprądowego (12 V, 0,3 A). Z uwagi na zapewnienie elastyczności różnych rodzajów połączeń osłona konwertera została wyposażona w zestaw wpustów ognioszczelnych.

a)



b)

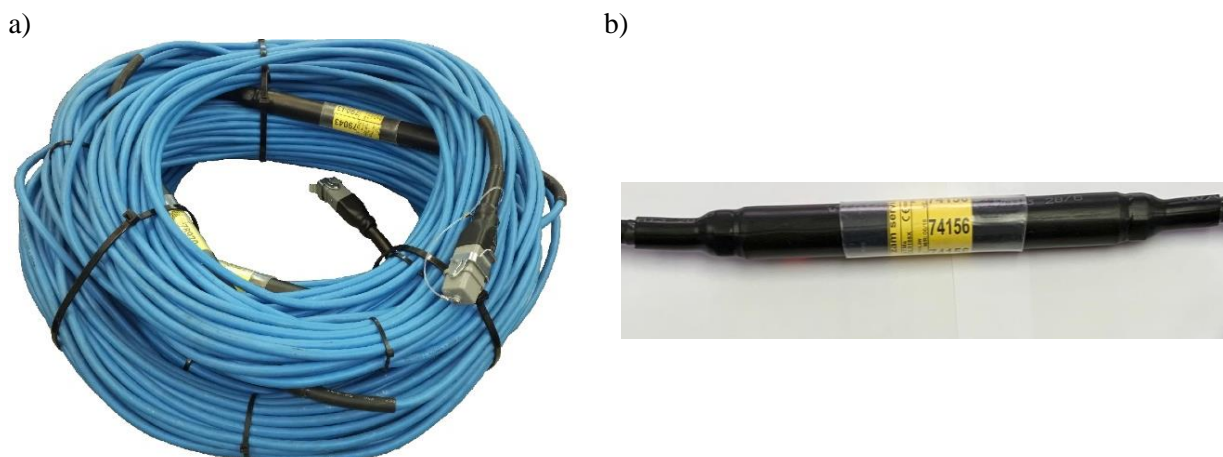


Rys. 7.33. Urządzenia teletransmisyjne: a) serwer portów szeregowych SPSG-16, b) konwerter typu TDS-16

Na rysunku 7.34 przedstawiono przykład schematu blokowego instalacji systemu EMLOK realizującego identyfikację RTLS w wybranym dla testów rejonie ściany eksploatacyjnej jednej z kopalń JSW S.A. Sygnały z poszczególnych czytników SID-16 są przekazywane magistralą RS485 do serwera portów szeregowych SPSG-16 i dalej poprzez modem DSL (TDS-16) symetrycznymi telekomunikacyjnymi kablami górniczymi typu TKG do serwera systemu EMLOK w dyspozytorni.

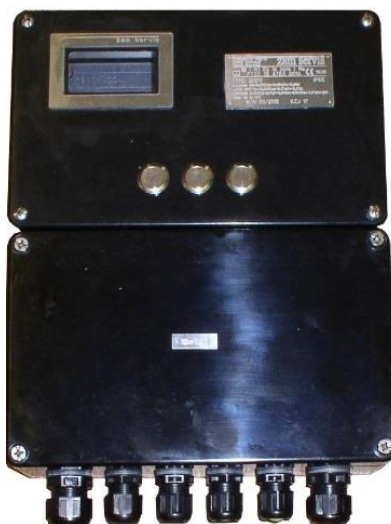
Stacje robocze systemu EMLOK-16 na powierzchni udostępniają użytkownikowi dane zgromadzone w serwerze w postaci prezentacji na ekranie czy też w postaci przygotowanych raportów.





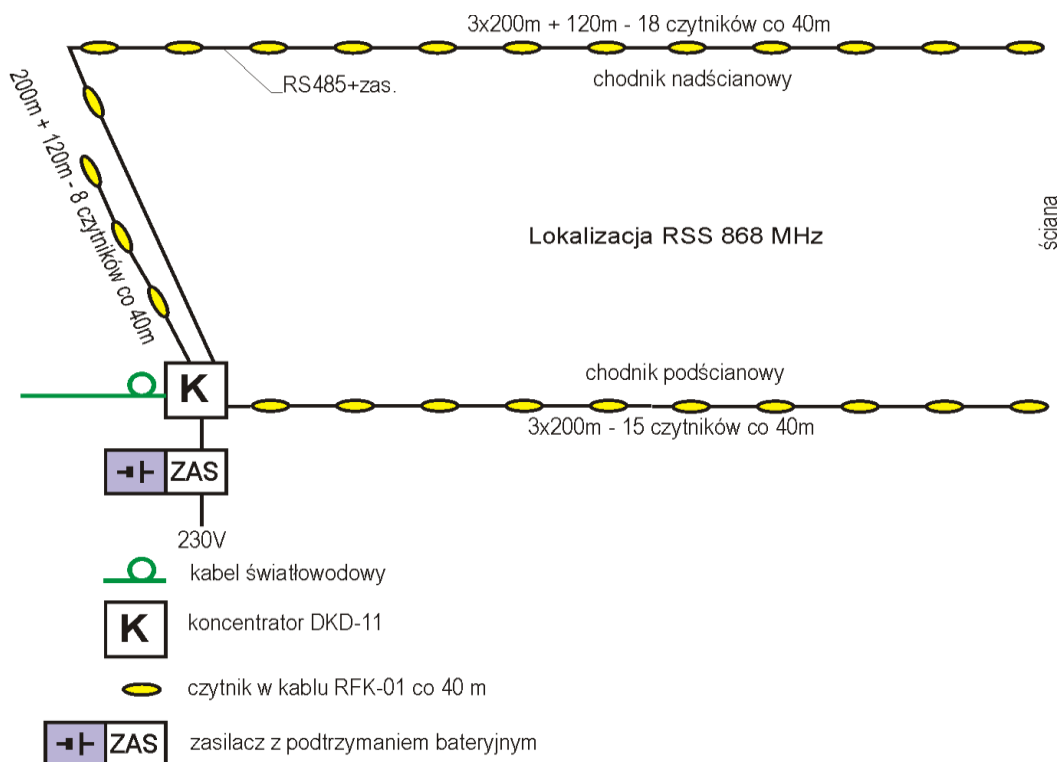
Rys. 7.36. Odcinek fabrykacyjny dedykowanego kabla telekomunikacyjnego RFK-01 (a), z czytnikami identyfikatorów (b)

Na rysunku 7.36 pokazano widok fabrykacyjnego odcinka kabla RFK-01 wraz z zainstalowanymi czytnikami. Kabel RFK-01 jest przyłączony do koncentratora danych DKD-11 (rys. 7.37). Koncentrator DKD-11 wyposażony jest w cztery przyłącza RS485 i jest zasilany z zasilacza iskrobezpiecznego SME-02 z podtrzymaniem baterijnym. Do jednego przyłącza RS485 można przyłączyć trzy odcinki kabla RFK-01 połączone łańcuchowo. Kablem RFK-01 zasilane są wszystkie czytniki. Zapewnia on również transmisję danych z czytników do koncentratora łączami RS485 z retransmisją w każdym czytniku. Koncentrator DKD-11 jest połączony łączem światłowodowym z serwerem lokalizacji. Serwer lokalizacji na podstawie informacji odebranych z koncentratorów DKD-11 oblicza pozycje poszczególnych identyfikatorów i udostępnia dane dla stanowisk wizualizacji.



Rys. 7.37. Widok koncentratora DKD-11

Na rysunku 7.38 pokazano przykład instalacji systemu typu ISI firmy ZAM Servis w rejonie ściany eksploatacyjnej dla potrzeb testów funkcjonowania systemu lokalizacji RTLS w kopalniach JSW S.A.



Rys. 7.38. Schemat blokowy systemu lokalizacji typu ISI w rejonie ściany

#### 7.6.5. Wnioski z badań systemów RTLS w kopalniach JSW S.A.

W kopalniach JSW S.A. testowano dwa sposoby funkcjonowania systemów RTLS:

- pomiar poziomu sygnału radiowego (RSSI) w pasmie 868 MHz,
- pomiar różnicy czasu przelotu fali radiowej (TDOA) w pasmie 2,4 GHz.

Lokalizacja RTLS na powierzchni powinna być realizowana w przestrzeni dwuwymiarowej. Należy zauważyć, że z uwagi na kształt podziemnych wyrobisk korytarzowych trilateracja dla potrzeb dokładnego określenia miejsca położenia identyfikatora jest możliwa tylko w przestrzeni jednowymiarowej. Niezbędny staje się więc pomiar (siły lub czasu przelotu) sygnału radiowego z danego identyfikatora przynajmniej z trzech czytników zlokalizowanych w jednej linii w wyrobisku korytarzowym. Jednowymiarowa lokalizacja RTLS ma znaczący wpływ na dokładność lokalizacji identyfikatora w wyrobisku, a także na rozmieszczenie i odległość poziomą pomiędzy kolejnymi czytnikami w chodniku.

Ponieważ fale elektromagnetyczne z zakresu 868 MHz (pasmo ISM) charakteryzują się lepszą propagacją w wyrobiskach dołowych w stosunku do zakresu 2,4 GHz i urządzenia wykorzystujące ten zakres fal cechuje znacznie mniejszy pobór mocy w stosunku do urządzeń wykorzystujących zakres 2,4 GHz, to w przypadku zasilania akumulatorowego urządzeń radiokomunikacyjnych, częstych wyłączeń energii elektrycznej w wyrobiskach kopalń metanowych, może to mieć pewne znaczenie.

Przy wyborze systemu identyfikacji należy dążyć do określenia statycznej dokładności lokalizacji. W przypadku systemów RTLS jest to dokładność określona w metrach i można ją zdefiniować jako wartość skuteczną odchylenia obliczonej lokalizacji identyfikatora od



rzeczywistej pozycji identyfikatora. W systemach RTLS każdy odczyt (przy nieruchomym identyfikatorze) daje nieco inną pozycję.

Należy także zwrócić uwagę na właściwości dynamiczne systemu lokalizacji. Przez właściwości dynamiczne systemu RTLS należy rozumieć opóźnienie pomiędzy zmianą położenia identyfikatora a określeniem jego nowej pozycji. W przypadku lokalizacji strefowej istotne jest opóźnienie pomiędzy przekroczeniem granicy stref o uzyskaniem informacji o pojawieniu się identyfikatora w nowej strefie. Tego rodzaju opóźnienie powinno być zdefiniowane dla pojedynczego identyfikatora.

W przypadku systemów z lokalizacją strefową istotna jest dokładność określenia granicy między strefami. Wydaje się, że rozsądna dokładność systemu lokalizacji strefowej powinna być 3÷5 m.

Duże znaczenie ma także czas odczytu wielu identyfikatorów znajdujących się w strefie działania jednego czytnika. Należy określić, ile identyfikatorów i w jakim czasie czytnik ma odczytać. Tego rodzaju problem dotyczy czytników, w szczególności czytników umieszczonych w takich miejscach, jak podszybia szybów zjazdowych czy przypadków ucieczki załogi w sytuacji zagrożenia.

W systemach identyfikacji osób należy wykorzystywać nadajniki aktywne, które będą zintegrowane z lampą osobistą górnika i zamocowane w jej głowicy.

System teletransmisyjny z dołowych multiplekserów czy koncentratorów na powierzchnię powinien być oparty o technikę światłowodową.

## 7.7. Lokacja

Istotnym elementem niektórych akcji ratowniczych (np. w przypadku zawałów) jest lokacja zasypanych górników. Lokacja górników powinna być możliwa do przeprowadzenia niezależnie od stanu górnika (górnik może być nieprzytomny).

Propagację fal elektromagnetycznych przez górotwór na małe odległości (do kilkudziesięciu metrów) wykorzystują we wszystkich kopalniach radiowe systemy lokalizacji zasypanych górników zwane systemami **lokacji**. W istniejących metodach lokacji wykorzystuje się pole elektromagnetyczne. Lampa osobista każdego górnika wyposażona jest w nadajnik, który można traktować jako źródło pola magnetycznego. W kopalniach stosowane są systemy:

- GLON - skrót od słów: górniczy lokacyjny osobisty nadajnik (generator około 5kHz),
- LOK stosowany w kopalniach rud miedzi pracujący na częstotliwości około 250 kHz.

Górników wyposaża się w nadajniki lokacyjne (umieszczone w obudowie akumulatora lampy osobistej). W czasie akcji ratowniczej używa się odbiornika lokacyjnego. Używając odpowiednich procedur pomiarowych można stwierdzić czy w pobliżu anteny odbiornika jest zasypany górnik oraz można w przybliżeniu określić miejsce, w którym znajduje się nadajnik.

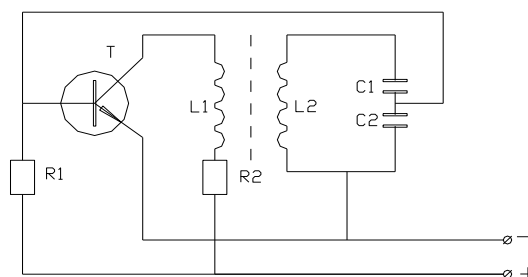
Od kilkudziesięciu lat w polskim górnictwie węglowym stosowanie nadajników lokacyjnych jest wymagane przez odpowiednie przepisy [PGG, 2023; RME, 2016]. Nadajnik lokacyjny powinien emitować sygnał przez co najmniej siedem dni bez ładowania akumulatora.



Dla spełnienia tego warunku lampy wyposażone są w układy wyłączające źródło światła lampy tak, by akumulator miał wystarczający ładunek do zapewnienia pracy nadajnika lokacyjnego przez ten okres.

Warto przypomnieć, że 23 marca 1971 roku w kopalni Rokitnica doszło do zawału ściany. Jeden z zasypanych górników (Alojzy Piontek) został uwolniony po siedmiu dniach akcji ratowniczej. Być może ten przypadek uratowania górnika był przyczyną wprowadzenia wymogu pracy nadajnika lokacyjnego przez siedem dni. W lutym 2006 roku wykorzystując systemy lokalizacji GLON/GLOP (górnicy lokacyjny odbiornik pomiarowy) uratowano górnika uwięzionego na skutek tąpnięcia w KWK Halemba po 111 godzinach.

Obecnie wykorzystuje się nadajniki lokacyjne GLON pracujące w zakresie częstotliwości 4100÷5840 Hz w ośmiu kanałach częstotliwościowych. Tak niska częstotliwość wynika z faktu, iż propagacja fal elektromagnetycznych przez górotwór jest skutecznie możliwa tylko dla bardzo niskich częstotliwości.



Rys. 7.39. Widok nadajnika lokacyjnego systemu GLON (przed hermetyzacją) oraz jego schemat ideowy

Wszyscy zjeżdżający na dół są zobowiązani do pobierania lampy osobistej. W każdej lampie jest zainstalowany generator GLON (rys. 7.39) zasilany z akumulatora lampy górnika. W czasie prowadzenia akcji ratowniczej zastęp ratowniczy wyposażony jest w odbiornik lokacyjny typu GLOP, który pozwala na pomiar odległości do nadajnika GLON. Korzystając z odbiornika urządzenia potrafimy zlokalizować obiekt, lecz nie możemy go personalizować. Systemy lokacji tego nie umożliwiają, ponieważ liczba kanałów częstotliwościowych nadajników osobistych górników wynosi tylko osiem.

Po raz pierwszy górników wyposażono w nadajniki lokacyjne w 1968 r. w czeskiej kopalni węgla w Ostrawie. Nadajniki te pracowały przy częstotliwościach w zakresie 0,7÷0,9 MHz. Wykorzystując do odbioru zwykły odbiornik radiofoniczny uzyskano zasięg lokalizacji około 5 m. Podobne nadajniki, pracujące jedynie w zakresie mniejszych częstotliwości (0,3÷0,4 MHz), zostały wprowadzone kilka lat później w polskich kopalniach węgla. Było to urządzenie typu GON (górnicy osobisty nadajnik). Uzyskano zasięg odbioru poprzez skały do kilkunastu metrów. W obu zakresach częstotliwości podczas namiaru ujawniły się wady, które w latach siedemdziesiątych zapoczątkowały prace nad nowym systemem. Zasadniczą cechą

tego nowego systemu GLON było znaczne zmniejszenie częstotliwości do zakresu około 5 kHz. To zmniejszenie ma uzasadnienie, bowiem w tym zakresie częstotliwości tłumienie fali elektromagnetycznej w górotworze jest bardzo małe, więc składowe pola tej fali w danym punkcie nie będą zależeć od rodzaju skały, stopnia jej wilgotności czy spękania, a zniekształcenia pola, spowodowane instalacjami metalowymi w wyrobiskach, są mniejsze.

Znamionowy moment magnetyczny nadajnika lokacyjnego GLON jest równym  $0,08 \text{ Am}^2$ , a maksymalny pobór prądu z akumulatora lampy osobistej górnika (około 3,6 V) nie przekracza 20 mA. Odbiorniki lokacyjne GLOP są na wyposażeniu Okręgowych i Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego (OSRG, CSRG Bytom). Dawniej stosowane były analogowe odbiorniki lokacyjne GLOP (prod. PROGRESS Katowice) a obecnie iskrobezpieczne cyfrowe odbiorniki lokacyjne MinSearch (rys. 7.40) opracowane przez firmę ELEKTROMETAL.

Odbiornik MinSearch składa się z pulpitu oraz izotropowej anteny odbiorczej składowej magnetycznej pola. Dla dokładnych poszukiwań w bliskiej odległości do pulpitu dołącza się antenę kierunkową (szperacz). Odbiornik jest pewnego rodzaju woltomierzem selektywnym, w którym selektywność uzyskuje się przez zastosowanie szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Do analizy wyniku pomiaru wykorzystuje się charakterystykę amplitudową odbieranego przez antenę sygnału, co pozwala na określenie poziomów osobno dla każdego kanału częstotliwościowego nadajnika GLON. Eliminacja szumów pochodzących z otoczenia możliwa jest przez wykonanie kilku transformat, a następnie ich uśrednienie (wydłuża to czas operacji, ponieważ dla każdej transformaty wykonywany jest osobny pomiar).



Rys. 7.40. Widok odbiornika lokacyjnego MinSearch-15 z anteną, szperaczem i słuchawkami

W celu zwiększenia dokładności pomiaru na danym kanale w antenie umieszczono zestaw kondensatorów sterowanych kluczami, ustawiających częstotliwość rezonansową anteny na środek pasma kanału. W antenie znajduje się programowany generator sygnału pozwalający automatycznie przeskanować możliwe ustawienia kluczy i określić, dla jakich kondensatorów częstotliwości rezonansowe odpowiadają środkom pasm (ten proces nazywa się strojeniem kluczy).

Występowanie częstotliwości rezonansowych powoduje, że charakterystyki amplitudowe dla każdego kanału nie są płaskie. Dla korekcji charakterystyki częstotliwościowej odbiornika stosuje się odpowiednie współczynniki korekcyjne. Do ich określania służy wbudowany

w antenę generator sygnału, a proces ten nazywa się korekcją FFT. Zasięg lokacji jest do 30 m i zależy od poziomu szumów składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego.

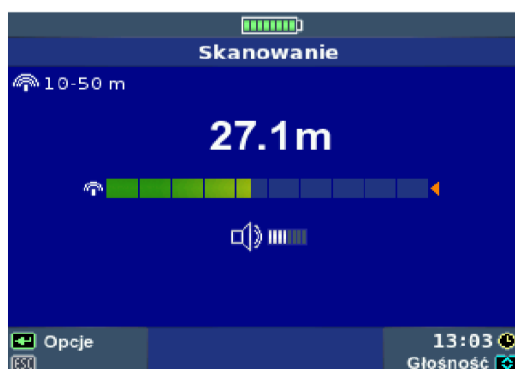
W niektórych kopalniach uwzględniając, że w każdej lampie górnika jest nadajnik lokacyjny i wykorzystując zmodyfikowane odbiorniki lokacyjne (np. wyłącznik WAJL firmy ELEKTROMETAL) możemy wykryć np. nielegalne przypadki korzystania przez górników z jazdy na taśmach przenośnikowych z urobkiem i zatrzymywać awaryjnie te urządzenia. Jest to przykład dodatkowego wykorzystania nadajników osobistych w kopalniach.

Systemy lokacyjne wykorzystywane są też w nadzorze nad strefami ograniczonego dostępu (np. strefa przenośnika przed kruszarką, strefa przenośnika za pomostem do wysiadania), gdzie istotne jest stwierdzenie obecności np. nadajnika lokacyjnego, oraz zainicjowanie reakcji systemu bezpieczeństwa np. wyłączenie kruszarki, przenośnika czy uruchomienie alarmu. Nadajniki lokacyjne instaluje się w każdej lampie górniczej niezależnie od identyfikatorów RFID.

W niektórych lampach górniczych prawidłową pracę nadajnika GLON sygnalizuje pulsująca biała dioda umieszczona na pokrywie pojemnika akumulatora. Jest ona sterowana mikrokontrolerem zainstalowanym w lampie, który sprawdza poprawność pracy nadajnika lokacyjnego. Na bieżąco monitorowane jest generowanie drgań przez antenę nadajnika oraz częstotliwość generowanego sygnału.

Dla KGHM Polska Miedź S.A. Zakład Techniki Ultradźwiękowej Ultrasonica w Gdańsku opracował system lokacji zasypanych osób typu LOK. W systemie tym wszystkie nadajniki górników pracują przy jednej częstotliwości 250 kHz, przy czym każdy z nadajników pracuje impulsowo z podwójnym kluczowaniem z częstotliwością 1 kHz i 1 Hz. W rezultacie w odbiorniku jest słyszany bardzo charakterystyczny, łatwy do odróżnienia dźwięk. Można łatwo rozróżnić, czy dźwięk pochodzi od jednego nadajnika, czy od większej ilości. Nadajnik LOK jest montowany w lampie osobistej górnika.

Odbiornik pracuje z anteną ramową, natomiast odczyt odległości od nadajnika odbywa się za pomocą wycechowanej w metrach linijki świetlnej (rys. 7.41). Przy ustalaniu kierunku pomocny jest głośnik (lub słuchawki).



Rys. 7.41. Widok obrazu na ekranie odbiornika MinSearch w czasie przeprowadzania pomiarów lokalizacyjnych

W centralnym miejscu przekazywana jest informacja o prognozowanej odległości do nadajnika LOK. Poziomy pasek umieszczony pod wyświetlaną odległością obrazuje aktualny

poziom sygnału. Po jego prawej stronie znajduje się mały trójkąt sygnalizujący wzrost lub spadek tego poziomu:

- skierowany w prawo – aktualnie odebrany sygnał jest większy od poprzedniego (nadajnik znajduje się bliżej),
- skierowany w lewo – aktualnie odebrany sygnał jest mniejszy od poprzedniego (nadajnik znajduje się dalej).

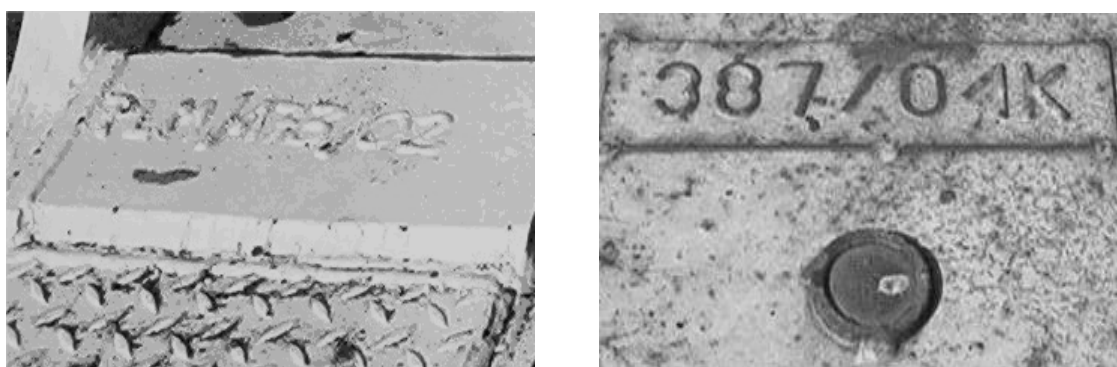
Zasięg maksymalny (do 50 m) jest osiągalny przy niskim poziomie szumów pochodzących z otoczenia oraz w obecności mas stalowych, takich jak: rurociągi, szyny itp. Dokładność pomiaru (określona podczas wykonywania wielu prób) wynosi w przybliżeniu: od 0,5 m (w zakresie  $1\text{ m} < L < 5\text{ m}$ ), do 2,0 m (w zakresie  $15\text{ m} < L < 50\text{ m}$ ) [MinSearch, 2018].

## 7.8. Inne sposoby wykorzystania systemów identyfikacji i ewidencji w kopalniach

### 7.8.1. System identyfikacji i ewidencji elementów maszyn górniczych

W roku 2004 w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG rozpoczęto prace nad systemem elektronicznej identyfikacji i ewidencji elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej. Podstawowym celem rzetelnej oceny stanu technicznego elementów sekcji obudowy zmechanizowanej jest wyeliminowanie z eksploatacji tych elementów tej sekcji, w których prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń wywołanych procesami zmęczeniowymi i korozją jest największe. Dla tej oceny należy zebrać wiarygodne informacje o dotychczasowym przebiegu ich pracy oraz warunkach eksploatacji.

W procesie alokacji elementy sekcji często podlegają wielokrotnemu procesowi demontażu i montażu poszczególnych jej elementów, w wyniku tego często następuje zamiana elementów w modernizowanych poszczególnych sekcjach. Taki stan rzeczy stwarza potrzebę identyfikacji wszystkich podstawowych elementów sekcji obudowy, aby wyodrębnić te, w których pracują elementy najstarsze, najbardziej zużyte bądź te, które pracowały w szczególnie trudnych warunkach środowiskowych.



Rys. 7.42. Stosowane metody znakowania elementów sekcji [Fitowski, 2006]

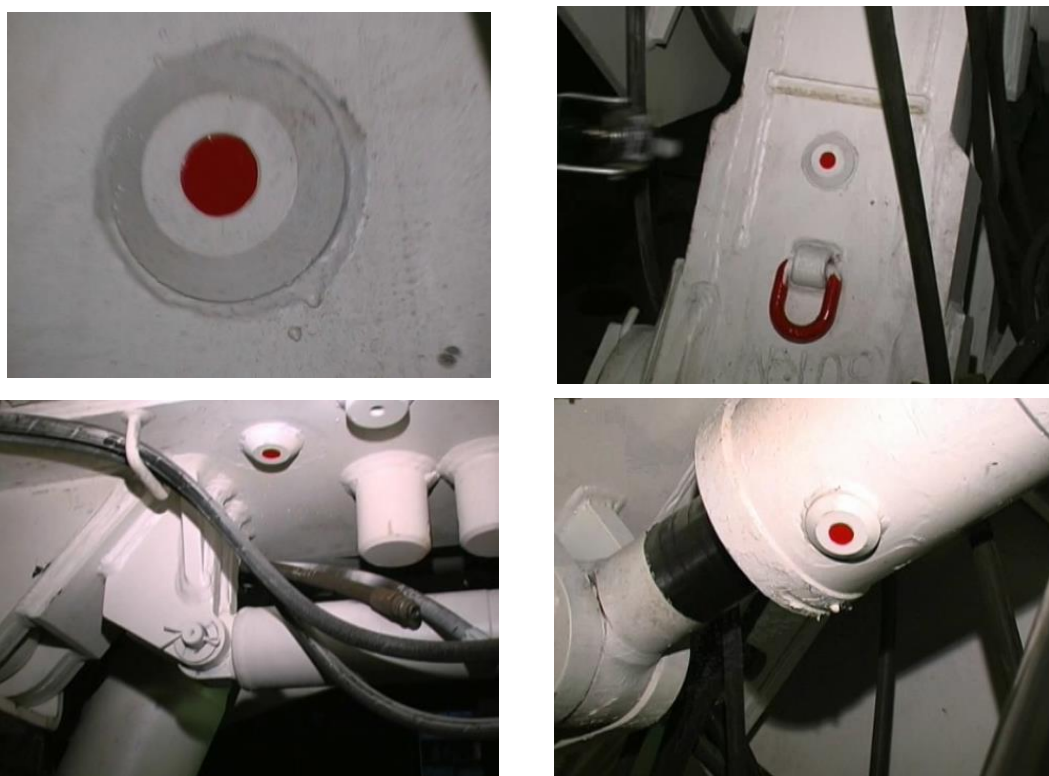
Stosowane dotychczas w kopalniach metody identyfikacji elementów sekcji w postaci tabliczek znamionowych, napawania kodów identyfikacyjnych lub znakowania farbą często nie zapewniały trwałości oraz czytelności w trudnych warunkach eksploatacyjnych, co utrudniało

rzetelną ocenę stanu technicznego i prowadzenie przeglądów oraz dodatkowo zwielokrotniało możliwość wystąpienia błędów przy identyfikacji elementów maszyn (rys. 7.42).

Pojawienie się możliwości znakowania elementów z wykorzystaniem technologii RFID umożliwiło opracowanie systemu elektronicznej identyfikacji elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, składającego się:

- pasywnych transponderów TRID trwale mocowanych na elementach sekcji obudowy,
- czytników RFID typu TRH połączonych np. przewodowo względnie z wykorzystaniem protokołu Bluetooth z dołowym mikrokomputerem typu TRMC-01 lub ET,
- stosownego oprogramowania komputerowego pozwalającego na zarządzanie bazą danych informacji o sekcjach i ich elementach.

W systemie tym podstawowe elementy sekcji obudowy zmechanizowanej są znakowane za pomocą transponderów RFID typu TRID produkcji firmy ELSTA, co umożliwiło między innymi prowadzenie racjonalnej gospodarki środkami trwałymi w tym zakresie (rys. 7.43). W systemie tym zastosowano transpondery przystosowane do pracy w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem [Mikuła, 2012; Rogala-Rojek, 2012; Fitowski, 2006; Szczurkowski, 2006].



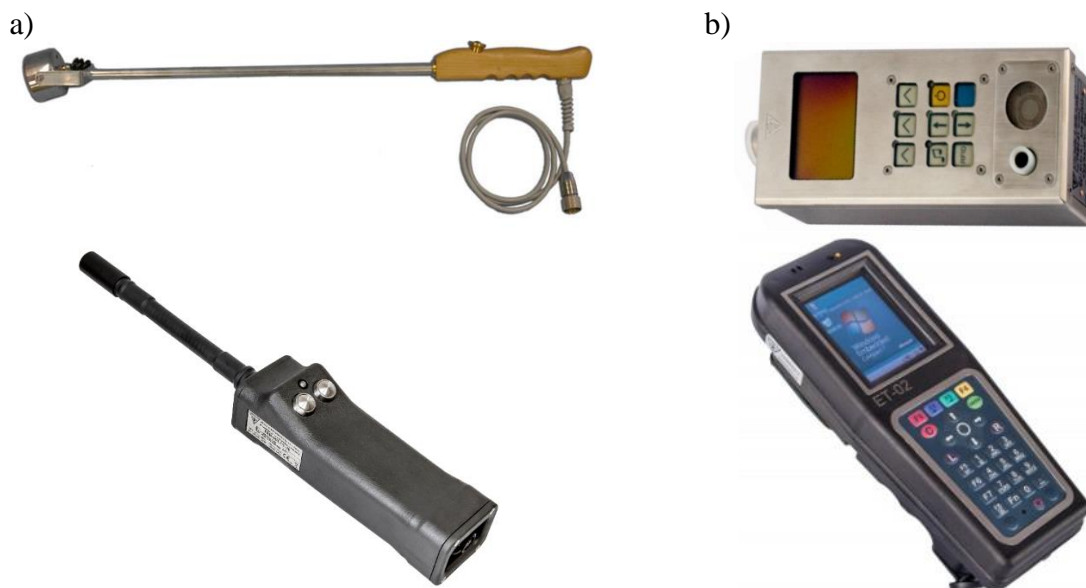
Rys. 7.43. Przykłady sposobów montażu transponderów RFID na elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej [Jaszczuk, 2009]

Do odczytu identyfikatorów TRID w ścianie stosuje się np. czytniki TRH-01 lub TRH-04 i mobilne mikrokomputery dołowe: TRMC-01 lub ET-02 (rys. 7.44 a, b) [ELSTA, 2022]. Transponder TRID pracuje w zakresie częstotliwości 125 kHz. Odczyty z pamięci mikrokomputera można przekopiować na powierzchni do bazy danych wykorzystywanej do ewidencji i oceny poszczególnych elementów obudów zmechanizowanych. Wszystkie elementy systemu są iskrobezpieczne i mogą być stosowane w kopalniach metanowych.



Zadaniem czytnika RFID jest odczyt numerów identyfikacyjnych transponderów, inwentaryzacja elementów sekcji oraz ich analiza w stosowanej bazie danych.

Czytnik RFID typu TRH-04 jest urządzeniem iskrobezpiecznym służącym do odczytu znaczników RFID. Wyposażony jest w interfejs Bluetooth 2.0, co umożliwia bezprzewodową transmisję odczytanych danych do iskrobezpiecznego terminala znajdującego się w pobliżu. Urządzenie przeznaczone jest do współpracy z wszystkimi przenośnymi terminalami lub mikrokomputerami wyposażonymi w interfejs Bluetooth. Może to być np. terminal mobilny typu ET-02 produkcji ELSTA Elektronika z Wieliczki. Czytnik TRH-04 zasilany jest z wewnętrznej dwuogniowej baterii litowo-jonowej o pojemności znamionowej 1800 mAh.



Rys. 7.44. Części składowe systemu identyfikacji elementów sekcji obudowy zmechanizowanej:  
a) czytniki TRH-01 oraz TRH-04, b) mikrokomputer dołowy TRMC-01 i iskrobezpieczny terminal mobilny ET-02

Terminal mobilny typu ET-02 to iskrobezpieczny komputer przenośny pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Microsoft Windows Embedded Compact 7. Urządzenie posiada kolorowy wyświetlacz LCD, który w zestawieniu z panelem dotykowym oraz klawiaturą umożliwia łatwą współpracę użytkownika z systemem operacyjnym i jego aplikacjami. Terminal ET-02 jest również wyposażony w czytnik kodów kreskowych 1D i 2D wykorzystywanych w zarządzaniu gospodarką materiałową w kopalni. Bezprzewodowe interfejsy cyfrowe (Bluetooth i Wi-Fi) umożliwiają komunikację z terminalem podczas pracy w strefie zagrożenia wybuchem natomiast poza strefą, przy zastosowaniu stacji dokującej SDET-01 dostępny jest dodatkowo uniwersalny interfejs USB. W układzie zasilania ET-02 wykorzystano ogniwa Li-Ion zapewniające długą pracę urządzenia. Ze względów bezpieczeństwa ładowanie ET-02 odbywa się poza strefą zagrożenia wybuchem, za pomocą dedykowanej ładowarki [ELSTA, 2022].

Nieodłączną częścią systemu identyfikacji elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej jest bazodanowe oprogramowanie komputerowe, które pełni w systemie rolę oprogramowania zarządzającego, służącego do rejestracji i przetwarzania danych identyfikacyjnych, ewidencji elementów sekcji oraz przygotowania urządzenia odczytującego

transpondery RFID do odpowiedniego trybu pracy (dodawanie nowych elementów, grupowanie elementów w sekcje oraz zmiany lokalizacji) (rys. 7.45) [Fitowski, 2006; Jaszczuk, 2009].



Rys. 7.45. Oprogramowanie GATHER [Fitowski, 2006]

Oprogramowanie umożliwia ponadto elektroniczne tworzenie raportów zawierających dane dotyczące użytkowania elementów sekcji obudowy zmechanizowanej i wspomagających m.in. podejmowanie decyzji w procesie oceny stanu technicznego sekcji (rys. 7.46) [Fitowski, 2006].

**ZESTAWIENIE**  
elementów sekcji obudowy zmechanizowanej zabudowanych  
w nowo uruchomionej ścianie nr 1000

Idz sekcji	Typ sekcji	Nazwa elementu	Idz ewidencyjny	Rok produkcji
1	MKK-12/28-POZ	Stropnica	0001/08	2008
		Ostona odzawał.	0002/08	2008
		Spagnica	0003/08	2008
		Łącznik przedni	0004/08	2008
		Łącznik tylny	0005/08	2008
		Podpora strop.	0006/08	2008
2	MKK-12/28-POZ	Stojak hyd.	0007/08	2008
		Stropnica	0008/08	2008
		Ostona odzawał.	0009/08	2008
		Spagnica	0010/08	2008
		Łącznik przedni	0011/08	2008
		Łącznik tylny	0012/08	2008
Podpora strop.	0013/08	2008		
Stojak hyd.	0014/08	2008		

**RAPORT**  
o stanie technicznym elementów sekcji obudowy  
zmechanizowanej zabudowanych w ścianie 1000

Sekcja	Element			Stan techniczny
	Nazwa	Idz ewid.	Rok prod.	
Sekcja nr 1 MKK-12/28-POZ	Stropnica	0020/99	1999	Pęknięcie spoiny o dt. 0,4 m
	Ostona odzawał.	0021/99	1999	Wygięcie ostony bocznej
	Spagnica	0022/99	1999	Brak uwag
	Łącznik przedni	0023/99	1999	Brak uwag
	Łącznik tylny	0024/99	1999	Brak uwag
	Podpora strop.	0025/99	1999	Uszkodzone ucho podpory stropnicy
	Stojak hyd.	0026/99	1999	Uszkodzenie gładzi rdzennika

Rys. 7.46. Przykłady raportów wygenerowanych przy użyciu aplikacji GATHER

System identyfikacji elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej zapewnia jednoznaczny identyfikację elementów nośnych sekcji, rejestrację czasu użytkowania tych elementów oraz warunków ich pracy, a także pozwala na przetwarzanie niezbędnych danych

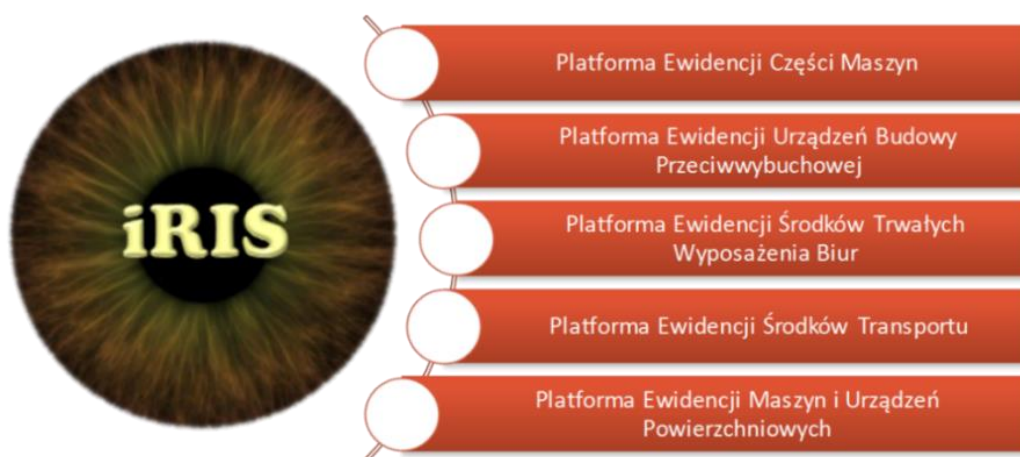


dla oceny stopnia zużycia tych elementów. Zastosowanie technologii RFID pozwoliło usprawnić procesy logistyczne i zminimalizować ryzyko błędów generowanych przez dotychczas stosowane systemy identyfikacji.

### 7.8.2. iRIS - System identyfikacji maszyn, urządzeń, środków trwałych oraz transportu

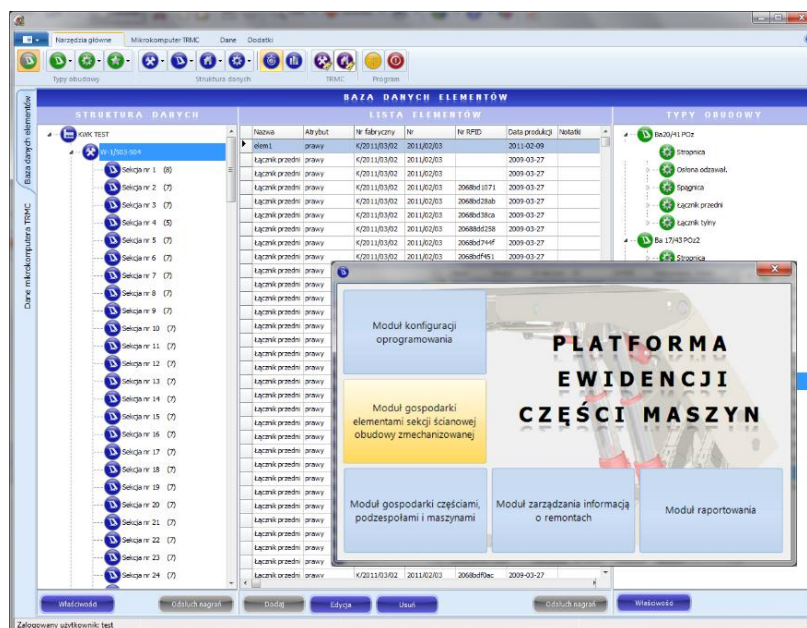
Wzrost zainteresowania nowoczesnymi systemami zarządzania w zakresie maszyn, urządzeń, środków trwałych oraz środków transportu, stosowanymi w kopalniach węgla kamiennego stanowił podstawę do podjęcia prac nad kompleksowym systemem ich identyfikacji. W 2011 r. podjęte zostały pierwsze prace mające na celu opracowanie systemu iRIS, który stanowiłby narzędzie do prowadzenia elektronicznej ewidencji środków trwałych, w kopalniach JSW. Aktualnie system ten składa się z pięciu platform (rys. 7.47) [Rogała-Rojek, 2012; Warzecha, 2011]:

- PECM - przeznaczonej do maszyn, urządzeń i części stosowanych w wyrobiskach podziemnych,
- PEUBP - przeznaczonej do maszyn i urządzeń budowy przeciwwybuchowej,
- PEŚT - przeznaczonej do środków transportu,
- PEMP - przeznaczonej do maszyn i urządzeń stosowanych na powierzchni,
- PEŚTB - przeznaczonej do wyposażenia biurowego.



Rys. 7.47. Platformy systemu iRIS [Rogała-Rojek, 2012; Warzecha, 2011]

Platforma ewidencji części maszyn (PECM) powstawała jako integralna część systemu elektronicznej identyfikacji elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, a obecnie stanowi niezależne oprogramowanie bazodanowe [Mikuła, 2012; Rogała-Rojek, 2012].



Rys. 7.48. Platforma Ewidencji Części Maszyn (PECM) [Mikuła 2012; Rogala-Rojek 2012]

Oprogramowanie PECM pozwala na ewidencjonowanie elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz na przetwarzanie niezbędnych danych w celu oceny stopnia ich zużycia, co jest niezwykle istotne w aspekcie bezpieczeństwa pracy załóg górniczych. Przykładowy widok jednej z plansz oprogramowania PECM przedstawiono na rysunku 7.48.

Platforma Ewidencji Maszyn Powierzchniowych (PEMP) również wykorzystuje czytniki RFID. Platforma ewidencji środków transportu (PEŚT) została przewidziana do ewidencji oraz monitorowania przemieszczania jednostek transportowych zarówno na powierzchni, jak i w wyrobiskach podziemnych. System informatyczny wspomagający prowadzenie ewidencji urządzeń budowy przeciwwybuchowej (PEUBP) uwzględnia przepisy obowiązującego prawa dotyczące eksploatacji urządzeń w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.

Przyjęte ww. rozwiązania techniczne wraz z oprogramowaniem ułatwiają pracę i umożliwiają pozyskanie źródła wiarygodnej informacji o stanie technicznym poszczególnych elementów, maszyn oraz urządzeń [Mikuła, 2012; Rogala-Rojek, 2012].

## 8. Monitorowanie procesów technologicznych

*Kazimierz Miśkiewicz, Antoni Wojacek*

### 8.1. Wstęp

Prawo geologiczne i górnicze [PGG, 2023] zobowiązuje przedsiębiorcę do prowadzenia ewidencji osób przebywających w zakładzie górniczym, **monitorowania** zagrożeń środowiskowych oraz **monitorowania** procesu technologicznego. Elementem istotnym dla bezpieczeństwa górników pracujących w wyrobiskach podziemnych jest więc nie tylko bieżąca wiedza na temat ich aktualnego miejsca przebywania czy stanu atmosfery i środowiska technicznego kopalni podziemnej, lecz również **monitorowanie** stanu pracy podstawowych maszyn i urządzeń górniczych eksploatowanych w kopalniach.

Dla maszyn i urządzeń górniczych pojęcie „**monitoring**” może dotyczyć:

- **cyklicznej kontroli** i analizy wybranych parametrów urządzenia, maszyny czy pojazdu wraz z ich prezentacją na lokalnej tablicy wskaźników będącej elementem tego urządzenia górniczego (mierniki, wyświetlacze, czy elementy sygnalizacyjne w kabinie kierowcy) lub zdalnym na monitorach (stąd pojęcie monitoring) w punktach nadzoru technicznego oraz sterowania procesami technologicznymi,
- **bieżącego monitorowania**, czyli obserwacji z wykorzystaniem kamer i przedstawianie tych obrazów na monitorach w punktach nadzoru i zarządzania; np. w dyspozytoriach centralnych czy poziomowych, rozdzielniach elektroenergetycznych, stanowiskach obserwacyjnych itp.

Potoczne określanie systemów monitoringu w kopalniach kojarzone jest z tym drugim znaczeniem słowa monitoring, ponieważ kamery są powszechnie stosowane w kopalniach.

Z uwagi na rozwój urządzeń mikroprocesorowych, sterowników PLC i ich stosowanie we współczesnych urządzeniach górniczych to pierwsze określenie „słowa „monitoring” (jako cykliczna kontrola) ma coraz to większe znaczenie dla sprawnego, w tym również ekonomicznego, kierowania procesami technologicznymi w kopalniach.

Stan procesu technologicznego w kopalniach podziemnych jest określany przez pomiar wielu parametrów technologicznych, takich jak: prądy, moce, prędkości, temperatury, ciśnienia, stany załączenia lub wyłączenia urządzeń stany napełnienia, stany zamknięcia i otwarcia tam wentylacyjnych, a także parametry decydujące o bezpieczeństwie pracy, takie jak: stężenia gazów (CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>), prędkości powietrza w wyrobiskach czy też sygnały wyjściowe geofonów i sejsmometrów pozwalające ocenić zagrożenie tąpnięciami. Dla oceny stanu procesu technologicznego i stanu bezpieczeństwa wykorzystuje się również złożone funkcje zmierzonych parametrów.

Monitorowanie procesów technologicznych, a także stanu bezpieczeństwa (głównie parametrów wentylacyjnych) jest jedną z podstawowych funkcji realizowanych w **dyspozytoriach zakładowych kopalń**. Zakres i sposób monitorowania był zależny od dostępnych technicznych możliwości realizacji.

Dane pozyskane przez systemy monitoringu mogą być wykorzystane do diagnostyki maszyn i urządzeń a także analizy organizacji pracy procesów technologicznych.

W rozwoju monitorowania procesów technologicznych można umownie wyróżnić następujące etapy:

- **Elektryczne/elektroniczne systemy monitorowania** (do początku lat osiemdziesiątych). Do dyspozytorni były doprowadzane sygnały dwustanowe informujące o stanie (załączony, wyłączony) najważniejszych urządzeń (wentylatory, pompy, tamy wentylacyjne, przenośniki itp.). Stan urządzeń był sygnalizowany w dyspozytorni lampkami (często w postaci **tablic synoptycznych** – określanych również jako statyczne tablice synoptyczne, w odróżnieniu od dynamicznych tablic synoptycznych). Ponadto w kopalniach metanowych istniały dyspozytornie metanometryczne, w których były rejestrowane w stojakach urządzeń stacyjnych (na rejestratorach papierowych) przebiegi czasowe stężeń metanu i prędkości powietrza w wybranych punktach sieci wentylacyjnej kopalni [Cierpisz, 2007].
- **Minikomputerowe systemy monitorowania**. Do minikomputera były transmitowane sygnały informujące o stanie pracujących urządzeń na kopalni. Sygnały były archiwizowane w pamięci minikomputera i mogły być prezentowane dyspozytorowi na ekranie monitora w postaci tekstowej czy semigraficznej. Archiwizacja umożliwiała drukowanie odpowiednich raportów. Z komputerowymi systemami monitorowania związane jest pojęcie **SCADA** jako skrót od angielskiego określenia **Supervisory Control And Data Acquisition** (kontrola nadzorcza i akwizycja danych – nadzór nad procesem i pozyskiwanie danych).

Zastosowanie **komputerów z graficznymi monitorami** pozwoliło na graficzną prezentację stanu procesu technologicznego na ekranie monitora w postaci tzw. **dynamicznych tablic synoptycznych**, archiwizację parametrów technologicznych i tworzenie różnego rodzaju raportów.

Graficzna prezentacja stanu procesu technologicznego na ekranie komputera jest nazywana **wizualizacją** (procesu technologicznego). Przez **system wizualizacji** należy rozumieć sprzęt (komputery, monitory, ekrany wielkoformatowe), jak i oprogramowanie do graficznej prezentacji stanu procesu technologicznego, generowania alarmów oraz przygotowywania raportów.

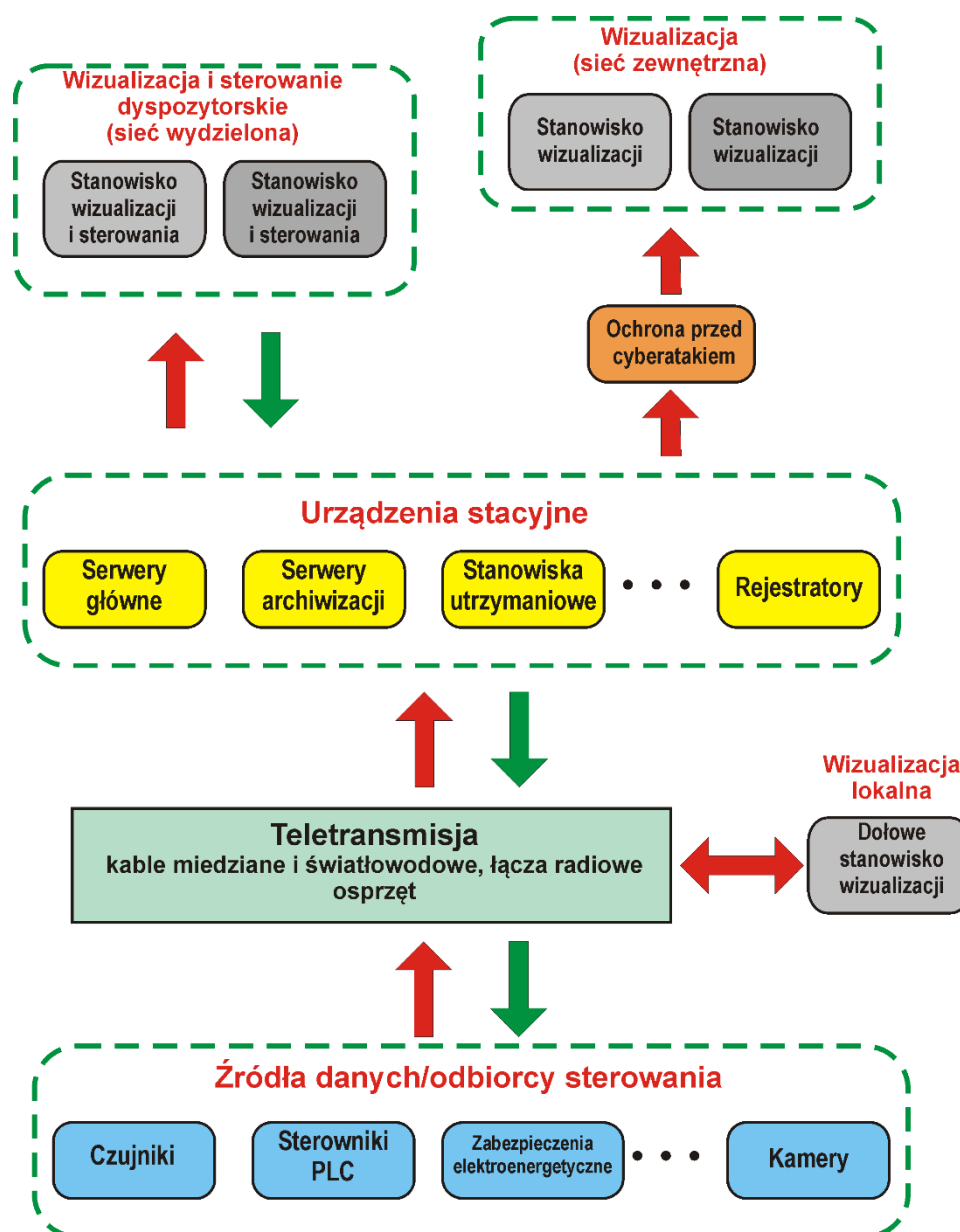
Dostępność komputerów w wersji przeciwybuchowej (najczęściej w osłonie ognioszczelnej) umożliwiły również realizację **wizualizacji lokalnej** w pobliżu monitorowanego procesu technologicznego (niekiedy z możliwością sterowania lokalnego).

Ogólna struktura systemów monitorowania z wykorzystaniem komputerów jest przedstawiona na rysunku 8.1 [Wojaczek, 2016].

Źródłami danych dla systemów monitorowania są między innymi czujniki, sterowniki PLC w urządzeniach, zabezpieczenia w urządzenia elektroenergetycznych, kamery. Sygnały ze źródeł danych są transmitowane siecią telekomunikacyjną do urządzeń stacyjnych (głównie serwerów). Dane z serwerów są przekazywane do dyspozytorskich stanowisk wizualizacji i sterowania oraz są przedstawiane na odpowiednich planszach. W niektórych sytuacjach jest możliwe sterowanie urządzeń dołowych (np. załączanie i wyłączanie wyłączników w sieci elektroenergetycznej). Dane z serwerów są również transmitowane do stanowisk wizualizacji

w sieci zewnętrznej (biurowej) kopalni z zastosowaniem odpowiednich środków ochrony przed cyberatakami.

**Sieciowe systemy monitorowania.** Pojawiła się potrzeba prezentacji stanu procesu technologicznego i informacji o parametrach pochodzących z różnych systemów transmisyjnych czy indywidualnych systemów SCADA. Wymaga to uzgodnień sposobów wymiany informacji i szczegółów protokołów transmisyjnych między autorami oprogramowania różnych systemów. Jednym ze sposobów budowania sieciowych systemów monitorowania jest zastosowanie otwartej architektury i standaryzacja protokołów wymiany informacji.



Rys. 8.1. Ogólny schemat blokowy dyspozytorskich systemów monitorowania

W strukturze wg rysunku 8.1 można wyróżnić **transmisję** (od źródła informacji do serwerów) oraz **wizualizację**. Producenci różnych rozwiązań zaczęli oferować własne (firmowe) systemy transmisji, jak również własne oprogramowanie do wizualizacji procesu

technologicznego, a także do wizualizacji parametrów wentylacyjnych. Utrudniało to integrację systemów monitorowania. Twórcy systemów wizualizacji musieli uzgadniać z producentami systemów transmisyjnych protokoły wymiany danych.

Systemy monitorowania należą do obszaru OT (Operational Technology). Przez OT należy rozumieć sprzęt i oprogramowanie przeznaczone do śledzenia i wykrywania lub powodowania zmian w procesach fizycznych poprzez monitorowanie i/lub sterowanie fizycznymi wielkościami przy użyciu urządzeń wykonawczych w ciągu technologicznym [Polityka, 2020].

Systemy monitorowania mogą być zintegrowane z obszarem IT (Information Technology), który jest istotny dla zarządzania operacyjnego i zarządzania biznesowego przedsiębiorstwa górniczego. Przez IT należy rozumieć całokształt zagadnień metod i środków i działań związanych z przetwarzaniem informacji [Polityka, 2020].

Zintegrowane systemy OT/IT umożliwiają:

- Przekazywanie danych wybranych danych technologicznych do warstwy IT (między innymi do **Centrum Zaawansowanej Analityki Danych CZAD**).
- Utworzenie wyspecjalizowanych „dyspozytorni energomechanicznych” z wizualizacją szczegółowych parametrów maszyn elektrycznych (prądy pobierane przez silniki, temperatury, ciśnienia), które nie są istotne dla głównego dyspozytora. W takich dyspozytorniach można dokonywać diagnostyki maszyn planując z wyprzedzeniem niezbędne czynności serwisowe.
- Realizację zdalnego dostępu i przekazywanie wybranych danych technologicznych do producentów maszyn (właściciele wynajmujących urządzenia kopalniom) z zachowaniem zasad cyberbezpieczeństwa [KSC, 2018].

Obecnie w kopalni pracuje duża liczba urządzeń elektrycznych, które są źródłem wielu parametrów technologicznych. Szacuje się, że w typowej kopalni jest przeciętnie [Kuśmirak-Brudnicki, 2019]:

- 120 pól rozdzielczych średniego napięcia,
- 200 ognioszczelnych stacji transformatorowych,
- 1200 ognioszczelnych wyłączników stycznikowych,
- 380 ognioszczelnych zespołów transformatorowych.

## 8.2. Elektryczne/elektroniczne systemy monitorowania

Pierwsza wzmianka o systemie dyspozytorskim w kopalni pojawiła się w 1952 roku, kiedy to Ministerstwo Górnictwa (Zarządzeniem z 9 marca 1952 roku) nakazało wprowadzić systemy dyspozytorskie do kopalń. W 1955 roku kopalnia „Wujek” uruchomiła (wybudowane własnymi siłami) pierwsze w Polsce bardzo proste urządzenia dyspozytorskie. W następnych latach (1956÷1967) zakupiono w Czechosłowacji kilka seryjnie produkowanych tam urządzeń dyspozytorskich typu DKZ-60 [Żymełka, 2000].

W roku 1959 powstało pierwsze polskie, przemysłowe urządzenie dyspozytorskie górnicze typu PUD/G-59 z elementami wizualizacyjnymi zbudowanymi z elementów

kostkowych. W tym też okresie w układach monitorowania po raz pierwszy pojawiło się **pojęcie tablicy synoptycznej**. Rozdzielenie segmentów wizualizacyjnych związanych z kontrolą procesu technologicznego oraz kontrolą stanu bezpieczeństwa kopalni, na tablicy synoptycznej nastąpiło w kolejnej polskiej konstrukcji urządzenia dyspozytorskiego (typu WSP-63).

Najdoskonalsze rozwiązanie grupie klasycznych (niekomputerowych) dyspozytorni zakładowych stanowiło centralne urządzenie dyspozytorskie typu CDK-66 z urządzeniem typu AUD jako częścią alarmową oraz systemem wielokrotnego (24 kanałowego) układu transmisji sygnałów dwustanowych pierwotnie typu UWP-3 a następnie typu CTT-32. Uzupełnieniem wymienionych urządzeń były urządzenia dyspozytorsko-konferencyjne typu UDK o pojemności 110 NN współpracujące z centralą telefoniczną CKK-70 oraz w kopalniach metanowych systemy metanometryczne CTT-63/40U francuskiej firmy Oldham lub jej odpowiedniki np. CMM20 [Miśkiewicz, 2011].

Informacje o stanie procesów technologicznych (z reguły w postaci sygnałów dwustanowych) były prezentowane na statycznych tablicach synoptycznych

**W statycznych tablicach synoptycznych** stosowano różne rozwiązania tworzenia grafiki i prezentacji stanu urządzeń. Najbardziej rozpowszechniły się w tym okresie układy wykorzystujące:

- Rysunek na szkle – barwny rysunek (schemat technologiczny, lub wentylacyjny) na płycie szklanej, z elementami podświetlanymi przez umieszczone za płytą żarówki teletechniczne (DKZ-60); w podświetlaniu rysunków na szkle wykorzystywano również po raz pierwszy przyklejone do szyby światłowody (tablica typu ZDT-G Elektrometal w KWK „Siersza”) [Żymelka, 2000].
- Elementy kostkowe – kratownice 1080x920 wypełnione kostkami (40x40); na powierzchni czołowej kostki naniesione były symbole pozwalające na tworzenie schematów technologicznych (PUD/G-59).
- Płyty perforowane; gęsta perforacja płyt pozwalała na umieszczanie na niej kolorowych listewek przeznaczonych do tworzenia schematów mnemotechnicznych, kwadratowych symboli świetlnych dla urządzeń technologicznych i okrągłych dla odwzorowania parametrów bezpieczeństwa.
- Elementy mozaikowe – konstrukcje statycznych tablic synoptycznych typu FTM przeznaczone były przede wszystkim na potrzeby energetyki. Tablice zbudowane były w oparciu o metalową spawaną konstrukcję nośną z przykręcaną na odstępnikach kratownicą aluminiową pozwalającą na zamocowanie kapturków (25x25 mm) z tworzywa, które stanowiły zewnętrzną taflę tablicy. Tworzono stosowne mozaiki odwzorowujące np. wybrane procesy technologiczne lub schematy strukturalne. Sygnalizacja świetlna tablic zbudowana była z wykorzystaniem żarówek typu TS 12 (24) V.





Rys. 8.2. Przykładowe elementy statycznych (mozaikowych) tablic synoptycznych

Od 1990 roku ZPAS w miejsce tablic FTM produkuje nowe typy tablic typu STM (25x25 mm) oraz DTM (z kapturkami 24x24) z elewacją samonośną i sygnalizacją stworzoną na bazie diod LED o różnej wielkości i kształcie (rys. 8.2) [ZPAS, 1999]. Aktualizacja i zmiana obrazu na elewacji tablicy jest łatwa i szybka, dzięki zastosowaniu nakładanych na korpusy kapturek. Prawie wszystkie kopalnie eksploatują obecnie mniej lub bardziej rozbudowane tego typu tablice synoptyczne w dyspozytorniach.

W kopalniach sterowanie elementów świetlnych może być realizowane bezpośrednio z systemu transmisji sygnałów dwustanowych (np. systemu typu FOD-900). Wykorzystuje się również często urządzenia sygnalizacji optycznej typu USO-2, które dodatkowo światłem pulsującym lub sygnałem akustycznym, informują dyspozytora o zasadniczych zmianach na tablicy świetlnej, na które powinien zwrócić uwagę dyspozytor.

Obecne komputerowe sterowniki tablic synoptycznych (nazywane również zapalarkami) przewidziane do zapalania diod świecących na tablicach synoptycznych składają się z połączonych za pomocą łączy transmisji szeregowej RS-232 kaset, w których znajdują pakiety typu PKW-001. Każdy pakiet może sterować dwoma matrycami po 128 diod LED. Jedna kaseca pozwala sterować ponad 2560 diodami LED. W kasecie sterownika oprócz pakietów PKW-001 znajdują się translatory protokołów transmisji i sterowniki rodzajów i trybów świecenia.

Na rysunku 8.3 pokazano przykład mozaikowej tablicy synoptycznej w jednej z dyspozytorni kopalnianych.



Rys. 8.3 Przykład mozaikowej tablicy synoptycznej w kopalnianej dyspozytorni

### 8.3. Minikomputerowe systemy monitorowania procesów technologicznych

W 1970 roku firmy ZKMPW (Zakłady Konstrukcyjno-Mechanizacyjne Przemysłu Węglowego w Gliwicach, obecnie Instytut Techniki Górniczej KOMAG) oraz GIG (Główny Instytut Górnictwa w Katowicach) uruchomiły w „Zautomatyzowanej kopalni Jan” [Żymełka, 2000]:

- system kompleksowej automatyzacji typu „S” z polskiej produkcji minikomputerem typu MKJ-25 i klasycznymi wtedy peryferiami: czytnikiem kart i perforatorem taśmy; urządzeniem wyjściowym minikomputera był dalekopis, a obraz wydruku na dalekopisie był transmitowany przez kamerę do monitora analogowego w pomieszczeniu dyspozytora,
- system sterowania procesem wydobywczo-transportowym kopalni typu „CES” – z przetwarzaniem na komputerze typu ODRA 1204,

co zapoczątkowało erę komputerowych systemów dyspozytorskich, czyli komputerowych systemów wspomaganie uzupełniających statyczne tablice synoptyczne. W tym czasie rozpoczęto również próby zastosowania specjalnie zaprojektowanego do zastosowań przemysłowych mikrokomputera francuskiej firmy Telemecanique typu T2000/20.

W latach osiemdziesiątych zrezygnowano z zastosowania jednego komputera o dużej mocy obliczeniowej, zdolnego do kontroli wielu procesów technologicznych, na rzecz dekompozycji procesu technologicznego i budowy oddzielnych modułów dyspozytorskich kontrolujących wybrane procesy technologiczne. W Polsce powstała w latach osiemdziesiątych bardzo udana konstrukcja przemysłowego mikrokomputera typu PRS-4 (przystosowany do warunków kopalnianych komputer typu SMC-3). Minikomputer PRS-4 stanowił podstawowe wyposażenie eksploatowanych w wielu kopalniach tzw. modułowych systemów dyspozytorskich typu MSD-80.

Podstawowymi modułami systemu MSD-80 (ze sterownikiem PRS-4) były wdrożone w 1980 roku w KWK „Moszczenica”, KWK „Wesoła” oraz KWK „Szombierki” następujące moduły [Miśkiewicz, 2011]:

- HADES – przeznaczony do kontroli procesu technologicznego oraz kontroli wybranych parametrów bezpieczeństwa (pracy wentylatorów, pomp, tam wentylacyjnych, instalacji przeciwpożarowych, poziomu wody w rzepiach). System ten został następnie zastąpiony systemem mikroHADES ( $\mu$ HADES). Umożliwiał on współpracę z max. 352 czujnikami dwustanowymi i stanowił ogniwo pośrednie dla systemu wizualizacji tych procesów.
- CMC 1/2 przeznaczony do budowy systemu metanometrycznego dla max. 128 czujników. Po integracji z systemem wczesnego wykrywania pożarów typu SWWP, stanowił on podstawę do budowy współczesnych systemów gazometrycznych produkcji EMAG typu SMP (z centralami CMC-3 czy CMC-4).
- SAK (o maksymalnej pojemności do 82 urządzeń dołowych) przeznaczony do oceny zagrożeń tąpnięciami w oparciu o pasywne metody sejsmoakustyki. Obecnie jest on zastępowany przez system ARES.
- SYLOK (o pojemności do 16 urządzeń dołowych) przeznaczony do automatycznej lokalizacji miejsca wystąpienia wstrząsu i określenia jego energii. Jego współczesna wersja to system ARAMIS.
- SWWP przeznaczony do wczesnego wykrywania pożarów. Zmodernizowana wersja tego systemu, czyli system alarmowania pożarowego typu SAP-1 została zintegrowana z systemem metanowym i powstał wtedy system metanowo-pożarowy SMP, który eksploatowany jest obecnie w wielu kopalniach [Cierpisz, 2007].

Duża ilość komunikatów tekstowych generowanych w systemach i pojawiających się szeregowo na monitorach tekstowych komputerów eksploatowanych wtedy w dyspozytorni w modułowym systemie dyspozytorskim typu MSD-80 stanowiła zasadniczą trudność w obsłudze tych systemów przez dyspozytora.

#### **8.4. Monitorowanie procesów technologicznych z wykorzystaniem komputerów PC**

Rozwój techniki komputerowej umożliwił budowę tzw. dynamicznej tablicy synoptycznej DTS-1, w której informacje o stanie procesu technologicznego były wyświetlane na ekranach monitorów graficznych. Celem podstawowym przeprowadzonej w latach dziewięćdziesiątych modernizacji modułowego systemu dyspozytorskiego typu MSD-80 było zastąpienie semigrafiki grafiką, a specjalizowanych mikrokomputerów – klasycznymi komputerami klasy

IBM PC. Kopalnie rozpoczęły eksploatację modułowych systemów dyspozytorskich typu MSD-90, którego zasadniczym elementem wizualizacyjnym była dynamiczna tablica synoptyczna typu ZEFIR, początkowo (od 1991) wykorzystująca platformę sprzętowo programową IBM PC/DOS. Od 1997 roku system wizualizacji ZEFIR przeniesiono na komputery z systemem operacyjnym Windows NT.

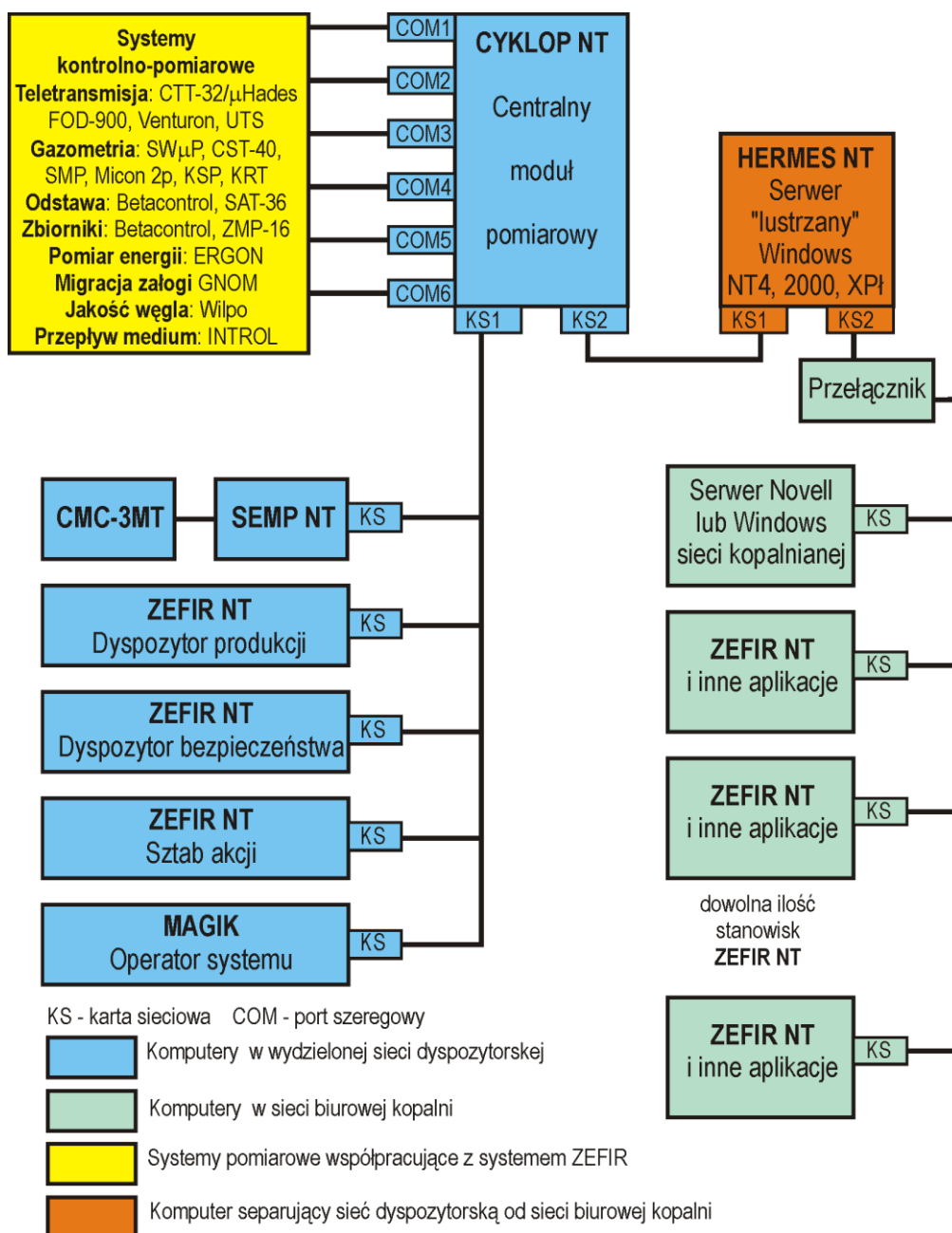
#### 8.4.1. System monitorowania ZEFIR

Ponieważ w komputerach klasy IBM PC dostępne były już rozwiązania sieciowe (sieci Novell) więc system ZEFIR umożliwił również wizualizację i rozpowszechnienie (na stanowiska komputerowe dozoru wyższego danego zakładu górniczego) bieżących informacji o przebiegu procesu technologicznego i stanie bezpieczeństwa. Dostępna do tej pory tylko w dyspozytorniach, bieżąca informacja o stanie produkcji (oraz np. aktualne wskazania przyrządów systemów gazometrycznych) mogła być na bieżąco analizowana w biurach dozoru kopalni.

Na rysunku 8.4. pokazano schemat blokowy systemu wizualizacji ZEFIR w wersji sieciowej. Jego podstawowymi częściami są:

- centralny moduł pomiarowy CYKLOP NT, zbierający poprzez porty szeregowo (COM) dane z wielu systemów wymienionych na rysunku 8.4,
- operator systemu MAGIK pozwalający na stworzenie i modyfikację plansz,
- komputery z aplikacją ZEFIR NT prezentujące na monitorach plansze wizualizacji,
- serwer lustrzany HERMES NT oddzielający wydzieloną sieć komputerową w dyspozytorni od sieci komputerowej biurowej kopalni.

W wersji sieciowej systemu ZEFIR podjęto pierwszą próbę zabezpieczenia sieci dyspozytorskiej kopalni przed atakiem cybernetycznym. Zastosowano serwer lustrzany HERMES, do którego były przekazywane dane pomiarowe. Stanowiska wizualizacyjne ZEFIR NT zlokalizowane w sieci biurowej kopalni pobierały dane z serwera HERMES, co eliminowało transmisję ramek z sieci biurowej kopalni do sieci dyspozytorskiej.



Rys. 8.4. Schemat blokowy systemu wizualizacji ZEFIR NT

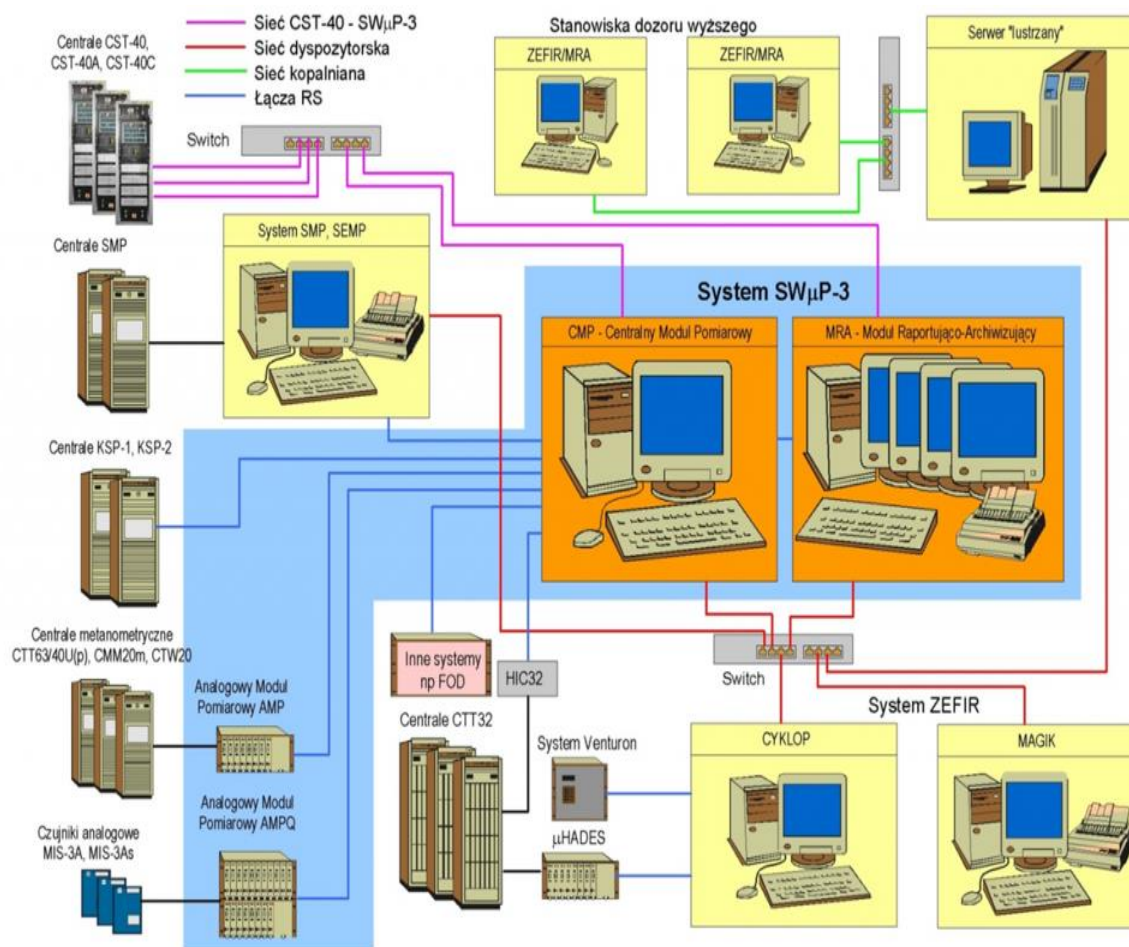
#### 8.4.2. Systemy SW $\mu$ P i SP3 firmy HASO

Pewien problem stanowiła komputerowa archiwizacja i wizualizacja pomiarów z systemów metanometrii cyklicznej (np. typu CTT63/40U oraz CMM-20) nieprzystosowanej do współpracy z systemami komputerowymi. Rozwiązaniem było uruchomienie (i eksploatacja w większości polskich kopalń do dzisiaj) komputerowego systemu wspomaganie dyspozytora metanometrii typu SW $\mu$ P firmy HASO. Na rysunku 8.5. [HASO] pokazano schemat blokowy systemu SW $\mu$ P (zaznaczony na niebiesko) oraz jego współpracę z różnymi systemami gazometrycznymi oraz metanomierzami indywidualnymi (np. MIS). System ten zawiera dwa podstawowe komputery:

- Centralny Moduł Pomiarowy CMP.
- Moduł Raportująco-Archiwizujący MRA.



Do systemu SW $\mu$ P doprowadzane są dane z central gazometrycznych CST, SMP, KSP, a także z central analogowych CTT-63/40U poprzez analogowy moduł pomiarowy AMP.



Rys. 8.5. Przykład integracji systemów gazometrycznych i wizualizacji z wykorzystaniem systemu SW $\mu$ P

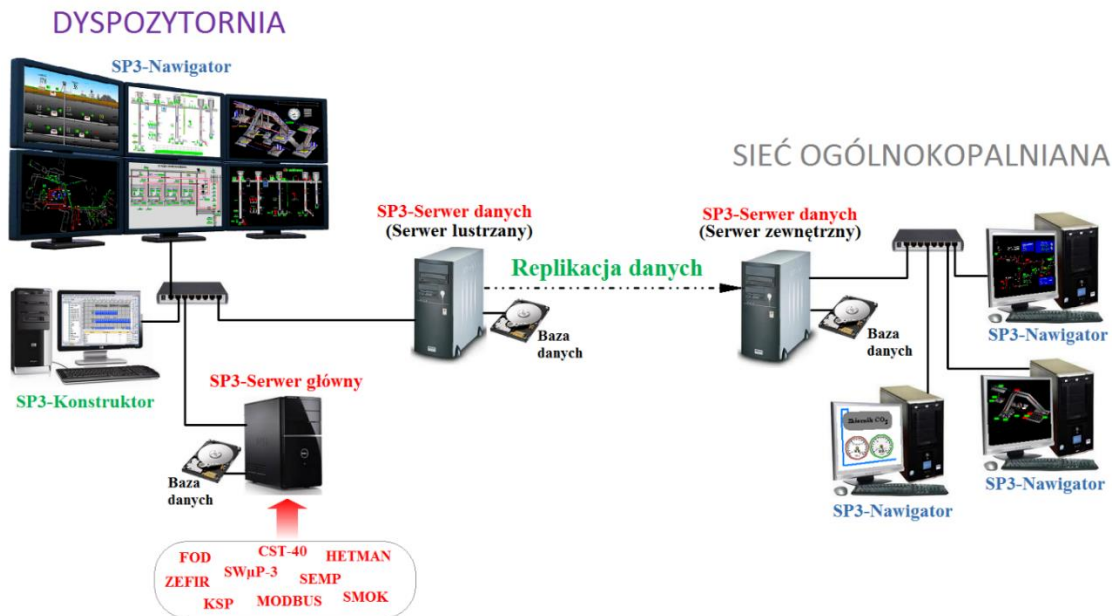
SW $\mu$ P udostępnia innym systemom wizualizacji w dyspozytorni (np. ZEFIR) swoją autonomiczną bazę danych i umożliwia sterowanie w systemie gazometrycznym. Otrzymuje również informacje z innych systemów technologicznych (np. CTT32, FOD-900) o stanie pracy ważnych z punktu widzenia systemów bezpieczeństwa maszyn i urządzeń górniczych (np. tam, wentylatorów).

**Firma HASO** opracowała system wizualizacji **SP3** (System Prezentacji Procesów Przemysłowych), który umożliwia wizualizowanie pomiarów pochodzących od dowolnego rodzaju czujników z różnych systemów. Zapewnia użytkownikowi możliwości graficznego prezentowania pomiarów, w sposób dostosowany do jego potrzeb oraz ich raportowania i archiwizacji. Składa się z następujących, połączonych ze sobą siecią komputerową modułów:

- SP3-Konstruktor, czyli komputer z oprogramowaniem, który pozwala na tworzenie dowolnego rodzaju w pełni skalowalnych plansz, map, schematów, na których umieszcza się obiekty animujące wskazania z określonych przez użytkownika czujników dostępnych w systemie.
- SP3-Serwery (serwer główny, lustrzany serwer danych, zewnętrzny serwer danych), które

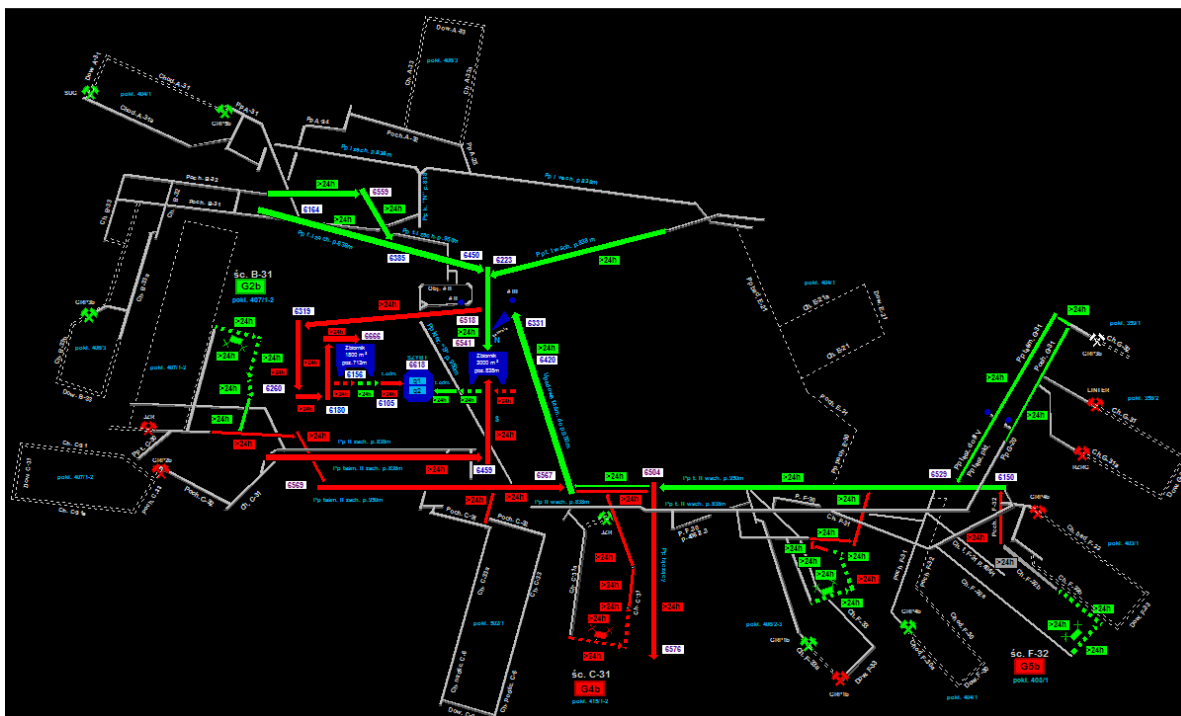
służą do zbierania, archiwizacji i udostępniania danych dla całego systemu.

- SP3-Navigator, czyli komputer z oprogramowaniem, który umożliwia uruchamianie wcześniej utworzonych plansz w osobnych oknach oraz zapewnia ciągłą obserwację aktualnych pomiarów (również w formie wykresów graficznych).



Rys. 8.6. Schemat blokowy systemu wizualizacji SP3

Na rysunku 8.6 pokazano schemat blokowy systemu SP3. Serwery SP3 potrafią zbierać dane z wielu systemów stosowanych na kopalniach takich jak FOD, CST-40, SWmP-3, ZEFIR, SEMP, KSP, SMOK.



Rys. 8.7. Przykład planszy pokazującej system odstawy przenośnikowej; kolorem zielonym zaznaczono przekaźniki pracujące (załączone), kolorem czerwonym – przekaźniki wyłączone



Na rysunku 8.7. pokazano przykład planszy systemu SP3 przedstawiającej wizualizację transportu przenośnikowego.

### 8.4.3. Systemy monitorowania firmy SOMAR

Firma SOMAR opracowała jeden z pierwszych układów transmisji danych technologicznych z kombajnów ścianowych i chodnikowych o nazwie SMOk (pisany również jako SMOK – System Monitorowania Kombajnów) do własnego systemu wizualizacji DEMkop. Transmisja danych z kombajnu (chodnikowego lub ścianowego) do wyłącznika stycznikowego odbywa się na żyłach pomocniczych przewodu oponowego zasilającego kombajn z wykorzystaniem dwóch sprzęgów transformatorowych TF4 i modemów: kombajnowego oraz wyłącznikowego np. SM-PM6 (rys. 8.8) [SOMAR].

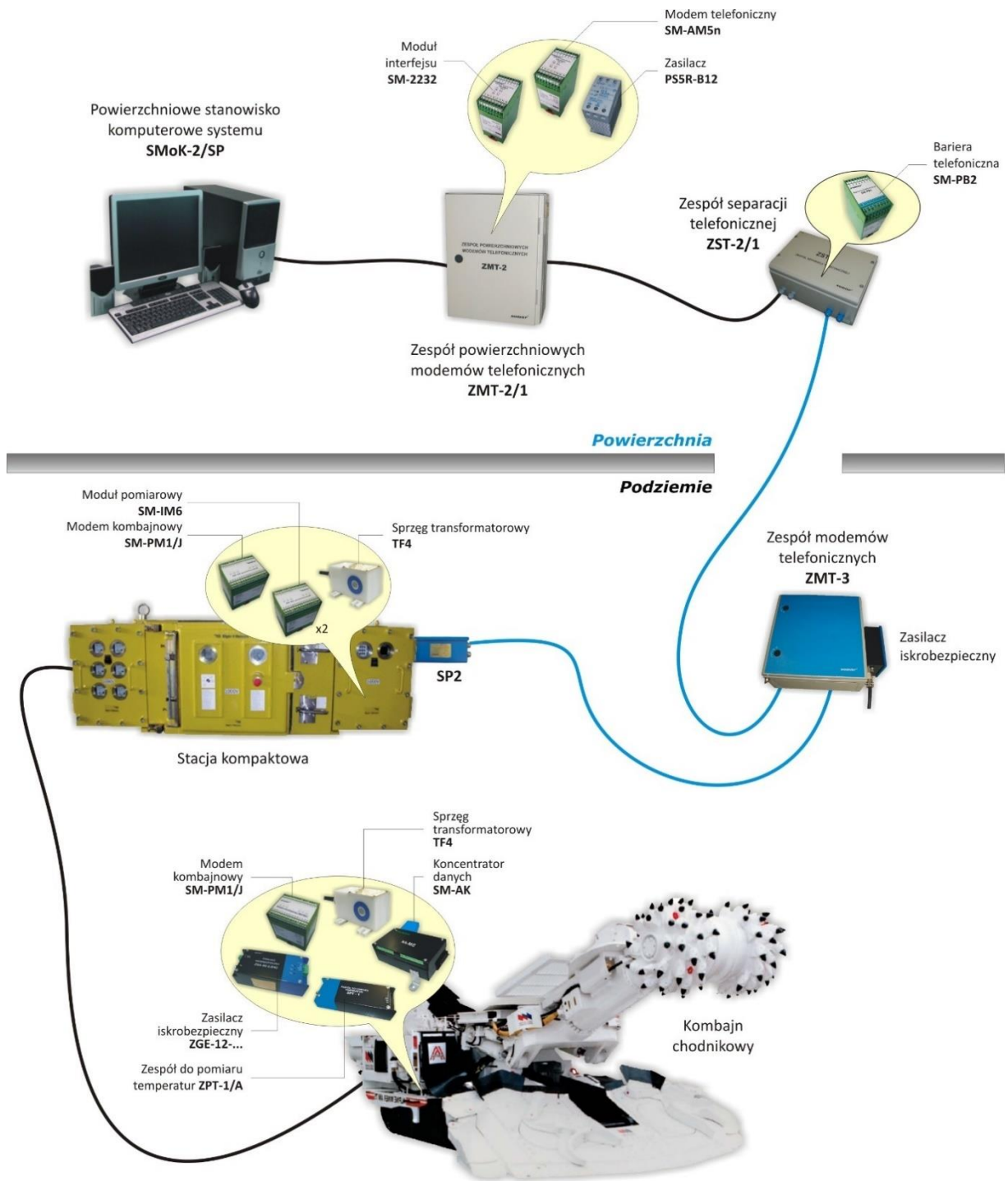


Rys. 8.8. Modem kombajnowy SM-PM6 i sprzęg transformatorowy TF4

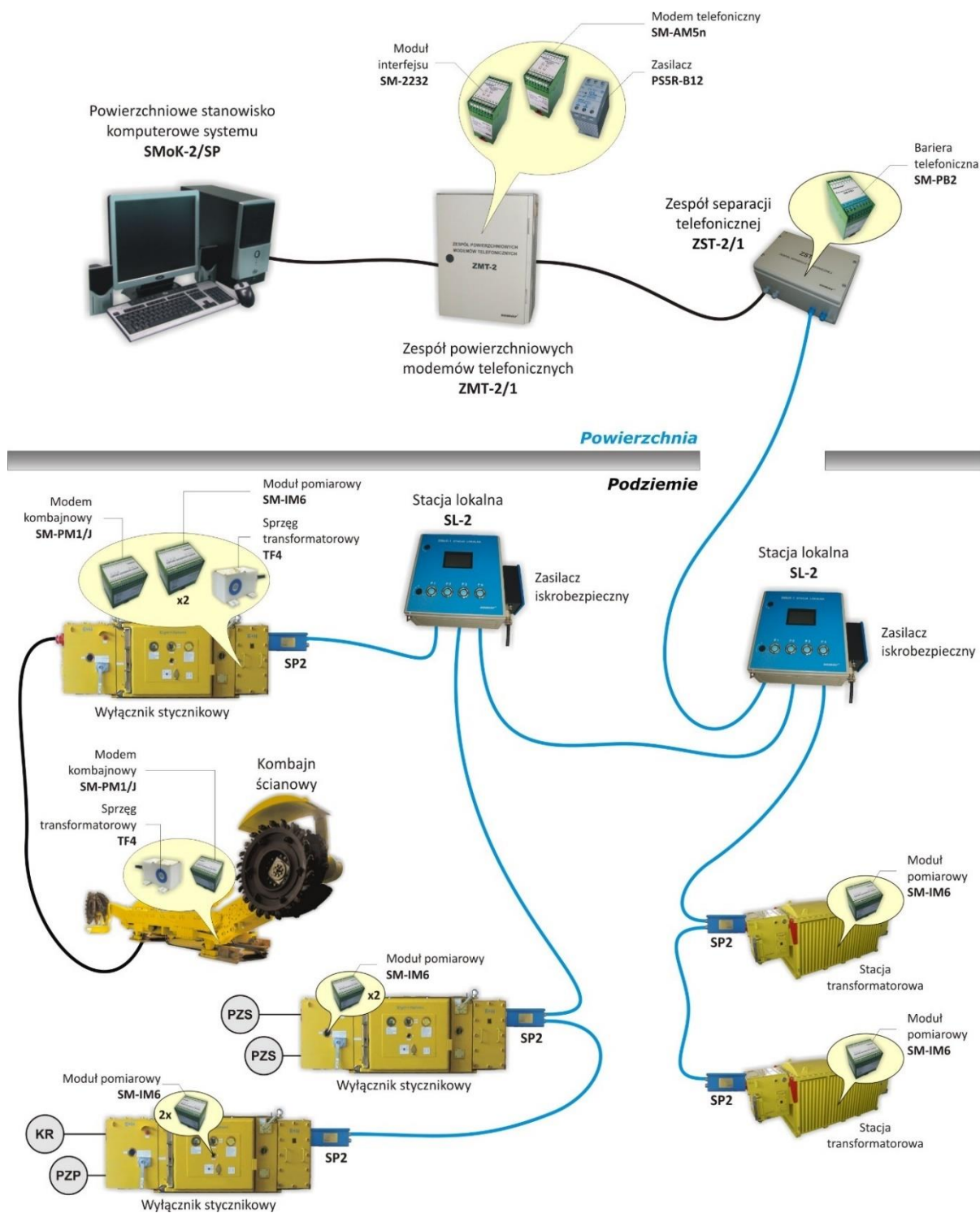
W początkowej wersji transmisja danych z wyłączników stycznikowych kombajnu, jak i przenośników ścianowego i podścianowego, na powierzchnię, odbywała się w kablach telekomunikacyjnych miedzianych z wykorzystaniem modemów wąskopasmowych. Obecnie transmisję danych na powierzchnię realizuje się w sieci światłowodowej.

Na rysunkach 8.9 i 8.10 pokazano schematy blokowy systemu SMOk-2 do: monitorowania kombajnu chodnikowego oraz zestawu kilku maszyn kompleksu ścianowego (kombajn ścianowy, przenośnik ścianowy, podścianowy i kruszarka), a na rysunku 8.11 planszę przedstawiającą wybrane parametry technologiczne kombajnu.

Archiwizacja danych technologicznych umożliwia ich prezentację w postaci wykresów w funkcji czasu. Na rysunku 8.12 pokazano przykład zrzutu ekranu z wykresami w funkcji czasu prądów silników organów urabiających, prądów silników ciągnika, położenia i prędkości posuwu kombajnu w czasie jednego skrawu. Na rysunku 8.13 pokazano te same wykresy narysowane z wykorzystaniem zapamiętanych danych liczbowych.

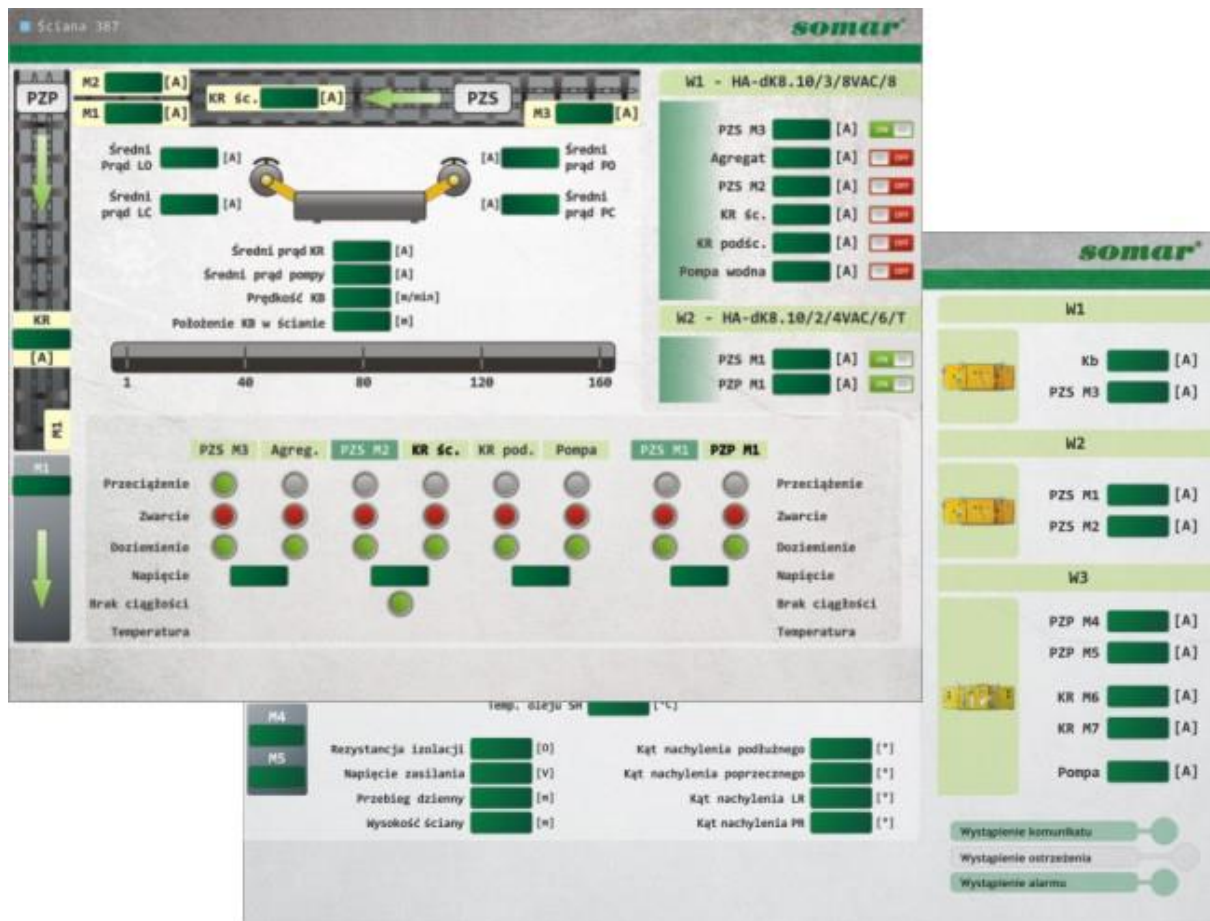


Rys. 8.9. Schemat blokowy systemu SMOk-2 do monitorowania kombajnu chodnikowego

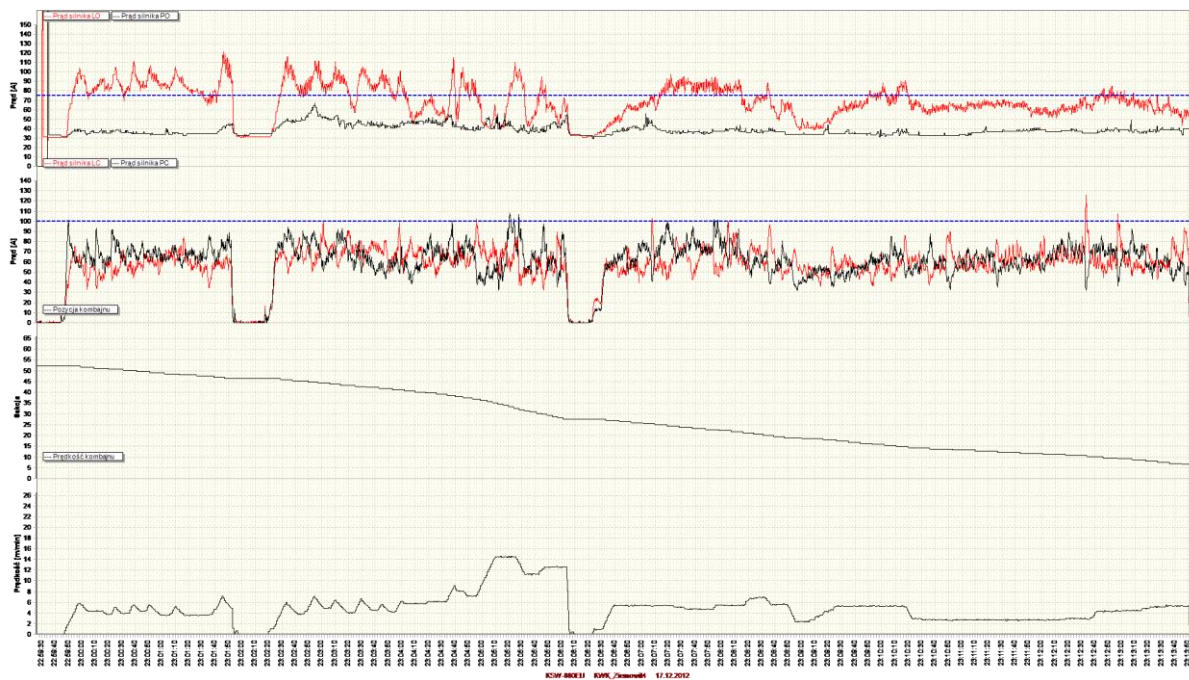


Rys. 8.10. Schemat blokowy systemu SMOk-2 do monitorowania maszyn ścianowych

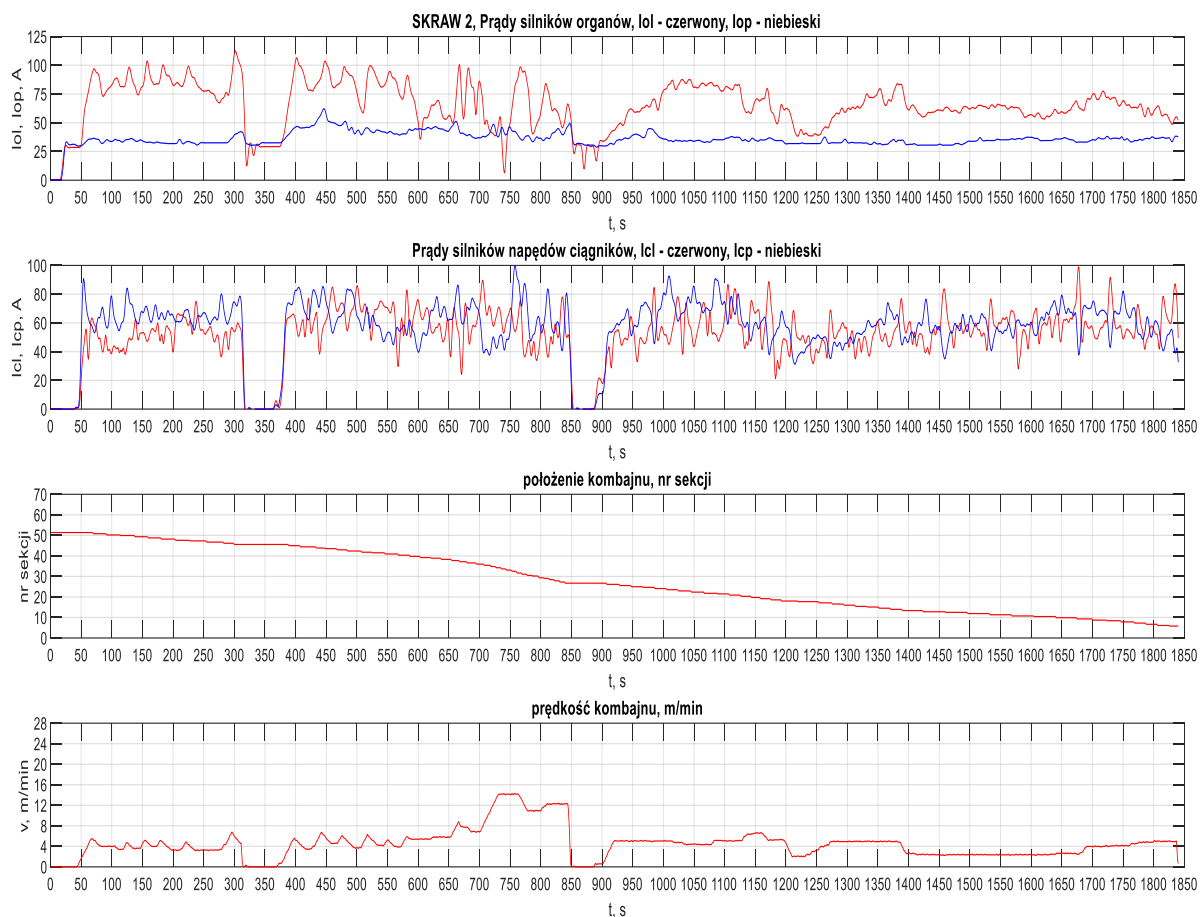




Rys. 8.11. Przykład planszy systemu DEMkopp do wizualizacji kombajnu



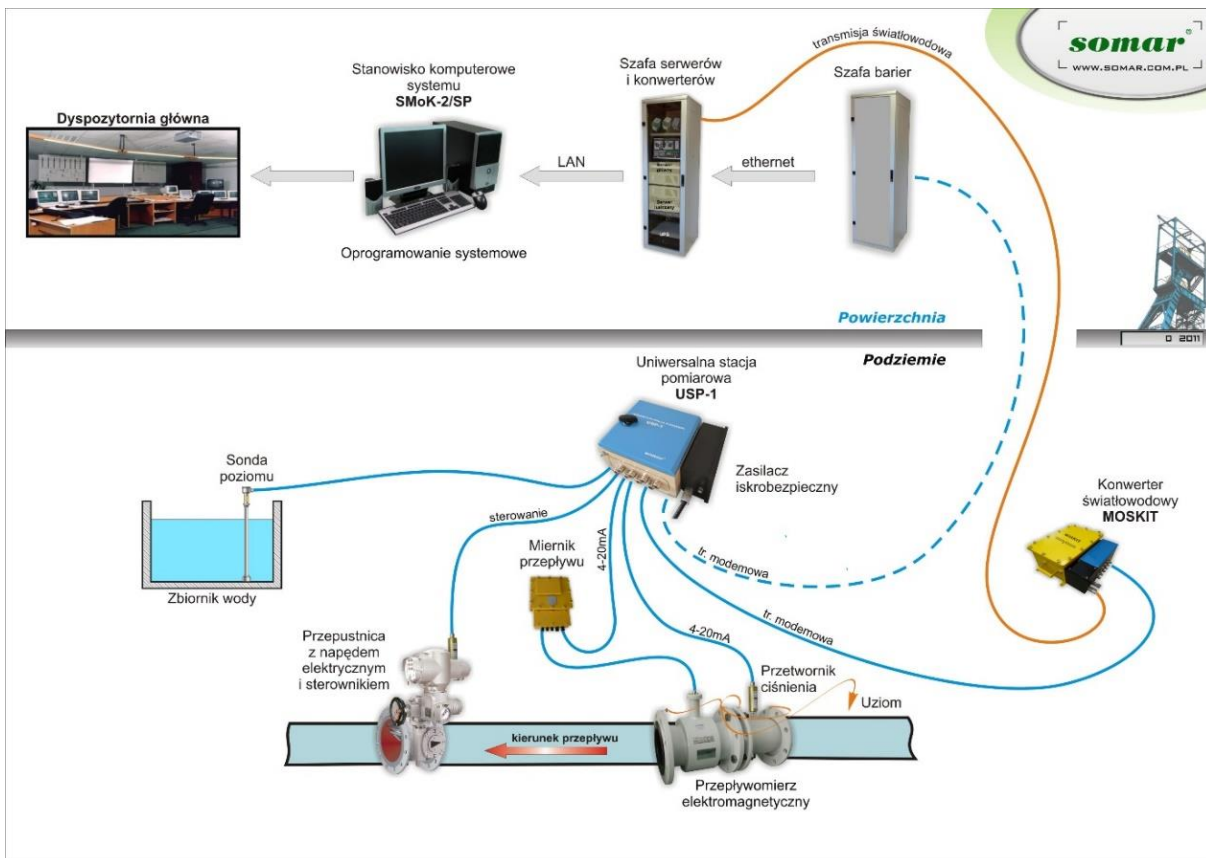
Rys. 8.12. Przykład zrzutu ekranu z wykresami parametrów kombajnu ściannowego. Od góry prądy silników głowic urabiających, prądy silników ciągników, położenie kombajnu, prędkość posuwu kombajnu



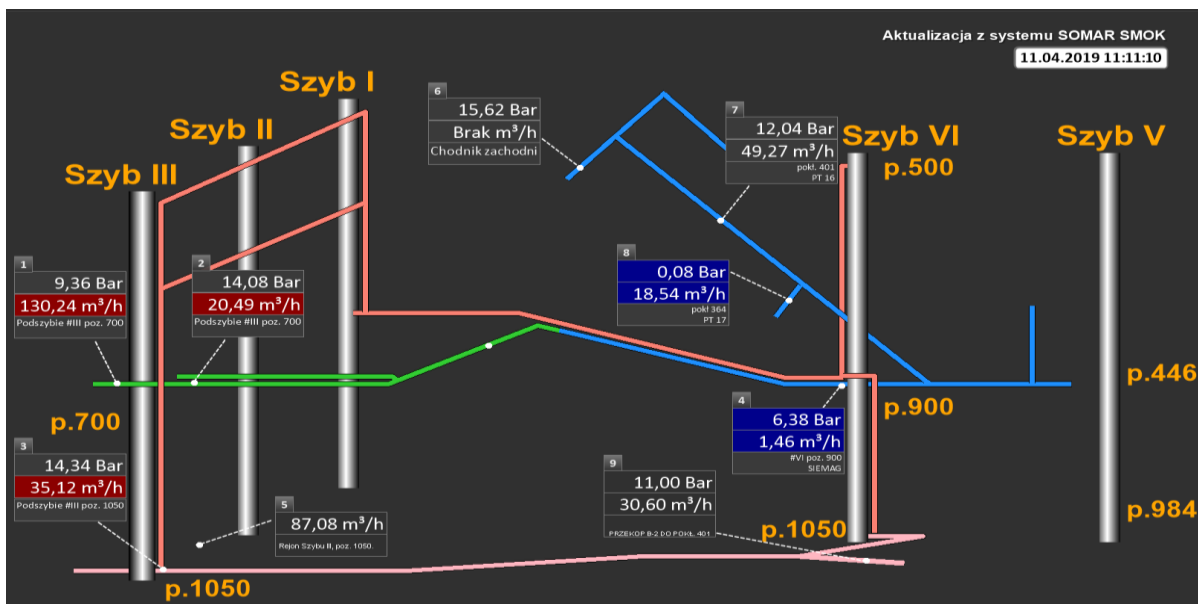
Rys. 8.13. Przykład wykresów czasowych parametrów kombajnu ścianowego wg danych z rysunku 8.12.

System SMOK może być wykorzystany do monitorowania stanu rurociągów przeciwpożarowych. Rurociągi są wyposażone w przetworniki ciśnienia, mierniki przepływu a także w zawory z napędem elektrycznym. Sygnały z przetworników pomiarowych są przesyłane siecią telekomunikacyjną miedzianą z wykorzystaniem modemów lub siecią światłowodową (rys. 8.14) [SOMAR]. Przykładowy zrzut ekranu z wizualizacji rurociągów przeciwpożarowych w KWK Budryk pokazano na rysunku 8.15 [Warchoń, 2019]. System monitorowania rurociągów w KWK Budryk jest oparty o system SMOK.

System SMOK może być również wykorzystywany do wielu innych zadań związanych z monitoringiem procesów technologicznych w kopalni. Przykład schematu blokowego systemu monitoringu poziomu węgla w poziomym zbiorniku retencyjnym przedstawiono na rysunku 8.16.

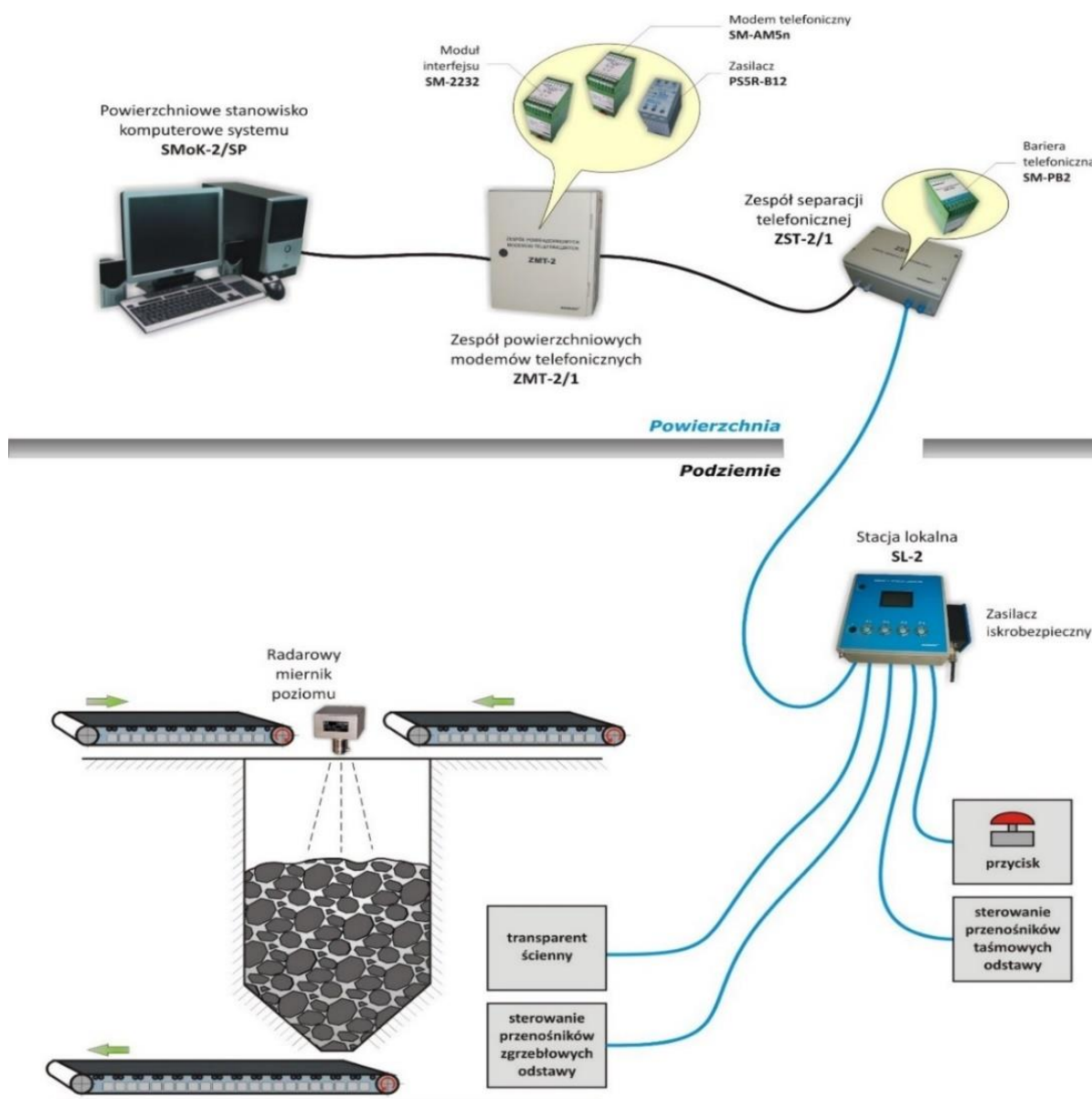


Rys. 8.14. Schemat blokowy systemu SMOk-2 dla monitorowania rurociągów przeciwpożarowych



Rys. 8.15. Przykład wizualizacji z monitoringu rurociągów przeciwpożarowych w KWK Budryk z wykorzystaniem systemu SMOk





Rys. 8.16. Schemat systemu monitorowania typu SMOk-2 poziomu węgla w zbiorniku retencyjnym

#### 8.4.4. System wizualizacji THOR

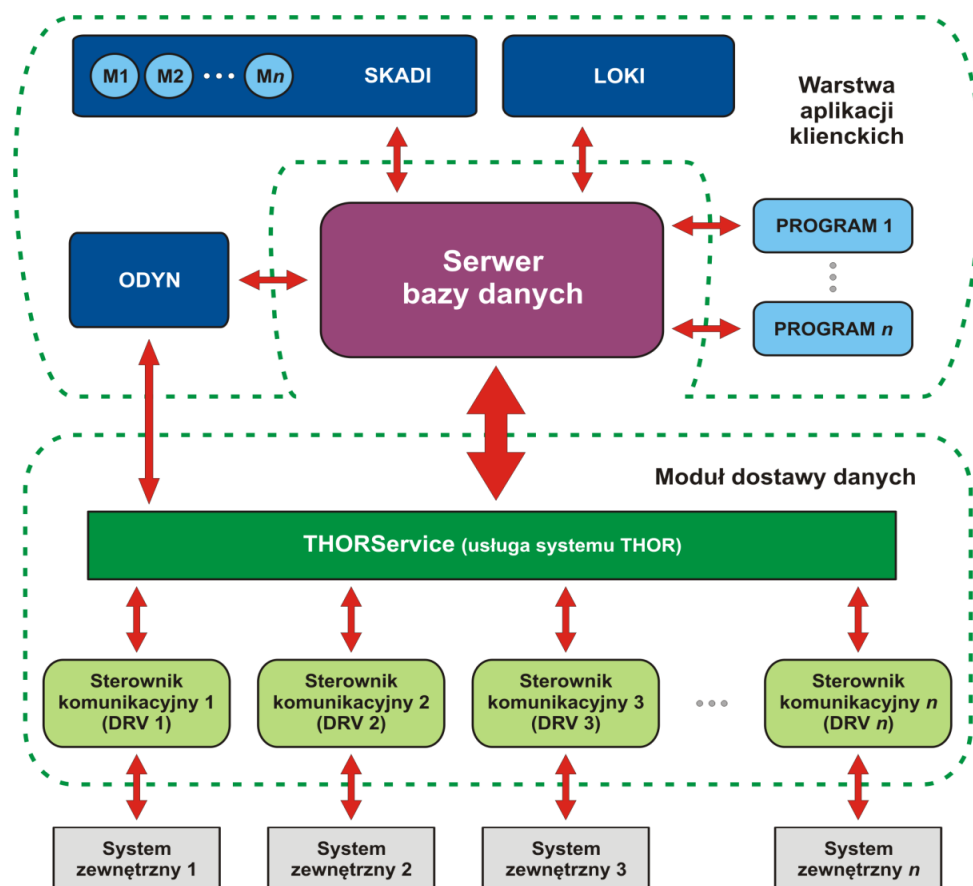
System wizualizacji THOR składa się z następujących części:

- **serwera bazy danych**, który gromadzi, archiwizuje i przetwarza wszystkie dostępne dane,
- **modułu dostawy danych**, który odpowiada za komunikację z systemami zewnętrznymi i pobieranie oraz przetwarzanie danych,
- **warstwy aplikacji klienckich** o nazwach: SKADI, LOKI, ODYDYN.

Scentralizowany **serwer bazodanowy** systemu THOR umożliwia archiwizację danych, gwarantuje ich spójność oraz zapewnia równoczesny dostęp do danych poprzez aplikacje klienckie.

Schemat strukturalny systemu THOR pokazano na rysunku 8.17 [Wojaczek, 2015].





Rys. 8.17. Schemat strukturalny systemu THOR

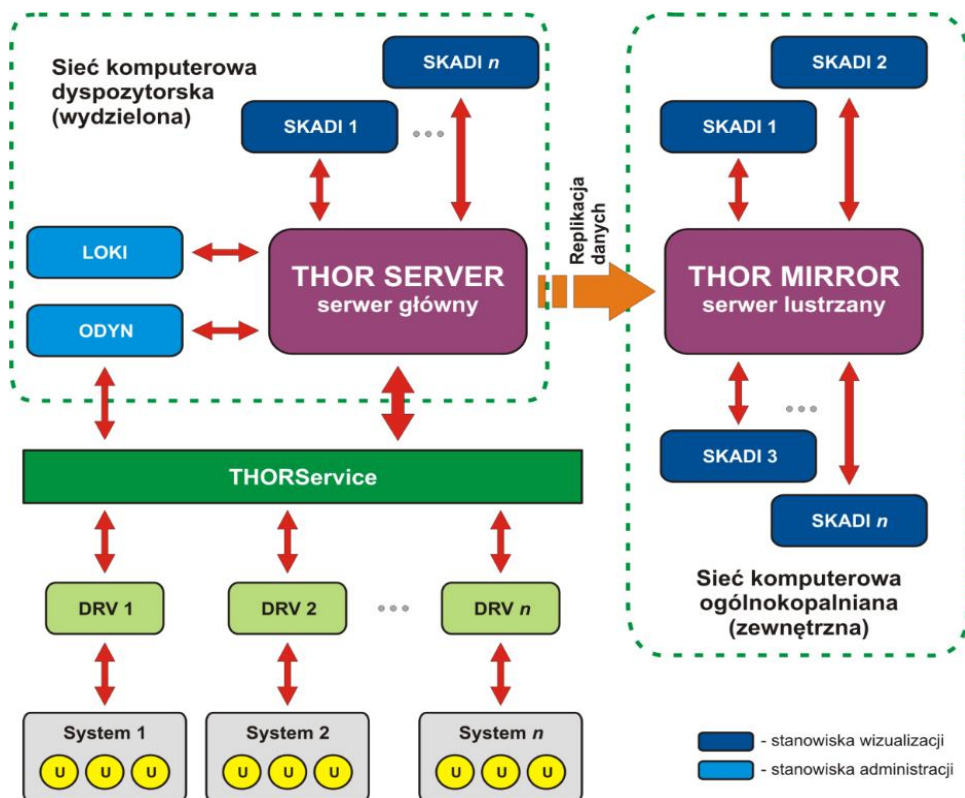
**Moduł dostawy danych** składa się ze **sterowników komunikacyjnych** i **usługi systemu THORService** zarządzającej sterownikami i ładującej dane do bazy. Zadaniem sterowników komunikacyjnych (DRV) jest zapewnienie stałej komunikacji, poprzez ustalony kanał transmisyjny i określony protokół, z systemami źródłowymi dostarczającymi dane, a także ich cykliczne pobieranie.

**Część aplikacyjna** stanowi zestaw narzędzi umożliwiających użytkownikowi konfigurację systemu pod własne wymagania. Do podstawowych aplikacji systemu należą programy:

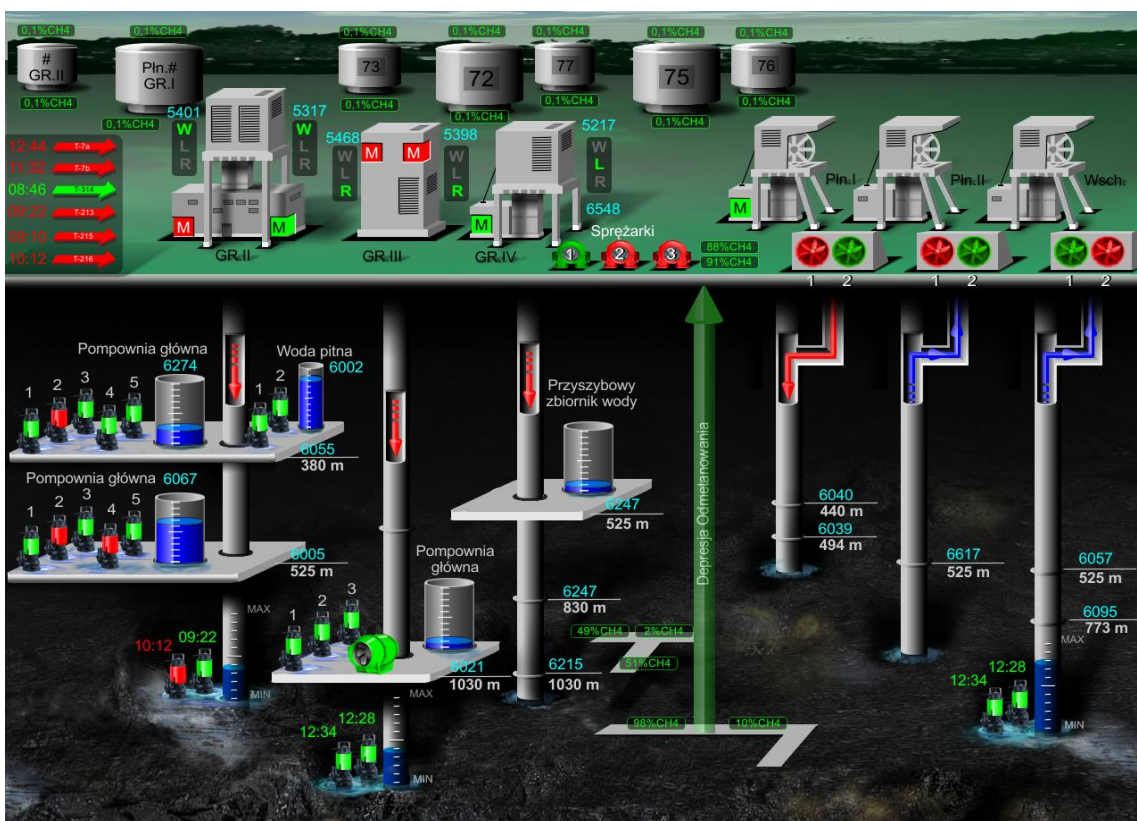
- SKADI – główny program użytkownika zapewniający wizualizację, raportowanie i nadzór nad elementami, których dane są gromadzone w systemie THOR.
- LOKI - narzędzie dla administratorów systemu umożliwiające przygotowanie plansz graficznych.
- ODYN – program dla administratorów systemu umożliwiający konfigurację sterowników, komunikatów alarmowych oraz zarządzanie użytkownikami i uprawnieniami.

Na rysunku 8.18 pokazano strukturę systemu THOR z serwerem głównym i lustrzanym, sterownikami komunikacyjnymi (DRV) i urządzeniami (czujnikami pomiarowymi) systemów nadzorowanych przez system THOR (U), a na rysunku 8.19 przykład planszy wizualizacji [Wojaczek 2015]. System THOR pełni rolę „nakładki” na autonomiczne systemy telekomunikacyjne funkcjonujące w kopalniach integrując je w jedną funkcjonalną całość. Zapewnia to jednolitą obsługę, wizualizację, raportowanie i dostęp do danych z każdego

eksploatowanego w kopalni „niezależnego” systemu. Umożliwia on więc monitorowanie (jednym systemem wizualizacji) wielu mniejszych, oddzielnych systemów wizualizacji.



Rys. 8.18. Konfiguracja systemu THOR w kopalni zbudowana w oparciu o serwer główny i lustrzany



Rys. 8.19. Przykładowa plansza wizualizacji w programie SKADI systemu THOR

### 8.4.5. System wizualizacji SAURON

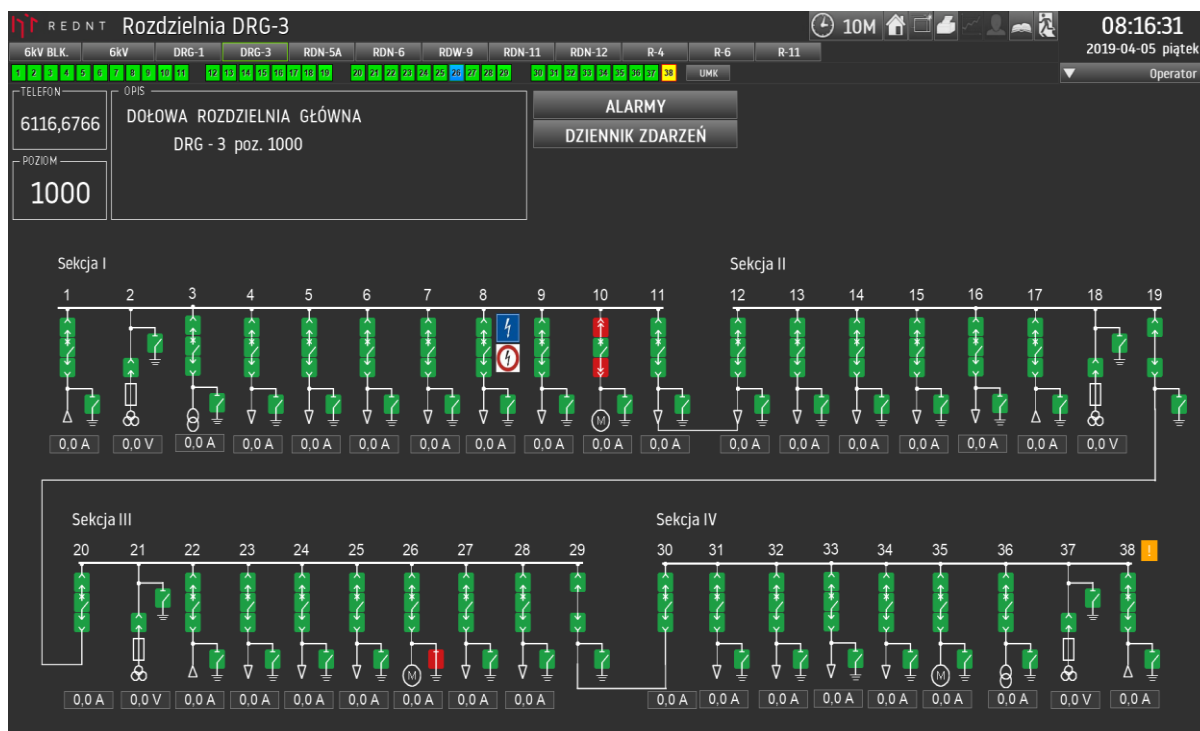
System SAURON (System Sterowania, AUTomatykacji Ruchu Orz Nadzoru) jest dyspozytorskimi systemem wizualizacji powstałym w oparciu o oprogramowanie typu SCADA - ASIX firmy ASKOM oraz o programy dodatkowe firmy REDENT. Podobnie jak w przypadku wcześniej już opisanych systemów, podstawowym zadaniem systemu SAURON jest wizualizacja stanu pracy wielu maszyn i systemów technologicznych, a także sterowanie niektórymi urządzeniami monitorowanych systemów np. załączanie i wyłączanie wyłączników w kopalnianych sieciach elektroenergetycznych.

Na rysunku 8.20 pokazano możliwości wykorzystania systemu SAURON w dyspozytorniach kopalnianych dla monitorowania wielu różnych maszyn, urządzeń i ciągów technologicznych (np. zakładki wizualizacyjne: odstawa, agregaty, rurociągi, pompownie, przodki, ściany, klimatyzacja, zakład przeróbki mechanicznej węgla, stan bieżącego wydobywania urobku itp.) [SAURON]. Na rysunku 8.21 pokazano przykład wizualizacji stanu wszystkich pól zainstalowanych w głównej rozdzielni dołowej 6 kV DRG-3 na poz. 1000 w kopalni Pniówek [Bieszczad, 2019], a na rysunku 8.22 przykład wizualizacji tylko jednego pola (nr 9) rozdzielnic DRG wraz z wykresem czasowym prądów fazowych oraz informacją o wykonaniu ostatnich czynności łączeniowych.



Rys. 8.20. Możliwości wykorzystania systemu SAURON





Rys. 8.21. Przykład wizualizacji stanu rozdzielni 6 kV w systemie SAURON



Rys. 8.22. Przykład wizualizacji stanu pola w rozdzielni 6 kV w systemie SAURON

#### 8.4.6. System wizualizacji ATVISIO2 firmy ATUT

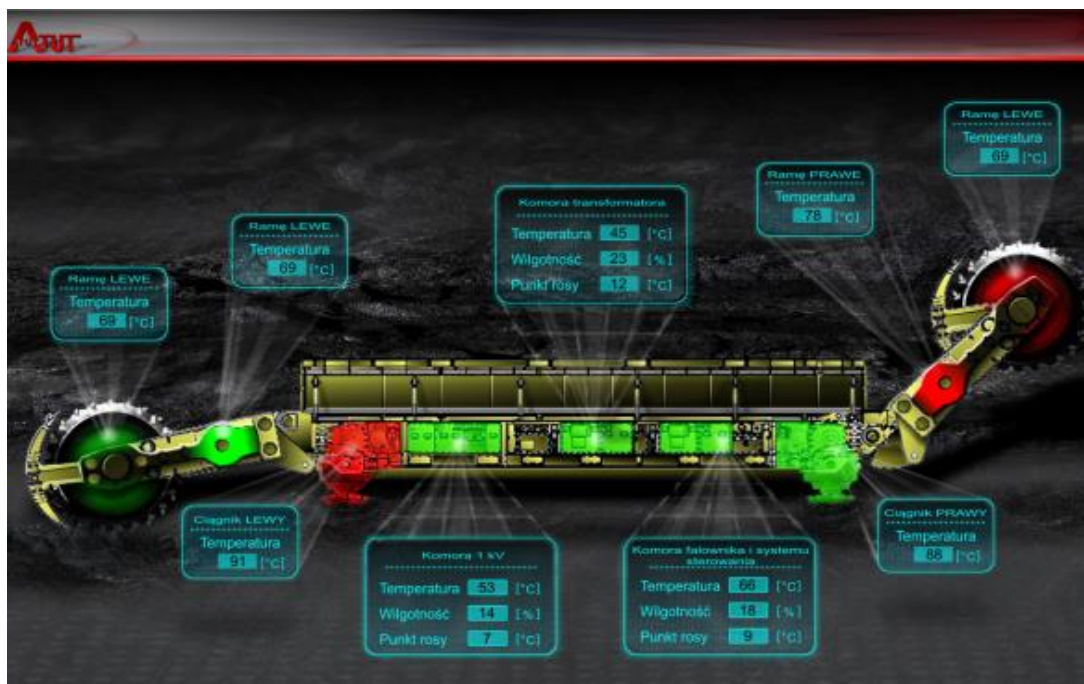
Platforma ATVisio2 jest autorskim rozwiązaniem firmy ATUT. Jest to system wspomagania procesów produkcji przeznaczony dla górniczych zakładów wydobywczych. Wykorzystując poszczególne moduły platformy ATVisio2 można [ATUT]:

– nadzorować bieżącą pracę maszyn i urządzeń z dowolnego stanowiska znajdującego się

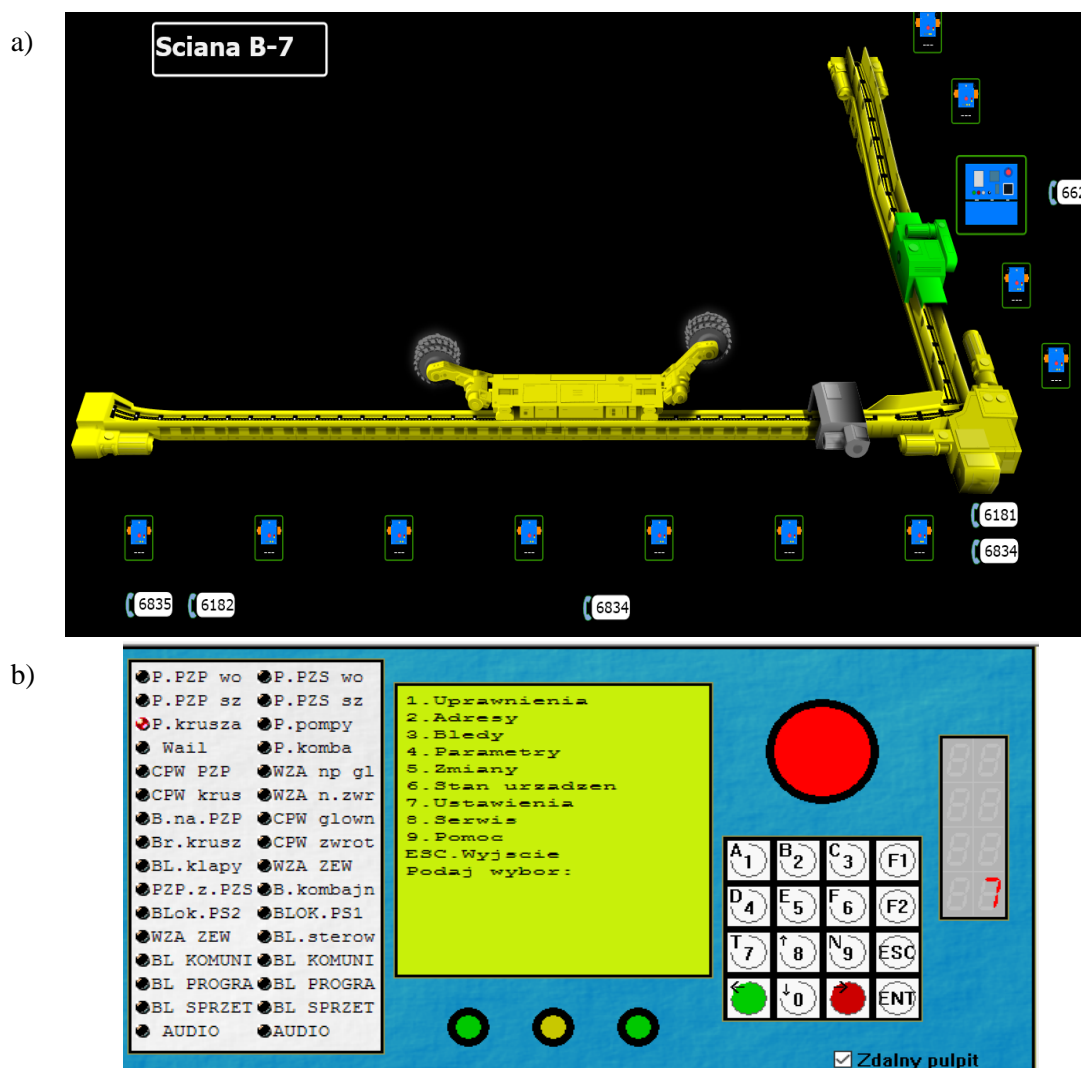
- w sieci zakładowej poprzez przeglądarkę www,
- analizować pracę maszyn, m.in. pod kątem stopnia ich wykorzystania oraz awaryjności, a także wysyłać komendy sterujące do wybranych urządzeń,
  - przeglądać dane historyczne i generować raporty na podstawie zebranych danych,
  - monitorować położenie załogi, maszyn oraz transportowanego materiału,
  - otrzymywać na bieżąco informacje, np. na temat aktualnej wydajności produkcji, o stanach ostrzegawczych i alarmowych występujących w obserwowanych procesach,
  - podglądać obraz z kamer rozmieszczonych w zakładzie,
  - zarządzać dokumentami (m.in. dokumentacją techniczną, instrukcjami obsługi, protokołami serwisowymi) w wersji elektronicznej.

System ATVisio2 umożliwia wizualizowanie i powiązanie zebranych danych pomiarowych z informacjami wprowadzanymi przez pracowników oraz zawartymi w systemach zewnętrznych klasy ERP (systemy finansowo-księgowo, magazynowe).

Na rysunku 8.23 pokazano przykład planszy monitorowania kombajnu ścianowego, a na rysunku 8.24 – wizualizację systemu łączności i bezpieczeństwa kompleksu ścianowego typu SSG-2 oraz Cyfrowego Urządzenia Kontrolno-Sterującego CUKS-5CX. Na planszy przedstawiony jest stan pracy przenośników oraz elementów systemu łączności. Poprzez kliknięcie w elementy menu użytkownik wyświetla szczegóły urządzeń [Warchoń, 2019].



Rys. 8.23. Przykład planszy systemu ATvisio2 dla wizualizacji pracy kombajnu



Rys. 8.24. Plansza wizualizacji: a) systemu SSG-2, b) sterownika CUKS-5CX

#### 8.4.7. Systemy wizualizacji Elgór+Hansen

Firma Elgór + Hansen opracowała zintegrowany system monitoringu i wizualizacji EH-ATON, który może współpracować z wieloma systemami wizualizacji i sterowania procesami technologicznymi, takimi jak [E+H; Lubryka, 2015]:

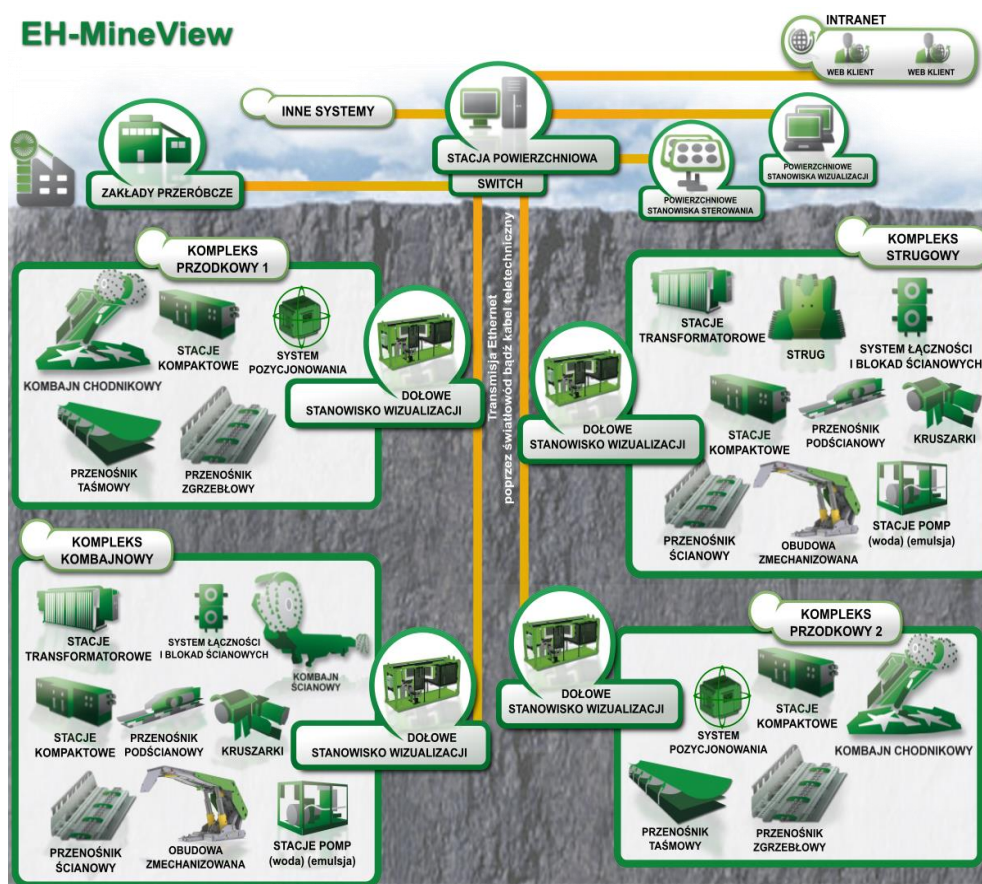
- EH-MineView - system wizualizacji kopalni,
- EH-WallView – system wizualizacji kompleksów wydobywczych,
- EH-WallControll - system sterowania kompleksem ścianowym,
- EH-SmartWall - system automatycznego sterowania kompleksem ścianowym,
- EH-PressCater Blue - system monitorowania ciśnienia sieci rurociągów ppoż.,
- EH-Wibro - system monitoringu i diagnostyki drgań,
- EH-HeadControl - system sterowania kompleksem przodkowym,
- EH-PressCater - system monitorowania podporności obudowy ścianowej,
- EH-APD1 - mikroprocesorowy układ automatyzacji przenośników.



Standardowe funkcje poszczególnych systemów o ogólnej nazwie firmowej EH-View obejmują m.in. [Lubryka, 2015]:

- możliwość tworzenia systemów teletransmisyjnych o dowolnej wielkości i złożoności oraz o łatwej skalowalności (szerokie możliwości rozszerzania systemu),
- plansze synoptyczne prezentujące w przejrzysty sposób stan pracy urządzeń elektroenergetycznych czy telekomunikacyjnych związanych z realizowanymi tam procesami technologicznymi wraz z możliwością określania trendów tych procesów (wizualna prezentacja zmiennych procesowych w postaci wykresów czasowych),
- alarmy – ostrzeżenia i informacje pozwalające na identyfikację problemów technicznych danego procesu technologicznego,
- system użytkowników – czyli wielopoziomowy dostęp do wybranych danych czy funkcjonalności systemu wizualizacji wraz z możliwością, rozproszenia wizualizację na wielu komputerach w pomieszczeniach różnych służb technicznych zakładu,
- łatwą możliwość integracji z innymi systemami telekomunikacyjnymi za pomocą typowych protokołów przemysłowych wymiany danych (m.in. OPC).

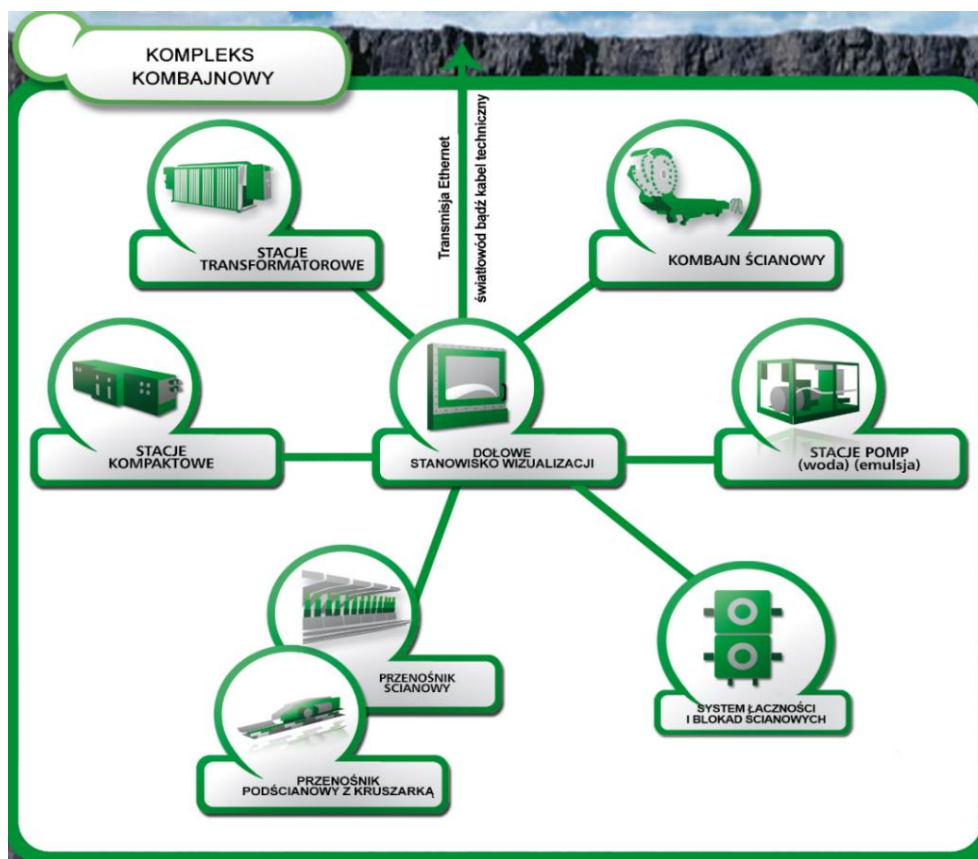
Na rysunku 8.25 pokazano ogólną strukturę systemu EH-MineView. Każdy z podstawowych lokalnych procesów technologicznych (kompleksy ścianowe, przodki itp.) posiada swoje dołowe, lokalne stanowisko wizualizacji (komputer w osłonie ognioszczelnej) a dane z dołowych stanowisk wizualizacji są przekazywane do serwerów na powierzchni i następnie prezentowane na powierzchniowych stanowiskach wizualizacji między innymi w dyspozytorni.



Rys. 8.25. Przykład struktury systemu EH-MineView dla zakładu górniczego



Na rysunku 8.26 pokazano strukturę systemu EH-WallView dla monitorowania kompleksu ścianowego. Do dolowego stanowiska wizualizacji są przyłączone stacje transformatorowe, wyłączniki kompaktowe, kombajn ścianowy, przenośniki ścianowy i podścianowy, kruszarka, stacje pomp oraz systemy łączności i blokad. Po uaktywnieniu ogólnej ikony urządzenia (np. kompleksu ścianowego) ukazują się dane szczegółowe wybranej maszyny czy urządzenia, co przykładowo przedstawiono na rysunku 8.27 (kompleks ścianowy ściany C3) oraz rysunku 8.28 (kombajn chodnikowy przodka N-1 w KWK Pniówek [Bieszczad, 2019]).



Rys. 8.26. Struktura systemu EH-WallView dla ściany eksploatacyjnej



Rys. 8.27. Przykład planszy wizualizacji EH-WallView



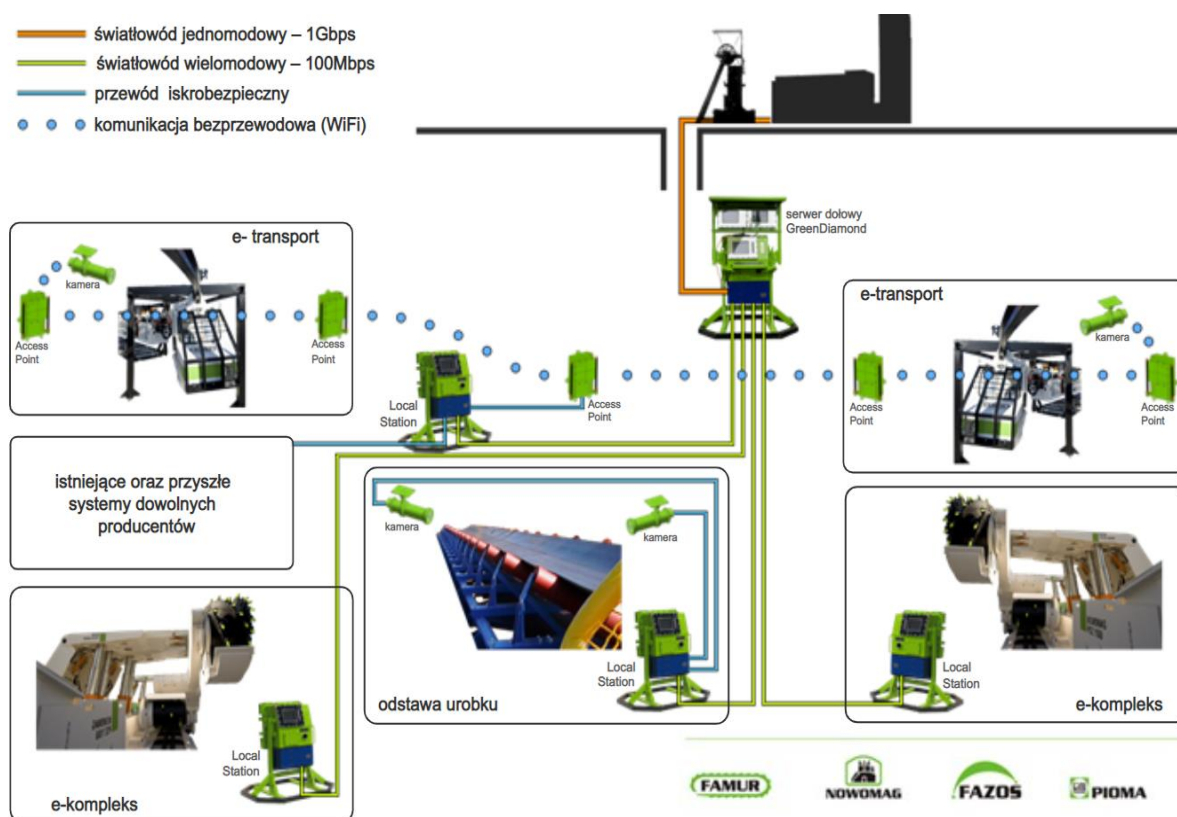
Rys. 8.28. Przykład planszy wizualizacji EH-HeadControl

### 8.4.8. Systemy wizualizacji FAMUR

Firma FAMUR opracowała system monitorowania i wizualizacji pod nazwą e-kopalnia. E-kopalnia to zestaw rozwiązań informatycznych i sprzętowych, który dla monitorowanych maszyn zapewnia:

- agregację, transmisję, wizualizację wraz z archiwizacją zebranych danych,
- analizę danych wraz generowaniem szczegółowych raportów,
- integrację z systemami innych producentów.
- System e-kopalnia zawiera wzajemnie uzupełniające się elementy, takie jak:
  - infrastruktura teletransmisyjna,
  - oprogramowanie SCADA wraz z systemami diagnostycznymi: np. bezprzewodowy system pomiaru ciśnienia FAMAC RSPC, iskrobezpieczny system wibrodiagnostyki FAMAC VIBRO,
  - systemy telewizji przemysłowej.

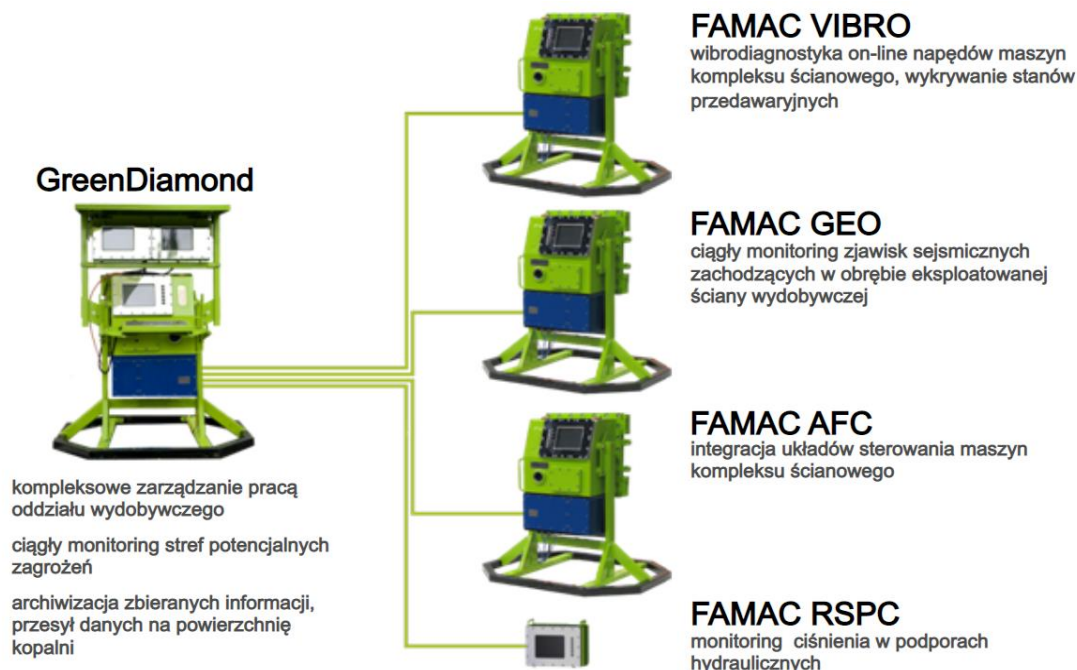
Na rysunku 8.29 pokazano schemat blokowy struktury systemu e-kopalnia [FAMUR]. Każdy lokalny system monitorowania: e-kompleks, e-transport, odstawa urobku, posiada dołowe lokalne stanowisko wizualizacji i sterowania (Local Station). Poszczególne lokalne stanowiska przekazują dane do dołowego serwera GreenDiamond i dalej na powierzchnię do serwera i stanowisk wizualizacyjnych w dyspozytorni.



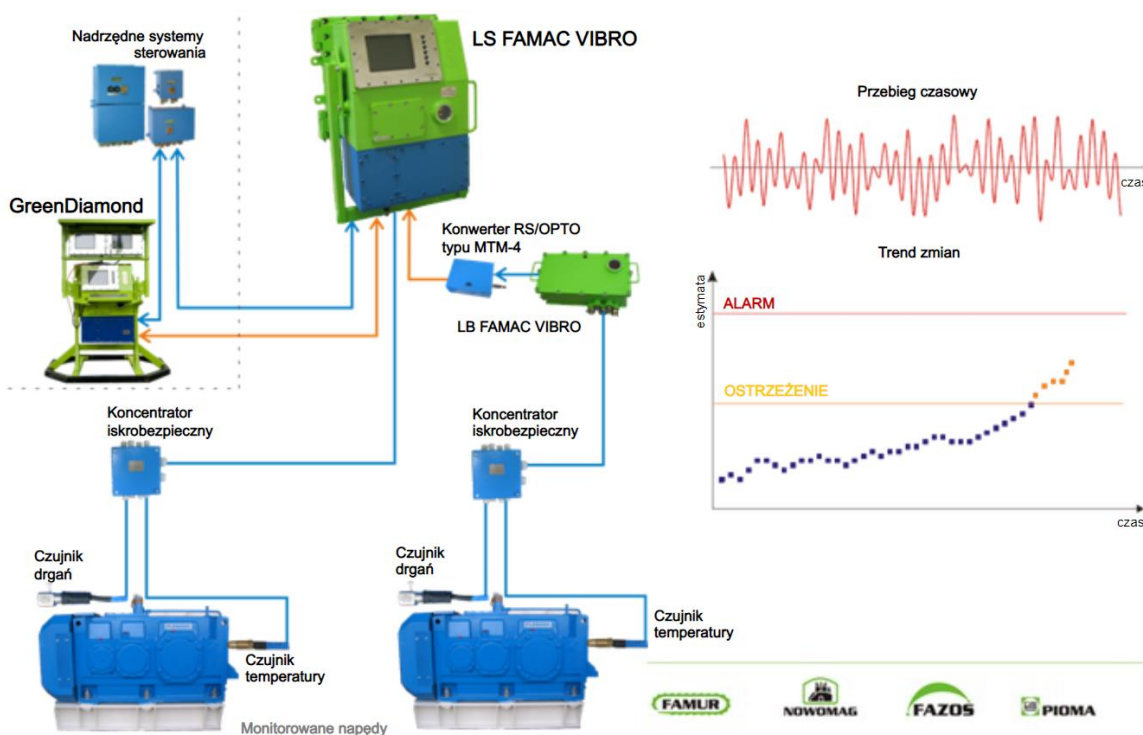
Rys. 8.29. Schemat blokowy systemu monitorowania i wizualizacji e-kopalnia

Do serwera dołowego mogą być dołączone lokalne inne systemy, takie jak system wibrodiagnostyki FAMAC VIBRO, system monitorowania zjawisk sejsmicznych FAMAC GEO,

co pokazano na rysunku 8.30 [FAMUR]. Na rysunku 8.31 przedstawiono schemat blokowy systemu diagnostycznego FAMAC VIBRO [Kępski, 2012]. W systemie FAMAC VIBRO diagnostyka maszyn wykorzystuje pomiar temperatury maszyn oraz pomiar drgań maszyn, wykonywane akcelerometrem.



Rys. 8.30. Schemat blokowy systemów diagnostycznych w kompleksie ścianowym



Rys. 8.31. Schemat blokowy systemu FAMAC VIBRO

#### 8.4.9. System wizualizacji MonSteer-D

System wizualizacji **MonSteer-D** został opracowany przez firmę TRANZ-TEL. Zadaniem systemu jest rejestracja i przechowywanie danych (sygnałów) cyfrowych i analogowych opisujących stan obiektu oraz ich prezentacja w konfigurowalnym środowisku graficznym. System jest dostosowany do wymogów obsługi dyspozytorskiej zakładu górniczego i w szczególności umożliwia:

- wyświetlanie schematów technologicznych i wentylacyjnych z naniesionymi stanami pomiarowymi czujników,
- wyświetlenie historii pomiarów czujników analogowych i dwustanowych, a także dostęp do historycznych definicji plansz wizualizacyjnych,
- definiowanie sygnałów wewnętrznych i alarmowych na bazie funkcji logicznych i arytmetycznych, wraz z analizą i prezentacją sytuacji alarmowych (ostrzegawczych i awaryjnych z możliwością ich komentowania),
- kompletny log informacyjny (z uwzględnieniem czasu i osoby odpowiedzialnej) wszystkich operacji w systemie oraz elastyczną definicję wszystkich elementów prezentacyjnych (plansze, symbole, sygnalizacja) i logiki systemu (źródła sygnałów, sygnały, alarmy, agregacja historii).

Konfiguracja systemu MonSteer-D jest opisana w bazie danych zawierającej między innymi:

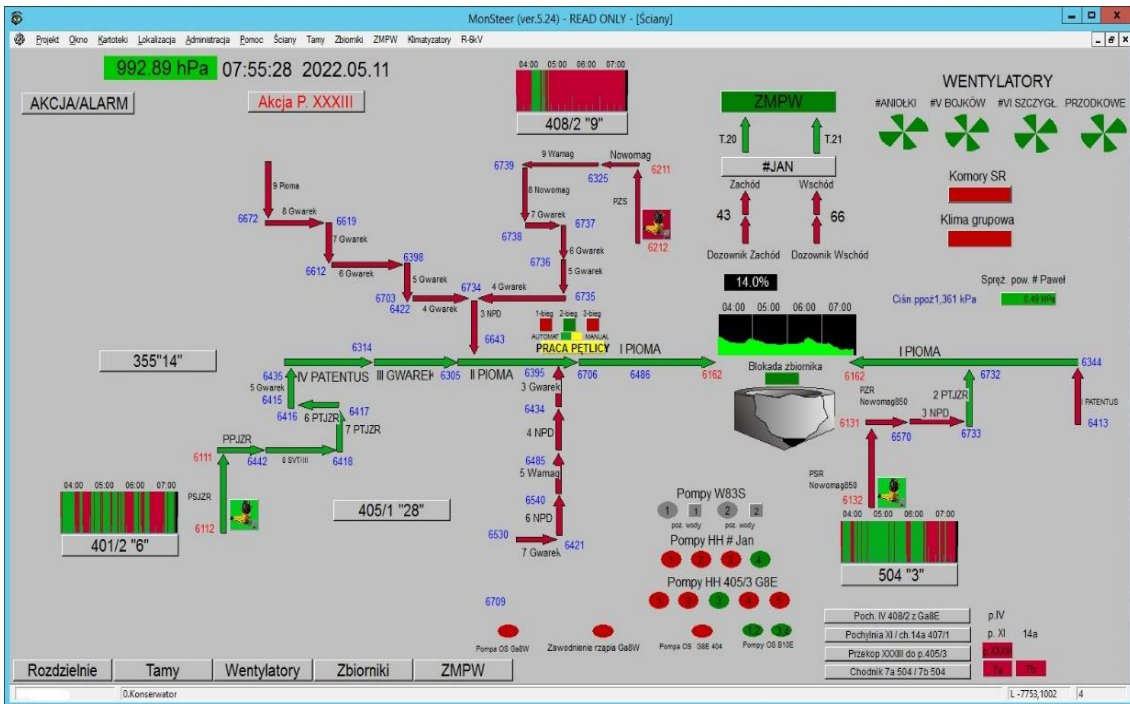
- definicje sygnałów – źródła sygnałów, struktura sygnałów, identyfikacja, zasady interpretacji i przekształceń danych (sygnały wyliczane) oraz przechowywania danych historycznych i komunikatów,
- definicje plansz – struktura obiektów wizualizacji zgrupowanych w projekcie (lub kilku projektach), szczegółowe atrybuty obiektów definiujące ich wygląd i/lub zachowanie,
- dane administracyjne – struktura użytkowników i uprawnień, konfiguracja instalacji.

Na rysunkach: 8.32-8.34 pokazano przykłady plansz z systemu MonSteer-D prezentujących:

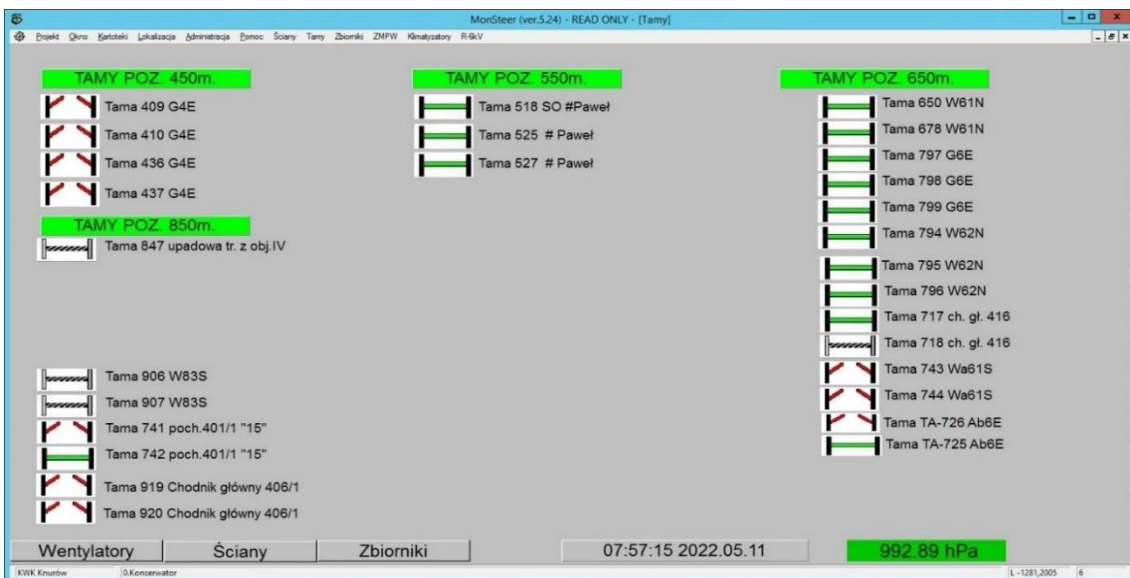
- a) wizualizację stanu pracy ścian i całego transportu przenośnikowego na jednym poziomie w kopalni Knurów, (rys. 8.32),
- b) stan tam kopalnianych na poszczególnych poziomach (rys. 8.33),
- c) wskazań czujników gazometrycznych w rejonie ściany (A – anemometr, M – metanomierz, C – czujnik tlenku węgla, Tl – tlenomierz, CRC – czujnik różnicy ciśnień) oraz numery telefonów i sygnalizatorów alarmowych w tym rejonie, (rys. 8.34).

System MonSteer-D jest również stosowany dla wizualizacji systemów łączności radiowej z przewodem promieniującym MCA1000 (MCA1000digi), a także systemu lokalizacji strefowej ARGUS firmy TRANZ-TEL.

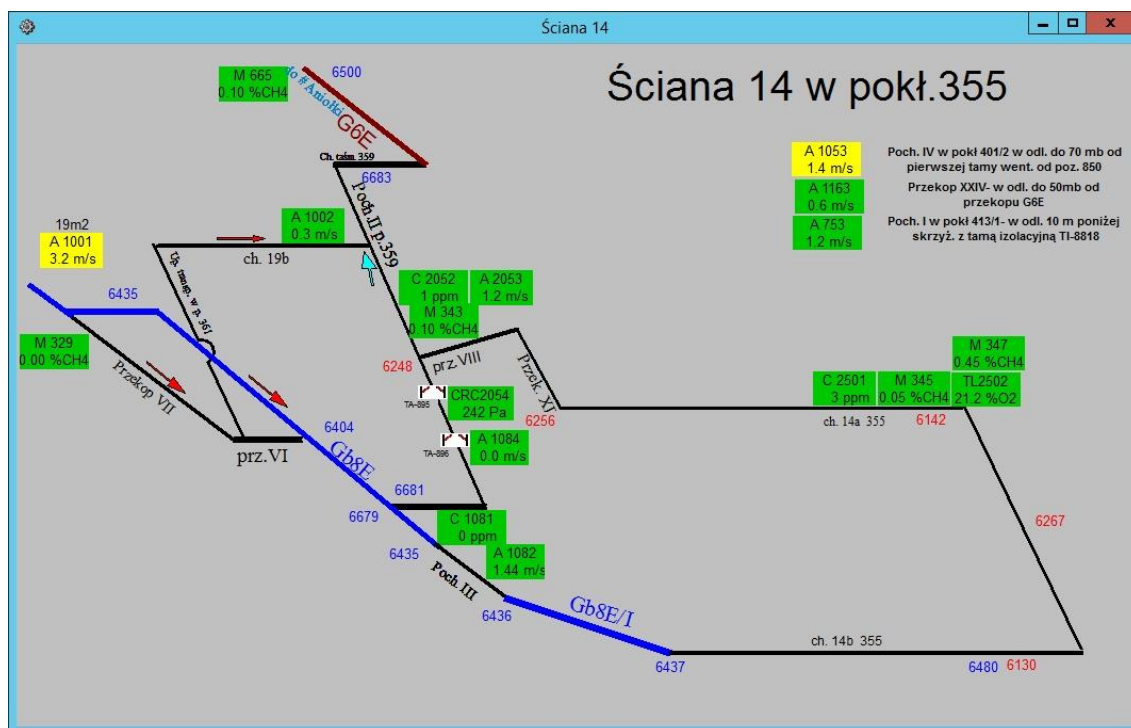




Rys. 8.32. Przykład planszy systemu MonSteer-D - wizualizacja transportu przenośnikowego



Rys. 8.33. Plansza systemu MonSteer-D - wizualizacja tam kopalnianych na kilku poziomach



Rys. 8.34. Plansza systemu MonSteer-D - wizualizacja wskazań czujników w rejonie ściany

W JSW S.A. system ten jest podstawowym systemem wizualizacyjnym w dyspozytorni zakładowej KWK Knurów.

#### 8.4.10. System wizualizacji Hades

Hades jest systemem SCADA opracowanym na potrzeby zakładów górniczych JSW S.A. w oparciu o platformę programową Asix Evo firmy Ascom. System Hades realizuje następujące funkcje:

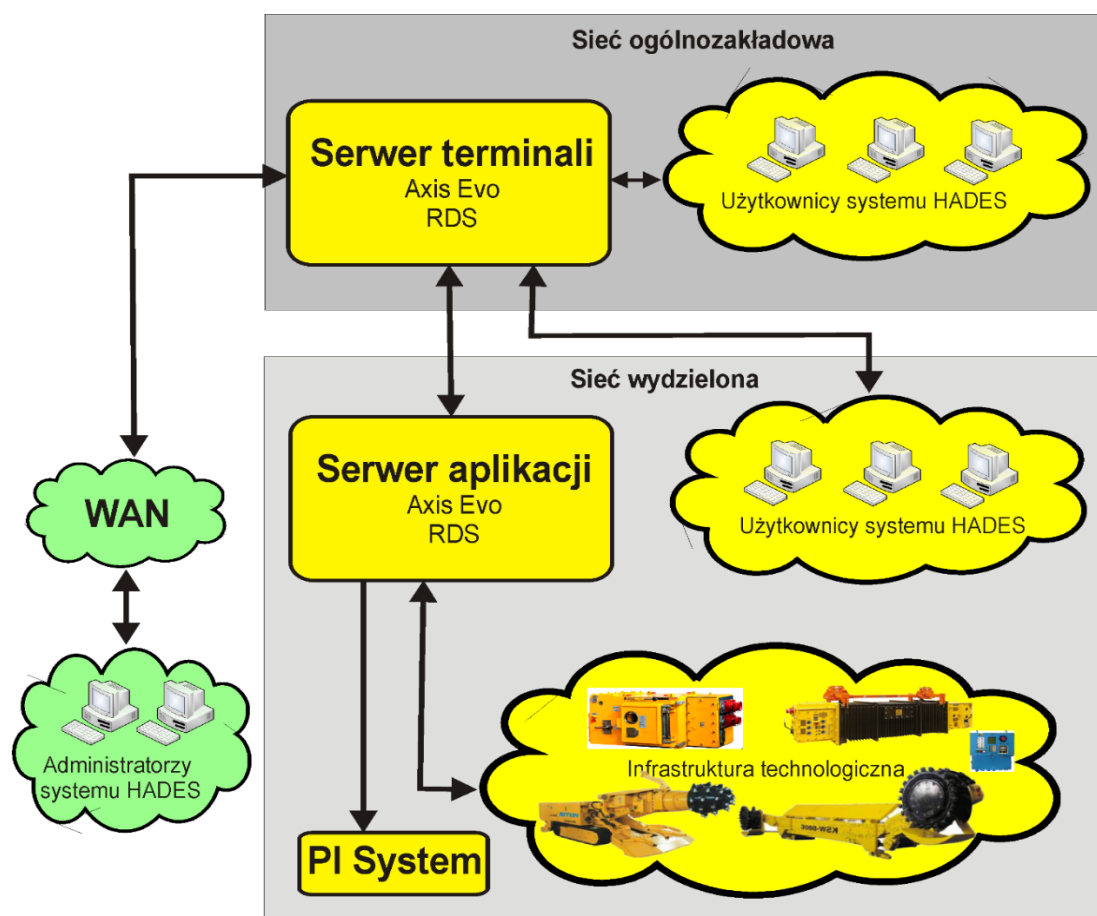
- akwizycja danych pomiarowych z urządzeń i innych systemów,
- wizualizacja procesów technologicznych,
- sterowanie procesami technologicznymi,
- alarmowanie o zdarzeniach,
- archiwizacja danych oraz analiza danych archiwalnych i ich raportowanie,
- przesyłanie danych do systemów klasy MES, ERP oraz analiz biznesowych,
- udostępnianie danych do pakietu MS Office (Excel).

System Hades zawiera:

- maszynę wirtualną wykorzystaną jako serwer aplikacji z zainstalowanym oprogramowaniem Asix oraz Microsoft SQL Server,
- maszynę wirtualną wykorzystaną jako serwer terminali z zainstalowanym oprogramowaniem Asix z licencją RDS (ang. Remote Desktop Services),
- stanowiska użytkowników (a także administratorów), czyli stacje komputerowe podłączone do infrastruktury sieciowej, które umożliwiają dostęp do systemu Hades poprzez przeglądarkę internetową Internet Explorer lub usługę RemoteApp.



Architektura systemu Hades jest przedstawiona na rysunku 8.35.



Rys. 8.35. Architektura systemu HADES

Komunikacja sieciowa wymagana jest do akwizycji danych z urządzeń, będących źródłami pomiarów, w celu ich dalszego przetwarzania, archiwizacji i udostępnienia danych procesowych do wizualizacji oraz sterowania. Sterowanie elementami wykonawczymi automatyki jest możliwe za pośrednictwem komunikacji szeregowej lub przez sieci Ethernet z wykorzystaniem protokołów zaimplementowanych w systemie Hades.

Akwizycję danych pomiarowych z urządzeń technologicznych realizuje oprogramowanie zainstalowane na serwerze aplikacyjnym. Komunikacja odbywa się przez sieć LAN za pomocą protokołów automatyki przemysłowej, takich jak OPC DA lub UA, Modbus TCP/IP, S7 Communication lub Profinet oraz innych natywnych protokołów dostępnych w systemie Hades. W przypadku protokołów automatyki przemysłowej opartych na protokołach TCP/IP wykorzystywana jest sieć zakładowa lub sieci WAN JSW. Akwizycja z urządzeń końcowych w przypadku komunikacji szeregowej odbywa się za pośrednictwem mediakonwerterów lub konwerterów odpowiednich protokołów.

Pomiędzy stanowiskami użytkowników a serwerem aplikacyjnym wymiana danych realizowana jest pośrednio przez serwer terminali RDS z wykorzystaniem protokołów: HTTPS, Asix Network, RDP (RemoteApp) i portów 443, 6000, 47868 protokołu TCP/IP. Przepływ danych pomiędzy stanowiskami użytkowników w sieci ogólnozakładowej jest filtrowany przez zaporę sieciową. System Hades ma możliwość przesyłania danych do systemu PI System

w Centrum Zaawansowanych Analiz Danych (CZAD), w celu dalszej analizy danych procesowych. W zależności od wymaganego protokołu wymiany, konfiguracja serwera aplikacyjnego udostępnia dane procesowe do PI System poprzez protokół OPC UA lub Modbus TCP/IP.

Korzystanie z systemu Hades przez użytkownika wymaga uwierzytelnienia (potwierdzenia tożsamości przez podanie hasła skojarzonego z kontem) a dostęp do odpowiednich zasobów i możliwość wykonywania pewnych operacji wymaga autoryzacji, czyli sprawdzenia uprawnień uwierzytelnionego użytkownika. Autoryzacja jest związana z nadaniem użytkownikowi odpowiedniej roli. W systemie zdefiniowano następujące role:

- obserwator – możliwość podglądu plansz aplikacji,
- operator - możliwość podglądu plansz aplikacji, alarmów i blokad, zmiana opisów,
- administrator lokalny - możliwość podglądu plansz aplikacji, możliwość sterowania urządzeniami, kasowanie alarmów i blokad, zmiana opisów, edycja użytkowników i ich uprawnień,
- administrator - możliwość podglądu plansz aplikacji, możliwość sterowania urządzeniami, kasowanie alarmów i blokad, zmiana opisów, edycja użytkowników i ich uprawnień, edycja plansz wizualizacji, bazy zmiennych, dodawanie kolejnych urządzeń.

W systemie Hades wykonywane są kopie zapasowe serwerów: dzienne, tygodniowe i miesięczne. Dzielne kopie zapasowe są wykonywane cyklicznie w godzinach nocnych i przechowywane są przez okres dwóch tygodni. Tygodniowe kopie zapasowe są wykonywane w weekend i przechowywane przez okres miesiąca. Miesięczne kopie zapasowe są wykonywane w pierwszy weekend miesiąca i przechowywane przez okres trzech miesięcy.

## 8.5. Infrastruktura IT/OT w JSW S.A.

Rozdział został opracowany na podstawie dokumentu pt. „Polityka Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. w zakresie zarządzania architekturą i infrastrukturą techniczną systemów IT/OT” [Polityka, 2020]. Dokument ten uchwałą z października 2020 r. został przyjęty i zatwierdzony do stosowania między innymi we wszystkich zakładach górniczych JSW.

Zwiększenie efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń w procesach wydobywczych oraz zwiększeniem bezpieczeństwa pracy załóg górniczych pod ziemią spowodowało realizację następujących zmian w infrastrukturze IT/OT JSW [Kwaśnica]:

- utworzenie CZAD w strukturach Biura Zarządu,
- utworzenie Oddziałów Automatyki (EDA) w strukturach wszystkich kopalń,
- opracowanie i wdrożenie Centralnego Serwera Danych Technologicznych (CSDT),
- rozbudowa systemów monitoringu parametrów pracy maszyn i urządzeń w obszarach infrastruktury sieciowej i urządzeń automatyki,
- standaryzacja rozwiązań w obszarach IT/OT.

### 8.5.1. Standardy architektury

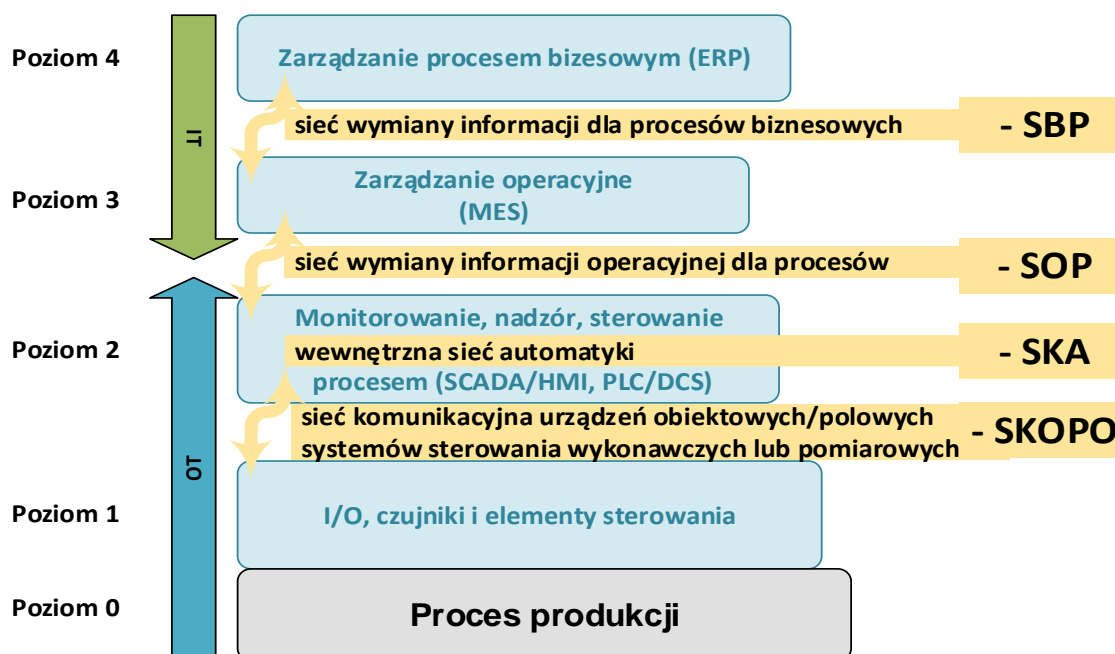
Rozbudowaną zintegrowaną strukturę systemu informatycznego przedsiębiorstwa można przedstawić w postaci pięciu poziomów [PN-EN 62264], co pokazano na rysunku 8.36.

Poziom 0 obejmuje maszyny i urządzenia realizujące procesy produkcyjne. Poziom 1 zwany poziomem obiektowym obejmuje urządzenia aparatury obiektowej, urządzenia wykonawcze i systemy pomiarowe. Między poziomem 1 i 2 funkcjonuje sieć komunikacyjna urządzeń obiektowych SKOPO (*ang. Communication Network of Devices of Object-Oriented Control or Measuring Systems*).

Poziom 2A obejmuje systemy sterowania z zastosowaniem sterowników programowalnych PLC (*Programmable Logic Controller*) oraz względnie w rozproszonym systemie sterowania DCS (*Distributed Control System*). Systemy powinny udostępniać interfejs komunikacyjny z wykorzystaniem następujących standardów:

- Modbus RTU na łączach RS485,
- Modbus TCP/IP lub OPC na łączach Ethernet.

Między poziomem 2A i 2B funkcjonuje wewnętrzna sieć automatyki SKA (*ang. Internal Automation Network*).



Rys. 8.36. Poziomy wymiany informacji wg PN-EN 62264

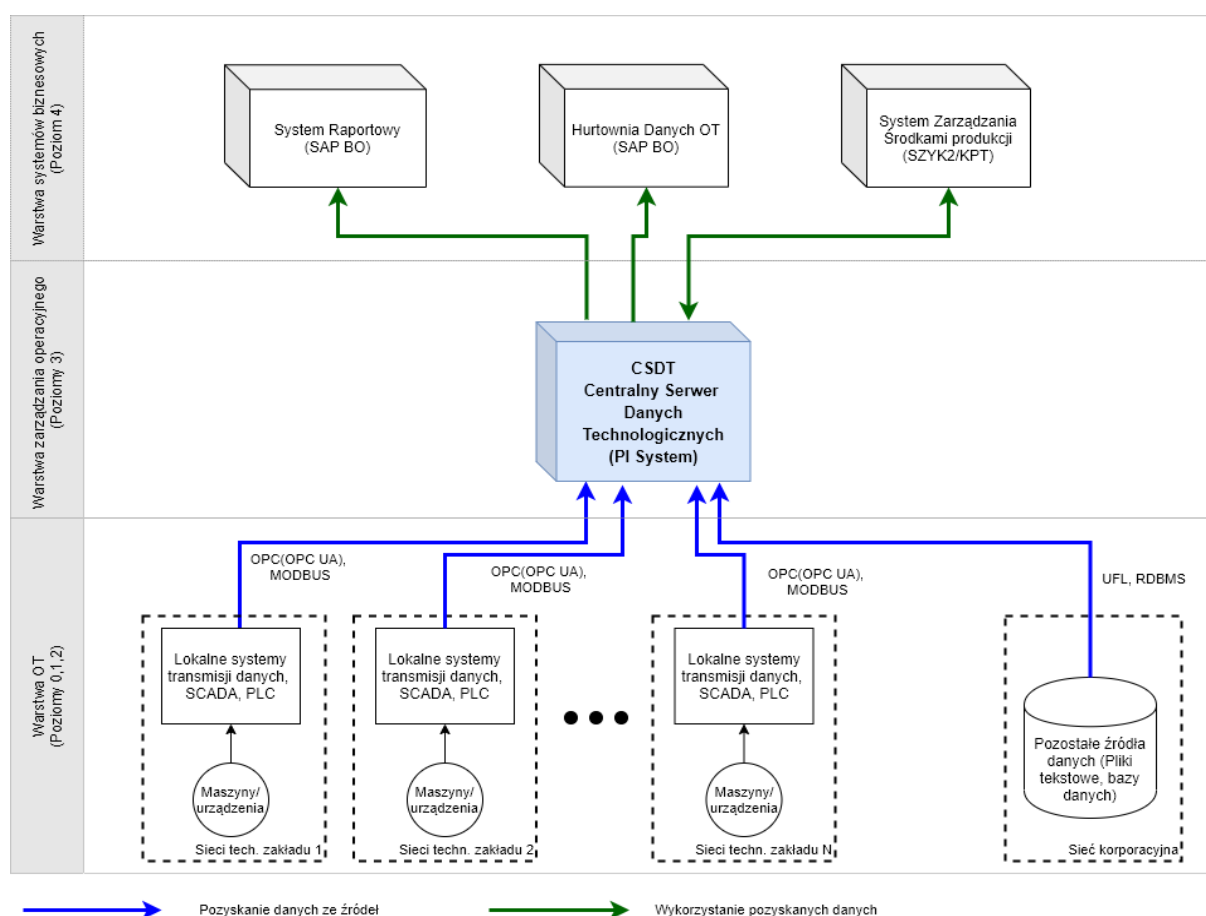
Poziom 2B obejmuje zarządzanie i wizualizację procesu technologicznego z wykorzystaniem systemów SCADA. Systemy te umożliwiają obsługę następujących protokołów:

- Modbus RTU oraz TCP,
- OPC (UA),
- TCP/IP.

Między poziomem 2 i 3 funkcjonuje sieć wymiany informacji dla procesów SOP (*Standard Operating Procedure*). Poziom 3 zwany poziomem operacyjnym (MES – *Manufacturing Execution System* – system realizacji produkcji) obejmuje zarządzanie procesami produkcyjnymi, monitorowanie awarii i przestojów oraz utrzymanie ruchu maszyn, a także organizację przeglądów i serwisów. Między poziomem 3 i 4 funkcjonuje sieć wymiany informacji dla procesów biznesowych SBP (*Standard Business Process*).

Poziom 4 zwany biznesowym (ERP – *Enterprise Resource Planning*) obejmuje zarządzanie biznesowe przedsiębiorstwa. Model wymiany danych między poszczególnymi warstwami dla systemu OT/IT JSW S.A. pokazano na rysunku 8.37.

W warstwach OT (poziomy 0, 1, 2) znajdują się maszyny i urządzenia wraz ze sterownikami, systemami transmisji danych i systemami monitorowania SCADA, a także pozostałe źródła danych z sieci korporacyjnej. Dane z warstwy OT są przekazywane do warstwy zarządzania operacyjnego (poziom 3), którego głównym elementem jest centralny serwer danych technologicznych CSDT. Przekazywanie danych z lokalnych systemów SCADA do serwera CSDT odbywa się z wykorzystaniem protokołów MODBUS lub OPC (OPC UA). Natomiast przekazywanie danych z innych źródeł sieci korporacyjnej odbywa się z wykorzystaniem systemu RDBMS (*Relational DataBase Management System* – system zarządzania relacyjną bazą danych) i interfejsów UFL (*Universal File and Stream Loading*).



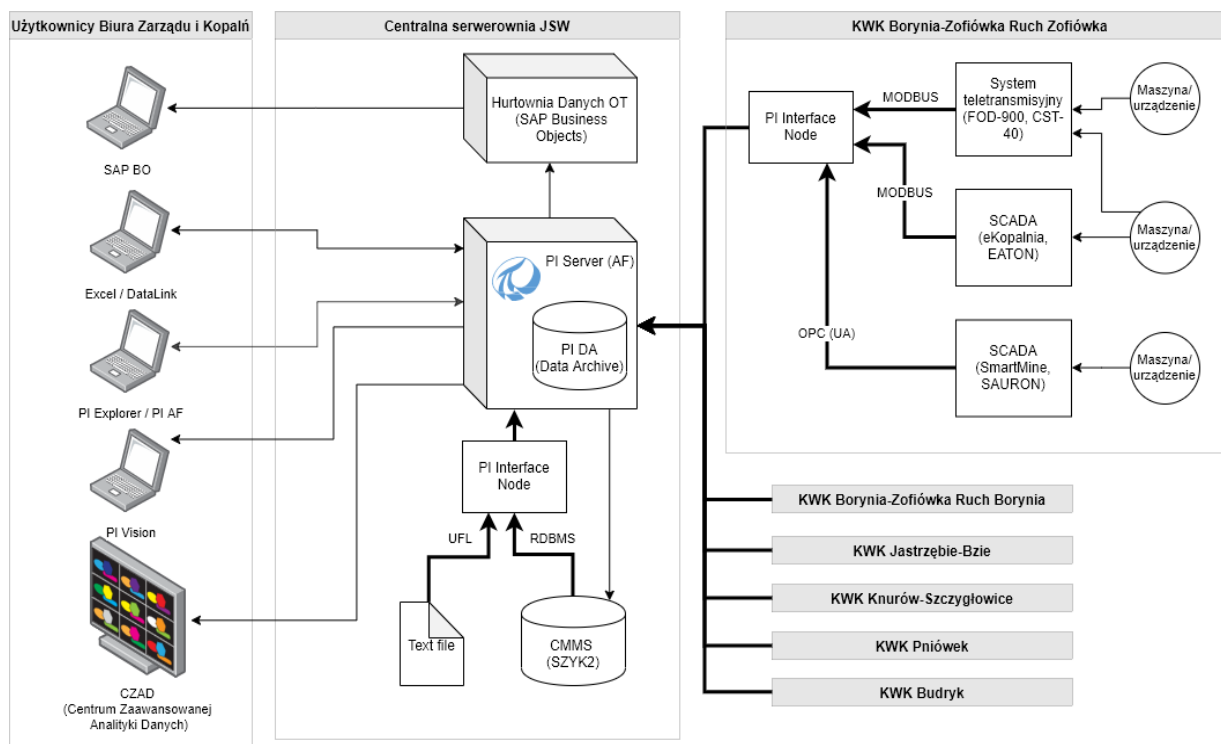
Rys. 8.37. Model wymiany danych w systemach OT/IT przedsiębiorstwa

W warstwie systemów biznesowych znajduje się system raportowy (SAP BO), hurtownia danych OT (SAP BO) oraz system zarządzania środkami produkcji (SZYK2/KTP).

Dla realizacji CSDT wybrano PI System, czyli produkt firmy OSIsoft, umożliwiający przetwarzanie informacji pochodzących z kilkuset tysięcy urządzeń rejestrujących w czasie rzeczywistym (PI DA). To jeden z systemów klasy historian, przetwarzający dane w postaci szeregów czasowych, które można zapisywać z dowolną, ustaloną przez użytkownika

częstotliwością, a także przechowywać w dowolnie długim czasie, co odróżnia go od systemów SCADA.

Dla celów pozyskiwania danych z systemów źródłowych zastosowano pięć typów interfejsów, takich jak: OPC, OPC UA, MODBUS, RDBMS i UFL, które umożliwiają buforowanie danych (PI Node Interface) na wypadek utraty połączenia. Podstawowe elementy architektury CSDT pokazano na rysunku 8.38.



Rys. 8.38. Podstawowe elementy architektury CSDT

### 8.5.2. Architektura infrastruktury OT – protokoły

W warstwie transmisji danych dla urządzeń końcowych, kopalnie wykorzystują następujące standardy:

- Modbus RTU dla łączy RS-485,
- Modbus TCP w ramach sieci pakietowej TCP/IP,
- OPC – wersja OPC UA.

W przypadku połączenia urządzenia końcowego łączem RS485 stosuje się protokół Modbus RTU o przepływności 9600 bps. Dostawca urządzenia końcowego zawsze dostarcza pełną specyfikację budowy ramki protokołu Modbus RTU.

W przypadku połączenia urządzenia końcowego siecią TCP/IP stosuje się protokół Modbus TCP. Modbus TCP jest niezależny od warstwy fizycznej i współpracuje z protokołem Ethernet TCP/IP, standardowo wykorzystując port 502. Umożliwia również transmisję danych w sieciach Wi-Fi, GPRS lub Bluetooth.

W przypadku gdy urządzenie końcowe zawiera serwer OPC można go bezpośrednio podłączyć do sieci Ethernet, która umożliwia transport danych z serwera OPC do systemów SCADA lub innych (rys. 8.39).

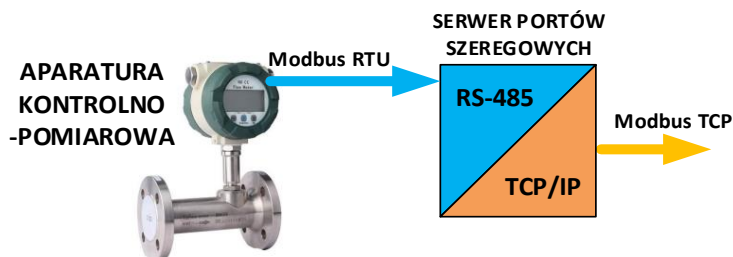


Rys. 8.39. Podłączenie urządzenia z własnym serwerem OPC

W przypadku, gdy urządzenie końcowe nie zawiera serwera OPC, są możliwe dwa rozwiązania:

- Wariant A - wykorzystanie ramki protokołu Modbus, umożliwiającej udostępnienie danych nadrzędnemu systemowi SCADA z mechanizmem OPC Server.
- Wariant B - zastosowanie dedykowanego serwera OPC, stanowiącego interfejs pomiędzy urządzeniem końcowym a systemami SCADA, w celu udostępniania danych z oprogramowania nadrzędnego.

W wariacie A parametry pracy dowolnych maszyn i urządzeń, powinny być przesyłane bezpośrednio do sieci Ethernet lub przez urządzenia przetwarzające (koncentrator danych lub serwer portów szeregowych). Wykorzystuje się wtedy ramkę protokołu Modbus, umożliwiającą udostępnienie danych nadrzędnemu systemowi SCADA z mechanizmem OPC Server. Przykładowe rozwiązanie pokazano na rysunku 8.40.



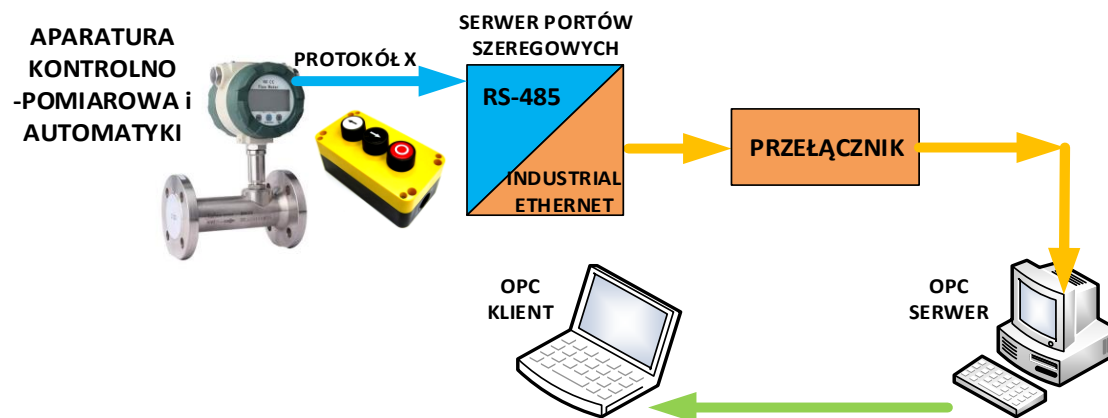
Rys. 8.40. Urządzenia bez własnego serwera OPC - wariant A

W wariacie B dopuszczono zastosowanie dedykowanego serwera OPC, stanowiącego interfejs pomiędzy urządzeniem końcowym systemami SCADA, w celu udostępniania danych. Tego rodzaju rozwiązanie jest rekomendowane w przypadku, gdy:

- nadrzędne oprogramowanie w warstwie operacyjnej jest dedykowane do obsługi danego obiektu lub procesu, realizuje zaawansowane funkcje obliczeniowe, kontrolne bądź wizualizacyjne (DCS, SoftPLC),
- urządzenia stanowiące źródła danych w warstwie procesowej nie posiadają możliwości udostępniania danych w standardzie OPC,
- urządzenia stanowiące źródła danych są trwale zintegrowane w sposób sprzętowy

z systemem nadrzędnym w warstwie operacyjnej.

Oprogramowanie (dostarczone wraz z urządzeniem), prezentujące dane za pomocą enkapsulacji własnych protokołów przez urządzenia przetwarzające (koncentrator danych lub serwer portów szeregowych), na bazie istniejącej infrastruktury sieciowej, udostępnia dane na potrzeby innych systemów w postaci OPC Serwera. Przykładowe rozwiązanie pokazano na rysunku 8.41.



Rys. 8.41. Urządzenia bez własnego serwera OPC - wariant B

### 8.5.3. Wymagania formalne dotyczące sieci IT/OT

Zapisy Rozporządzenia Ministra Energii [RME, 2016] wskazują następujące systemy wymagające szczególnego zabezpieczenia (§ 750, punkt 1):

- ogólnozakładowa łączność telefoniczna oraz alarmowa,
- gazometria,
- lokalizacja pracowników,
- monitorowane zagrożenia tapaniami.

Z uwagi na traktowanie ich jako krytyczne dla pracy kopalni, w JSW S.A. zdefiniowano następujące szczegółowe wymagania dotyczące zabezpieczenia i dostępu do danych z tych systemów:

- eksploatowane w **firmowej sieci komputerowej** ww. systemy oraz inne systemy technologiczne z powodów zapewnienia bezpieczeństwa oraz zgodności z obowiązującymi przepisami umieszczają się w separowanych logicznie sieciach,
- za pomocą **zapory sieciowej** (*ang. firewall*) blokuje się ruch wychodzący i przychodzący do sieci tych systemów za wyjątkiem ruchu wychodzącego do elementów sieciowych umieszczonych w sieci firmowej, które mają na celu zapewnienie tym systemom możliwość rozwiązywania nazw DNS oraz synchronizację czasu NTP,
- za pomocą **zapory sieciowej** dopuszczony jest jedynie ruch po ściśle określonym protokole warstwy L4 modelu ISO/OSI, wymagany do przesłania danych do **punktu dostępu** (np. Modbus TCP),
- rekomenduje się, aby serwery zabezpieczanych systemów (określonych w paragrafie 750 pkt.1) posiadały dedykowany interfejs sieciowy (logiczny lub fizyczny), do którego będą



kierowane zapytania,

- dostęp realizowany z **punktów dostępu** do systemów (określonych w par. 750 pkt.1) jest możliwy wyłącznie po uzyskaniu zgody Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego, która precyzyjnie określa udostępniony system, zakres oraz cel udostępnienia, jak również **punkt dostępu**, przy czym:
  - dostęp realizowany jest wyłącznie ze wskazanych **punktów dostępu** oraz po zalogowaniu za pomocą hasła (lub użytkownika i powiązanego z nim hasła),
  - autoryzacja w zależności od umiejscowienia **punktu dostępu** przeprowadzana jest w **zaporze sieciowej** dla **punktów dostępu** znajdujących się w obrębie **firmowej sieci komputerowej**.

JSW S.A. jako przedsiębiorca wydobywający węgiel kamienny jest tzw. operatorem usługi kluczowej i z tego względu musi spełniać wymagania Ustawy o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa [KSC, 2018]. Nadzór nad systemami OT w celu zapewnieniem zgodności z tą ustawą pełni JSW IT Systems.

Zapewnienie cyberbezpieczeństwa w sieciach IT/OT JSW jest bardzo istotne ze względu na konieczność ciągłego funkcjonowania kopalnianych systemów łączności, alarmowania, gazometrii. O konsekwencjach udanego ataku cybernetycznego świadczy zdarzenie w Ostrawsko Karwińskich Kopalniach (OKD). W grudniu 2019 r. doszło do ataku hakerskiego, który sparaliżował system dołowej łączności telefonicznej, system pomiaru stężenia metanu i tlenu węgla, monitoring odwadniania i wentylacji, wymusił ewakuację załogi oraz zaprzestanie wydobycia [Daniełka, 2020].

## 8.6. Standaryzacja infrastruktury IT

Dla potrzeb lepszego funkcjonowania sieci informatycznej w JSW S.A. opracowane zostały zasady standaryzacji infrastruktury IT. Obejmują one między innymi następujące obszary:

- strukturę serwerową i dostępność elementów krytycznych,
- interfejsy fizyczne,
- infrastrukturę pasywną oraz aktywną,
- sieć szkieletową,
- separację i filtrowanie dostępu do sieci wydzielonych,
- dostęp do wzorców czasu i serwerów DNS,
- realizację dostępu serwisowego do wydzielonych sieci komputerowych z zewnątrz.

### 8.6.1. Standaryzacja i dostępność infrastruktury serwerowej

Serwery oraz wirtualne desktopy są z reguły budowane jako zasoby wirtualne. W szczególnych przypadkach dopuszczono wdrożenie rozwiązań bezpośrednio na maszynach fizycznych. Całość sprzętu stanowiącego infrastrukturę serwerową jest dedykowana wyłącznie do celów IT/OT i jest zlokalizowana w lokalnej serwerowni kopalni. Zasoby serwerowe podlegają regularnym kopiom bezpieczeństwa.

Najważniejsze elementy infrastruktury IT/OT powinny być budowane w trybie wysokiej dostępności, którą uzyskuje się między innymi przez:

- zasilanie bezprzerwowe z użyciem zasilaczy UPS i agregatów prądowórczych,
- stosowanie podwójnych zasilaczy w urządzeniach, z możliwością wymiany pojedynczego modułu zasilającego podczas pracy urządzenia (Hot-Swap),
- zdublowanie elementów sieciowych,
- wykorzystanie protokołów wspierających redundancję.

### 8.6.2. Standaryzacja infrastruktury i interfejsów fizycznych

W infrastrukturze światłowodowej stosuje się kable światłowodowe jednomodowe, głównie kategorii OS1 lub OS2, zawierające min. 72 włókna w sieciach powierzchniowych i w szybach, 72, 36 lub 16 włókien w sieciach magistralnych oraz 12, 8, lub 4 włókna w sieciach oddziałowych. Infrastrukturę szkieletową w JSW S.A. buduje się w ten sposób, że najważniejsze ścieżki transmisji posiadają trasy alternatywne, umożliwiające szybkie (<50 ms) przełączenie ścieżki transmisyjnej z trasy uszkodzonej na trasę zapasową.

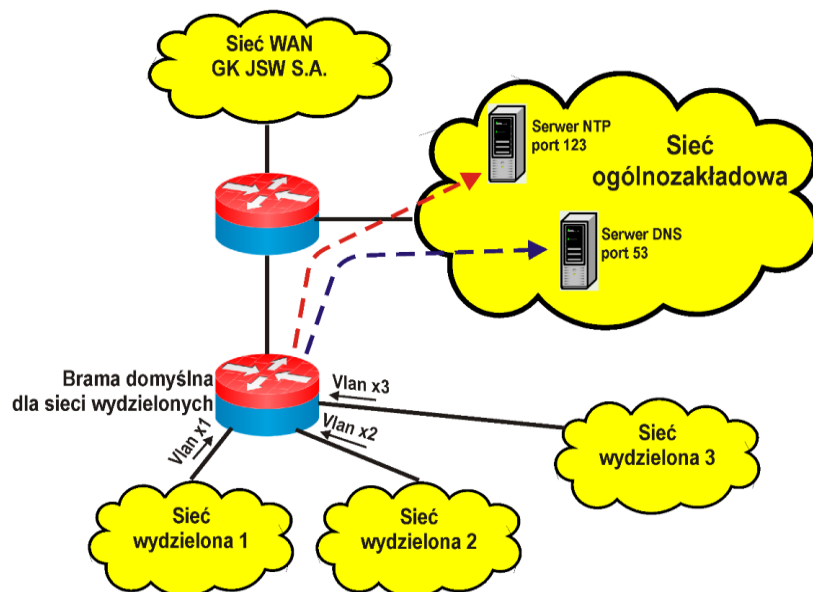
W JSW S.A. w fizycznych interfejsach przyłączeniowych stosuje się następujące standardy:

- interfejsy w przełącznicach światłowodowych - złącza SC/APC w wersji pojedynczej (simplex) i podwójnej (duplex),
- interfejsy w przełącznicach miedzianych: gniazda RJ-45 8P8C, standard połączeń TIA/EIA-568-B, kategoria okablowania minimum cat.5e (dla połączeń 100Mb/s),
- interfejsy w urządzeniach aktywnych sieci: miedziane RJ45 8P8C (minimum 100Base-T), światłowodowe LC/PC, gniazda do instalacji modułów optycznych: SFP, SFP+, QSFP, QSFP+,
- urządzenia montowane w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (wraz z przyłączami miedzianymi i/lub optycznymi) muszą mieć budowę przeciwybuchową (rozdział 6).

### 8.6.3. Separacja i filtrowanie dostępu do sieci wydzielonych

Każda lokalna infrastruktura systemu pracującego w sieci wydzielonej jest separowana za pomocą wirtualnych sieci VLAN oraz ściśle określonych podsieci IP. Komunikacja z sieciami wydzielonymi możliwa jest wyłącznie przez dedykowane urządzenia teleinformatyczne (ruter/zapora sieciowa/przełącznik L3) za pomocą reguł ACL określających sposób filtrowania ruchu. W związku z tym urządzenia komputerowe pracujące w sieciach wydzielonych mają możliwość konfiguracji karty sieciowej adresacją bezklasową IPv4 wraz ze zdefiniowaniem routingu statycznego (bramy sieci – *default gateway*).

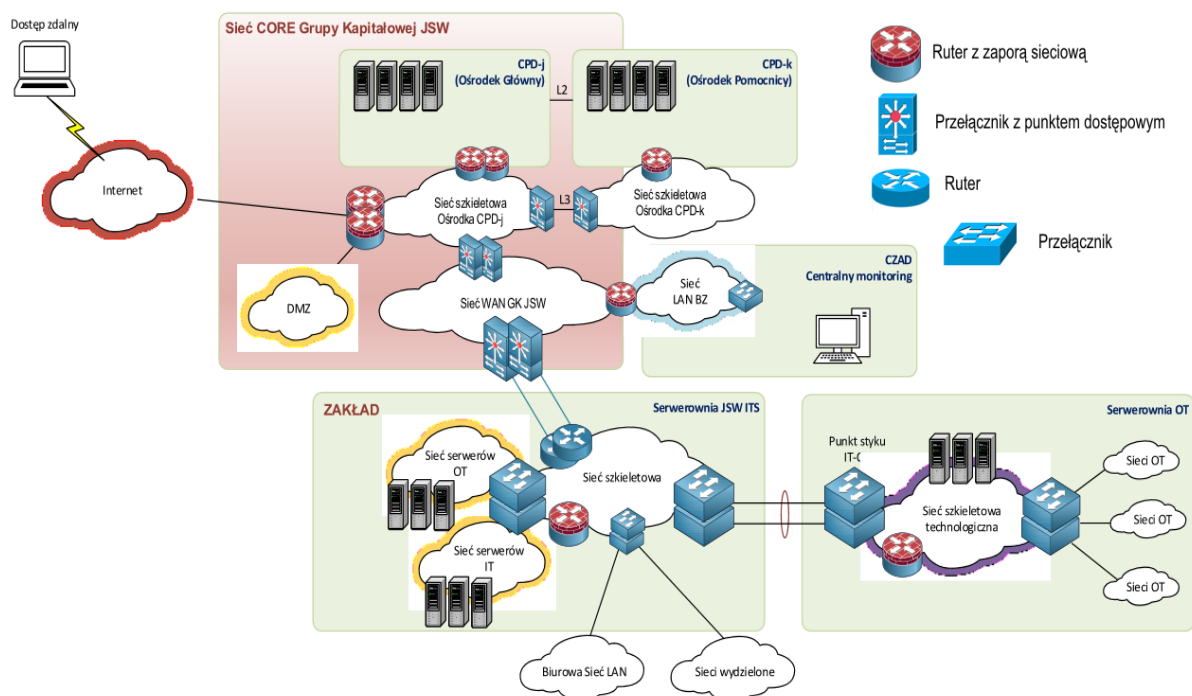
W sieciach ogólnozakładowych JSW znajdują się serwery NTP, które mają możliwość bezpośredniego synchronizowania czasu z serwerami referencyjnymi pracującymi w sieci publicznej, aż do warstwy STRATUM-2 lub STRATUM-3, a także serwery DNS. Komputery sieci wydzielonych synchronizują się z serwerami NTP sieci ogólnozakładowej przez zaporę sieciową sieci wydzielonych, co pokazano na rysunku 8.42.



Rys. 8.42 Realizacja dostępu do serwera wzorca czasu oraz serwera DNS z sieci wydzielonej

#### 8.6.4. Struktura sieci IT/OT JSW

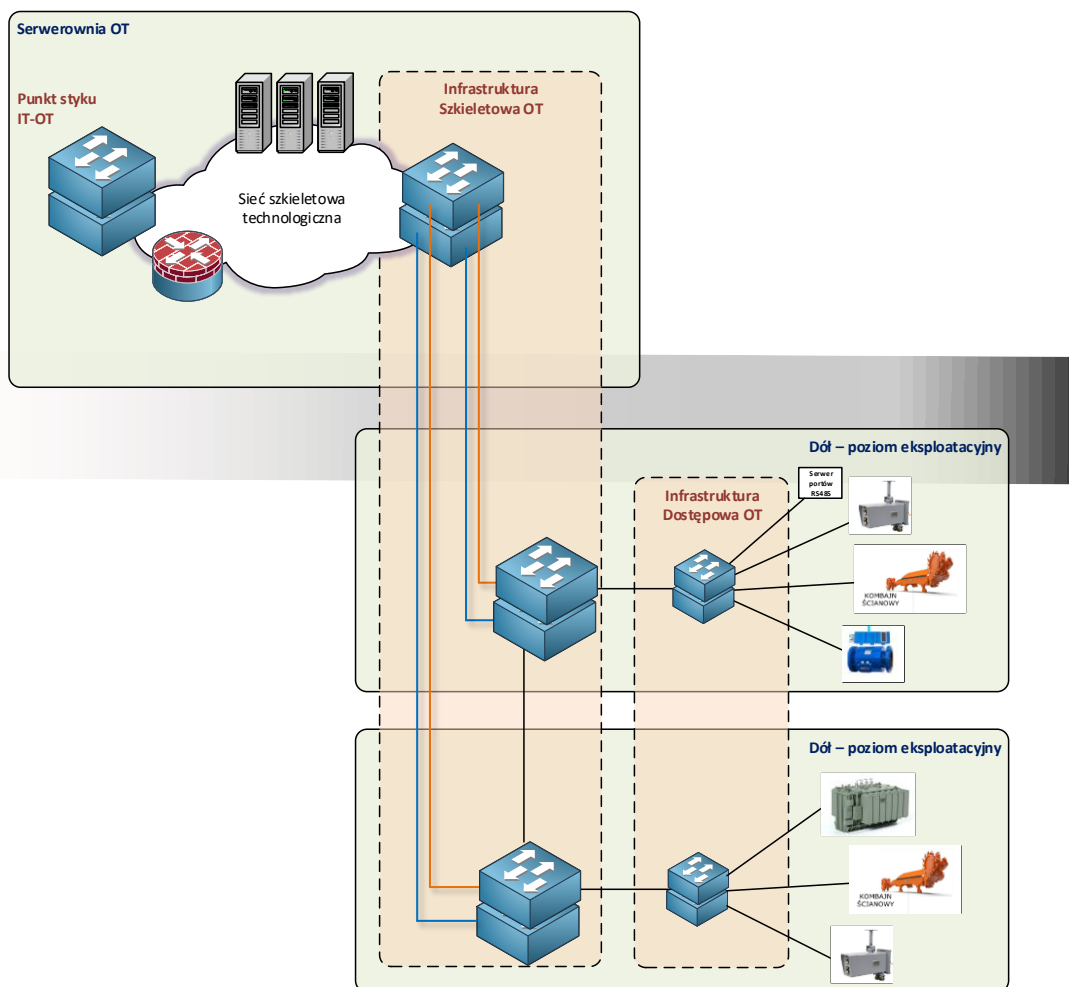
Struktura powierzchniowej części sieci IT/OT w JSW jest pokazana na rysunku 8.43. [Jordan, 2019].



Rys. 8.43. Uproszczona struktura sieci IT i powierzchniowej części sieci OT JSW

W każdym zakładzie JSW S.A. znajdują się serwerownie OT oraz serwerownia JSW ITS wraz z sieciami szkieletowymi oraz serwerami OT i IT. Do sieci szkieletowej serwerowni JSW ITS przyłączone są biurowa sieć LAN oraz poszczególne sieci wydzielone. W sieciach szkieletowych znajdują się stosy przełączników oraz routery z zaporami sieciowymi.

Poszczególne zakłady JSW S.A. są włączone do sieci WAN JSW za pośrednictwem przełączników z punktem dostępowym. Do sieci WAN JSW przyłączone są sieci szkieletowe dwóch centrów przetwarzania danych CPD (główny i pomocniczy) oraz sieć LAN Biura Zarządu. Do sieci LAN Biura Zarządu jest przyłączona sieć CZAD pełniąca między innymi rolę dyspozytorni energomechanicznej na szczeblu JSW S.A. Do sieci szkieletowej CPD poprzez routery z zaporami sieciowymi przyłączona jest sieć internet oraz strefa zdemilitaryzowana DMZ (*demilitarized zone*). Struktura części powierzchniowej i dołowej sieci OT kopalni jest pokazana na rysunku 8.44 [Jordan, 2019].

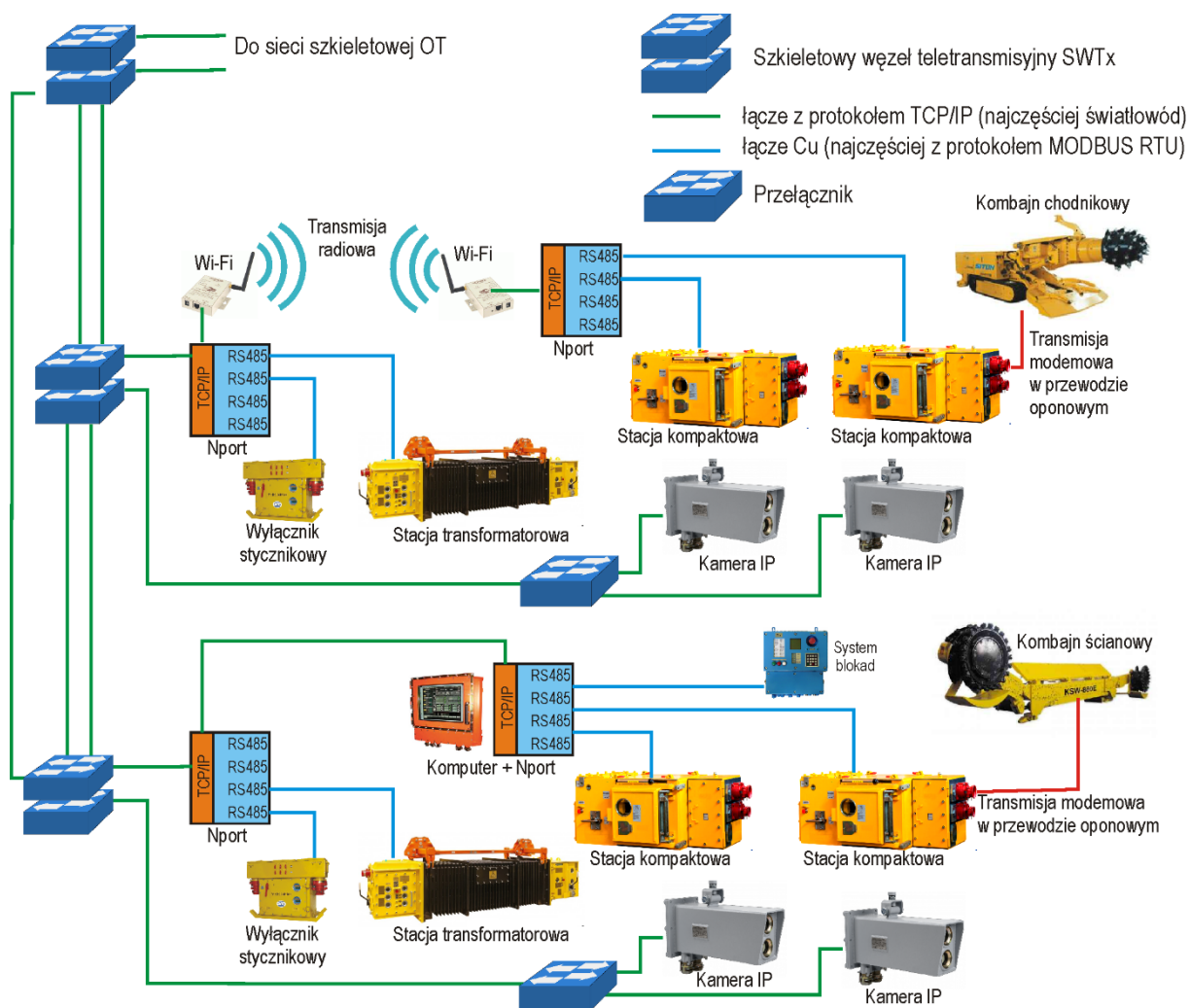


Rys. 8.44. Uproszczony schemat szkieletowej części dołowej sieci OT w kopalniach JSW

Część powierzchniowa tej sieci obejmuje technologiczną sieć szkieletową kopalni, sieć zainstalowaną w szybach oraz węzły zabudowane w rejonach podszybii. W węzłach najczęściej stosowane są Szkieletowe Węzły Transmisyjne SWTx (rozdział 6) opracowanych w JSW S.A. W węzłach SWTx można wyróżnić przełączniki szkieletowe i dostępowe połączone w niezależne stopy. Węzły SWTx nie mają budowy przeciwwybuchowej i dlatego mogą być montowane w pomieszczeniach niemietanowych lub pomieszczeniach ze stopniem „a” niebezpieczeństwa wybuchu (np. w głównych rozdzielniach przyszybowych).

Przykład części dołowej sieci OT pokazano na rysunku 8.45. Dane z kombajnu ścianowego i kombajnu chodnikowego są transmitowane po żyłach pomocniczych przewodu oponowego do stacji kompaktowej. Dane ze stacji transformatorowych, stacji kompaktowych czy

wyłączników stycznikowych są transmitowane do serwerów portów szeregowych N-port i dalej do węzłów SWTx. Sygnały z kamer IP są przesyłane również do węzłów SWTx.



Rys. 8.45. Przykład schematu blokowego części dołowej sieci OT w kopalniach JSW S.A.

### 8.6.5. Definiowanie parametrów maszyn i urządzeń podlegających monitorowaniu

W JSW S.A. zdefiniowano minimalne zakresy udostępnianych parametrów w systemach monitorowania maszyn, urządzeń i sieci transmisyjnych.

Minimalny zakres udostępnianych parametrów pracy kombajnu ścianowego (lub struga) obejmuje informacje dostępne w lokalnym panelu operatorskim maszyny (HMI), a w szczególności: stany pracy, w tym stany awaryjne, ciśnienia i temperatury mediów, prądy obciążeń i stany zabezpieczeń elektroenergetycznych, położenie kombajnu (struga) w ścianie, prędkość i kierunek jazdy (posuwu).

Minimalny zakres udostępnianych parametrów pracy kombajnu chodnikowego również powinien obejmować informacje dostępne w lokalnym panelu operatorskim maszyny (HMI) takie jak np.: stany pracy, w tym stany awaryjne, ciśnienia i temperatury mediów, prądy obciążeń i stany zabezpieczeń elektroenergetycznych.

Wyposażenie systemów sterowania i kontroli pracy obudowy zmechanizowanej musi mieć funkcjonalność pozwalającą na monitoring i sygnalizację stanów pracy w tym w szczególności stanów awaryjnych układu podpornościowego sekcji obudowy. W obudowie zmechanizowanej monitorowane jest: ciśnienie w poszczególnych stojakach sekcji, w magistrali zasilającej i spływowej na początku, środku i końcu ściany. Monitoring parametrów pracy przenośników (zgrzebłowych, taśmowych) obejmuje: stany pracy, stany sygnalizacji akustyczno-ostrzegawczej i blokad technologicznych.

Z wyłączników stycznikowych zasilających maszyny górnicze, a także wszystkich dołowych pól rozdzielczych do dyspozytorni przesyłane są ich stany pracy, w tym stany awaryjne, napięcia i prądy obciążeń, stany zabezpieczeń elektroenergetycznych. Ze stacji transformatorowych przesyłane są dodatkowo prądy obciążenia dla strony wtórnej i prądy zasilania dla strony pierwotnej.

## 9. Monitorowanie podporności i geometrii obudowy zmechanizowanej

*Dariusz Jasiulek, Joanna Rogala-Rojek, Sławomir Bartoszek, Jerzy Jagoda, Jerzy Jura*

### 9.1. Uzasadnienie monitorowania podporności

Jednym z podstawowych systemów wydobywczych w górnictwie węgla kamiennego jest system ścianowy. Wydobywanie w tym systemie realizowane jest przez ścianowy kompleks zmechanizowany składający się, między innymi, z trzech głównych maszyn: obudowy zmechanizowanej (rys. 9.1), kombajnu ścianowego oraz przenośnika ścianowego.



Rys. 9.1. Sekcje obudowy zmechanizowanej [BECKER]

Podstawową funkcją ścianowej obudowy zmechanizowanej jest zabezpieczenie pozostałych maszyn oraz załogi pracującej w ścianie wydobywczej [Rajwa, 2012, 2014; Szyguła, 2013]. Postęp w dziedzinie automatyzacji ścianowych systemów zmechanizowanych nie uwzględniał często monitorowania zachowania stropu i predykcji niekontrolowanych zjawisk wynikających z współpracy górotworu z obudową zmechanizowaną, takich jak obwały skał w obrębie czoła ściany czy niekontrolowany zawał. Obwał stropu w obręb ściany wydobywczej oraz niekontrolowane zachowanie stropu za linią obudowy zmechanizowanej stanowi realne zagrożenie dla życia ludzi oraz w odniesieniu do stanu technicznego maszyn.

Aspekty związane ze współpracą obudowy zmechanizowanej z górotworem, wpływające na stabilność stropu, mają znaczący wpływ na efektywność i bezpieczeństwo prowadzenia eksploatacji w kopalniach węgla kamiennego. Na stabilność stropu wpływają między innymi odległość ścieżki przyczółowej, zasilanie hydrauliczne i sterowanie oraz wysokość urabiania. W rozdziale opisano doświadczenia JSW S.A. oraz ITG KOMAG w zakresie systemów monitorowania podporności i geometrii obudowy zmechanizowanej.

Opady skał stropowych w przypadku ścian wydobywczych generują niebezpieczeństwo dla załogi oraz zmniejszenie wydajności produkcji kompleksu ścianowego. Kierowanie stropem w ścianie jest pochodną naprężenia górotworu wytworzonego przez jego ciśnienie oraz podporności obudowy. Odpowiednie kierowanie stropem jest kluczowe dla zapewnienia



stateczności wyrobiska ścianowego i poprawnych warunków utrzymania stropu, tj. zmniejszenia ilości i wielkości opadów skał stropowych.

Na poprawne kierowanie stropem wpływ ma szereg czynników, do których należy zaliczyć m.in.:

- czynniki związane z warunkami górniczo-geologicznymi rejonu, takie jak ciśnienie górotworu wzrastające wraz ze zwiększającą się głębokością eksploatacji, długością ściany, zaburzeniami tektonicznymi czy wytworzonymi krawędziami eksploatacyjnymi wcześniej wybranych parceli ścianowych w pokładach sąsiednich;
- dobór wyposażenia kompleksu ścianowego (obudowa zmechanizowana, kombajn lub strug, przenośnik zgrzeblowy ścianowy), który pozwala na optymalizację zarówno geometrii i podporności sekcji obudów zmechanizowanych jak i rozpiętości wyrobiska ścianowego;
- bieżące czynniki organizacyjno-techniczne takie jak: poprawność zabudowy obudowy zmechanizowanej przez operatorów, utrzymanie w odpowiednim stanie technicznym hydrauliki siłowej i sterowniczej dla poszczególnych sekcji obudowy zmechanizowanej czy zapewnienie odpowiedniego ciśnienia w magistrali zasilającej.

Optymalne dostosowanie się do warunków geologicznych odbywa się na etapie rozpoznania geologicznego złoża i harmonogramowania produkcji. W kopalniach należących do JSW S.A. warunki górnicze - geologiczne są bardzo zróżnicowane i określane jako trudne. Średnia głębokość eksploatacji wynosi około 920 m, przy czym najgłębsze ściany prowadzone są na głębokości około 1250 m. W celu optymalnego planowania harmonogramów robót górniczych stosowane są narzędzia informatyczne MineScape i Desvik, które ułatwiają wykonywanie wielowariantowej analizy harmonogramów robót w oparciu o cyfrowy model złoża.

Dobór urządzeń kompleksu ścianowego do określonej parceli ściany dobywa się na podstawie doświadczenia kadry inżynierskiej oraz odpowiednich opracowań wykonywanych przez zewnętrzne podmioty badawcze.

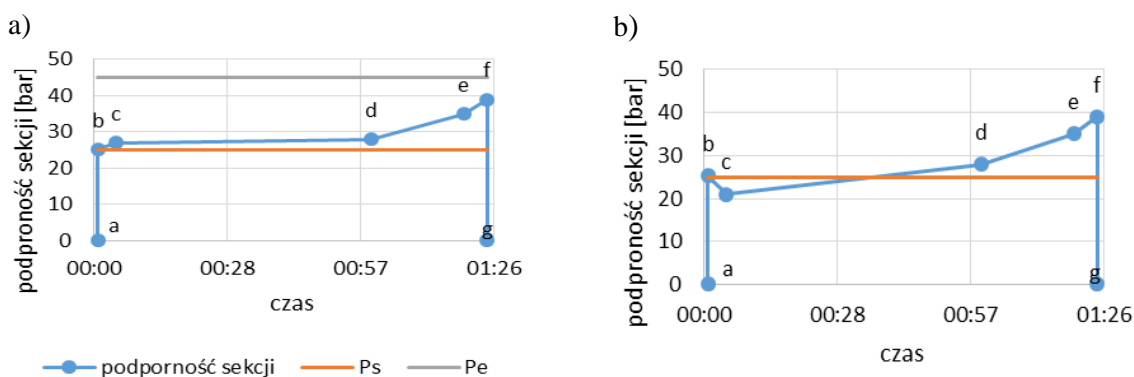
W ścianie bieżący nadzór nad stanem technicznym obudowy zmechanizowanej oraz jakością pracy operatorów jest realizowany przez służby dozoru. Jednak ze względu na ilość sekcji obudów zmechanizowanych i ciągłe oddziaływanie na nie górotworu zasadnym jest wdrożenie systemów śledzących ich parametry pracy. Stosowane systemy monitoringu podporności pracy sekcji obudów zmechanizowanych mierzą ciśnienie w podtłokowej części stojaka hydraulicznego. Dzięki ich zastosowaniu możliwe jest uzyskanie ciągłego obrazu zmian ciśnienia na poszczególnych sekcjach obudowy zmechanizowanej.

Wiadomym jest, że nieodpowiednie kierowanie stropem lub utrudnione warunki geologiczne skutkują wzrostem ilości wypadków. W polskim górnictwie węgla kamiennego zgodnie z danymi Wyższego Urzędu Górniczego w okresie od 2017 roku do 2021 roku opady skał stropowych odpowiadają za około 20% wszystkich wypadków, w tym 33% wypadków ciężkich i 16% śmiertelnych. Wypadki te wynikają nie tylko z samego opadu skał stropowych, lecz również są powodowane w czasie prac związanych zabezpieczeniami obwałów.

## 9.2. Cykl pracy obudowy zmechanizowanej

Istotnym elementem dla odniesienia się do poprawności pracy obudowy zmechanizowanej, jej stanu technicznego oraz poprawności obsługi jest zrozumienie jej cyklu pracy (od jej rozparcia do zrabowania). Operator sekcji obudowy zmechanizowanej powinien rozprzeć ją z ciśnieniem wstępnym, które zapewnia odpowiednią współpracę obudowy z górotworem. W przypadku JSW S.A. podporność wstępna ( $P_s$ ) dla zdecydowanej większości sekcji obudów zmechanizowanych zabudowanych w ścianach wynika z zasilania ich ciśnieniem 25 MPa. Podporność robocza sekcji wynika z ich konstrukcji, średnic wewnętrznych zabudowanych stojaków oraz nastaw na zaworach upustowych chroniących je przed uszkodzeniem. W celu uniknięcia uszkodzenia wynikającego ze zbyt wysokich ciśnień sekcje obudowy zmechanizowanej wyposażone są w zawory upustowe, które zaczynają działać po osiągnięciu ciśnienia roboczego ( $P_e$ ). W warunkach JSW S.A. ciśnienie robocze jest każdorazowo zależne od obudowy oraz warunków, w których pracuje i wynosi przeważnie od 38 do 45 MPa.

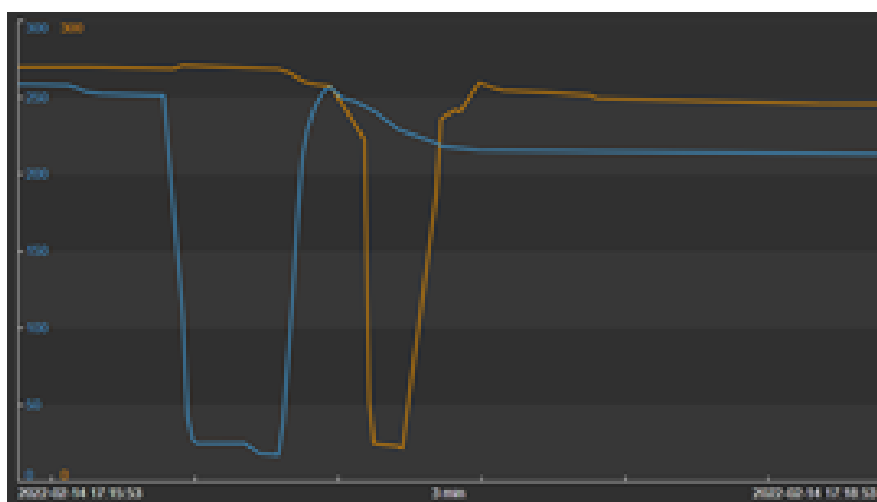
Cykl pracy obudowy zmechanizowanej przedstawiono na rysunku 9.2 a). Odcinek a-b odpowiada rozparciu sekcji przez operatora, odcinek b-c opowiada wzrostowi obciążeń na skutek rabowania i przesuwu sąsiedniej sekcji. Odcinek c-d odnosi się do czasu powolnego przyrostu ciśnienia w obudowie zmechanizowanej związanego z oddziaływaniem górotworu. Przyspieszony przyrost ciśnienia na odcinku d-e wynika ze zwiększonego otwarcia stropu na skutek urobienia kalizny węglowej przez kombajn, e-f jest pochodną rabowania i przesuwu sąsiedniej sekcji, a odcinek f-g to jej rabowanie.



Rys. 9.2. Przebieg zmian ciśnienia podczas cyklu pracy: a) w stojakach obudowy zmechanizowanej, b) obudowy zmechanizowanej w warunkach JSW S.A.

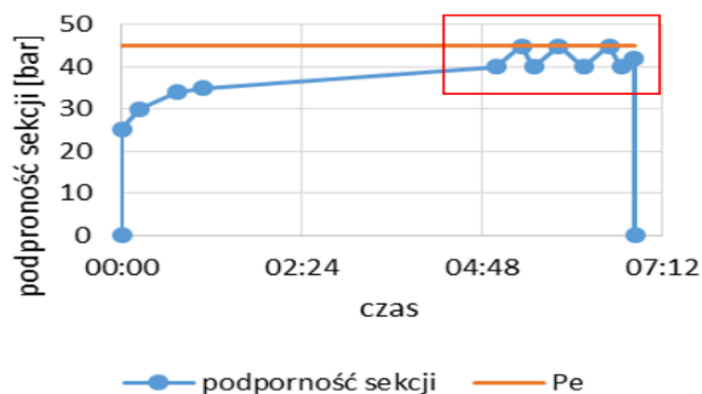
W praktyce, w warunkach JSW S.A. widoczna jest jedna istotna różnica w stosunku do przedstawionego na rysunku 9.2 a) przebiegu ciśnienia w stojakach obudowy, co przedstawiono na rysunku 9.2 b). W warunkach pracy obudów w kopalniach JSW S.A. zaobserwowano nieco odmienny trend przebiegu ciśnienia w cyklu pracy obudowy zmechanizowanej. Odcinek b-c, który odpowiada przebudowie sąsiedniej obudowy zmechanizowanej w warunkach JSW S.A. dla większości sekcji jest malejący, co wynika z przejścia części obciążeń przez sąsiednią sekcję obudowy zmechanizowanej. Pociąga to za sobą pewne trudności praktyczne, gdyż początkowo operatorzy sekcji wyposażonych w systemy monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej, po rozparciu kolejnych

sekcji musieli cofnąć się do poprzedniej obudowy i ponownie ją zbudować chcąc uzyskać odpowiednią (poprawną) sygnalizację. Obecnie w wyniku zgromadzonych doświadczeń i konsultacji z Głównym Instytutem Górnictwa w Katowicach (GIG) zdecydowano o tym, że w przypadku rozparcia obudowy z właściwą podpornością wstępną, a następnie jej spadku w granicach do 5 MPa, nie jest sygnalizowane zbyt niskie ciśnienie w stojaku sekcji. Jedynie w systemach informatycznych zaznaczone jest tego typu zjawisko, co przedstawiono na rysunku 9.3. Przedstawia on wyniki pomiarów z dwóch z sąsiednich stojaków hydraulicznych sekcji obudowy zmechanizowanej. Okres czasowy na tym wykresie to 3 minuty. Niebieska sekcja została zrabowana jako pierwsza, przebudowana i rozparta z ciśnieniem równym 25,5 MPa. Po niecałej minucie sąsiednia (pomarańczowa) sekcja została również zrabowana, przebudowana i zabudowana z podpornością wstępną. W tym okresie nastąpił spadek ciśnienia w niebieskim stojaku do około 22 MPa.



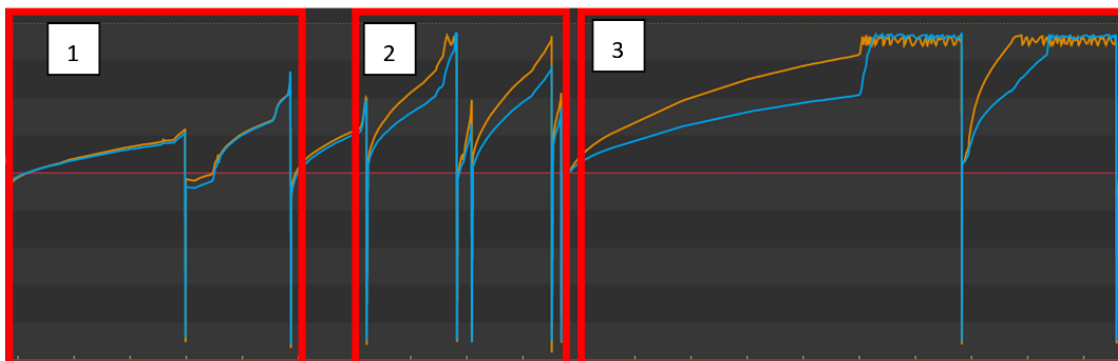
Rys. 9.3. Zachowanie ciśnienia w sąsiednich obudowach zmechanizowanych podczas rozparcia

Ostatnim istotnym zagadnieniem związanym z cyklem pracy obudowy zmechanizowanej jest praca zaworów upustowych. Jak już wcześniej wspomniano, ma ona na celu uniknięcie ewentualnych uszkodzeń w stojakach hydraulicznych lub konstrukcji obudowy. Przykładowy cykl pracy obudowy zmechanizowanej uwzględniający działanie zaworu upustowego przedstawiono na rysunku 9.4.



Rys. 9.4. Cykl pracy obudowy zmechanizowanej przy zadziałaniu zaworów upustowych

W obszarze zaznaczonym czerwoną ramką przedstawiono przebieg ciśnienia w obudowie w przypadku zadziałania zaworu upustowego. W niektórych przypadkach skały stropowe nie ulegają bieżącemu zawałowi i zawisają za sekcjami obudów zmechanizowanych powodując wzmożone działanie zaworów upustowych. Tego typu zjawisko przedstawiono na rysunku 9.5.



Rys. 9.5. Cykle pracy obudowy w warunkach ciśnienia górotworu

W obszarze 1 na tym rysunku widoczny jest powolny przyrost ciśnienia w obudowie zmechanizowanej. W obszarze 2 wraz z kolejnymi zabiorami szybkość przyrostu ciśnienia w obudowie zmechanizowanej jest większa, niż miało to miejsce w obszarze 1. Z kolei w obszarze 3 widoczny jest szybki przyrost ciśnienia w obudowie zmechanizowanej do ciśnienia roboczego oraz wielokrotne zadziałanie zaworów upustowych. Zadziałanie zaworu roboczego w zależności od średnicy stojaka skutkuje jego skróceniem o od 1,5 mm do 5 mm. Wielokrotne jego zadziałanie powoduje konwergencje wyrobiska ścianowego i może skutkować opadem skał stropowych. Dlatego też w takich sytuacjach istotnym jest zapewnienie regularnego postępu ściany lub/i stosowanie odpowiedniej profilaktyki w celu wymuszenia zawału za sekcjami obudów zmechanizowanych (np. poprzez hydroszczelinowanie lub strzelania torpedujące).

Zastosowanie monitorowania podporności obudowy umożliwia [Krodkiwski, 2019]:

- wykrywanie braku rozparcia sekcji z zakładaną podpornością wstępną – wskazywanie obsłudze ściany sekcji w których konieczne jest zwiększenie ciśnienia w stojakach,
- kontrola parametrów zasilania hydraulicznego sekcji obudowy, w szczególności zbyt niskiego ciśnienia w magistrali zasilającej,
- identyfikację prawdopodobnie nieszczelnych stojaków wymagających interwencji służb hydraulicznych,
- identyfikację sprawności działania zaworów upustowych,
- monitorowanie dynamiki górotworu (ostrzeżenie przed zwiększonym prawdopodobieństwem wstrząsów) na podstawie:
  - bieżącej prędkości przyrostu ciśnienia w stojakach,
  - częstotliwości pracy zaworów przelewowych,
  - czasu pracy sekcji po osiągnięciu podporności roboczej.

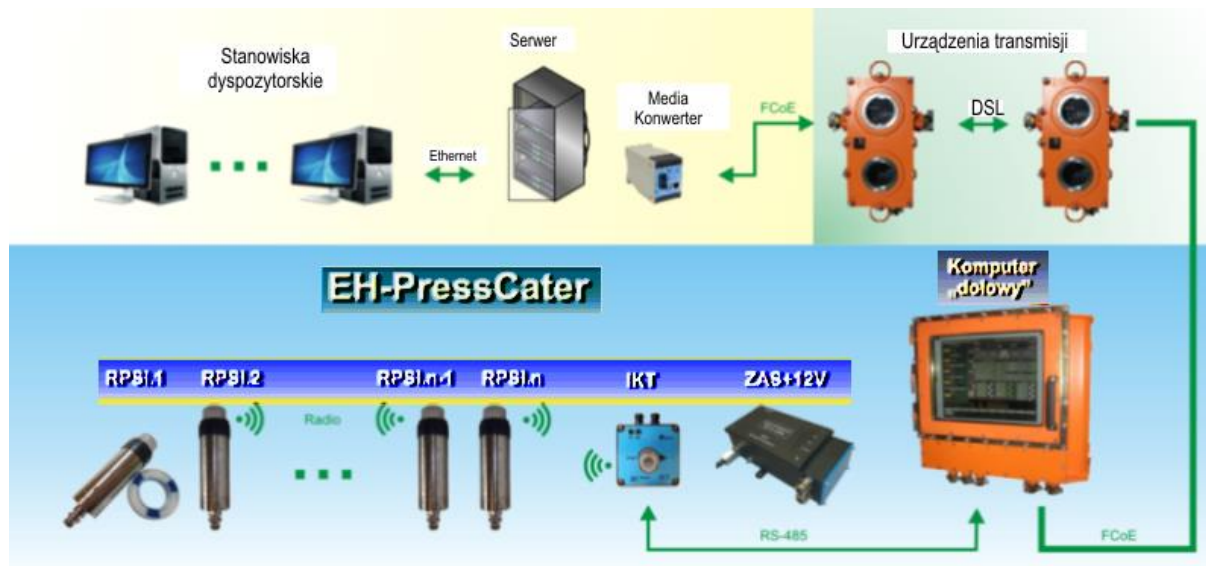
### 9.3. Monitorowanie podporności stojaków obudowy w ścianach

Monitoring podporności stojaków obudowy zmechanizowanej wymaga zainstalowania w tych stojakach przetworników ciśnienia. W istniejących rozwiązaniach przetworniki ciśnienia są zasilane bateryjnie i transmitują dane z częstotliwością do 1 Hz.

Na rysunku 9.6. pokazano schemat blokowy systemu monitorowania podporności obudowy EH-PressCater [Bazan, 2015]. W skład tego systemu wchodzi następujące rodzaje urządzeń:

- przetworniki ciśnienia typu RPSI,
- konwerter transmisji typu IKT,
- komputer dołowy typu EH-O/06/06.xx wraz ze stosownym oprogramowaniem.

Przetworniki typu RPSI mierzą ciśnienia w stojakach i podporach stropnicy, a także w magistrali spływowej i zasilającej. Wyniki pomiarów są przekazywane drogą radiową do konwertera transmisji IKT z częstotliwością 1 Hz. Przetworniki RPSI są zasilane z baterii o pojemności wystarczającej na 1 rok pracy. Wyniki pomiarów z konwertera IKT są przekazywane do komputera dołowego i dalej łączami DSL lub światłowodowym na powierzchnię do serwera. Serwer powierzchniowy połączony jest poprzez przełącznik ethernetowy z komputerowymi stanowiskami dyspozytorskimi PC, które wyposażone są w oprogramowanie do wizualizacji danych typu EH-PressCater Client oraz oprogramowanie eksperckie ATLAS. Stanowiska współpracują ze zbiorczym wielkoformatowym wyświetlaczem LCD.

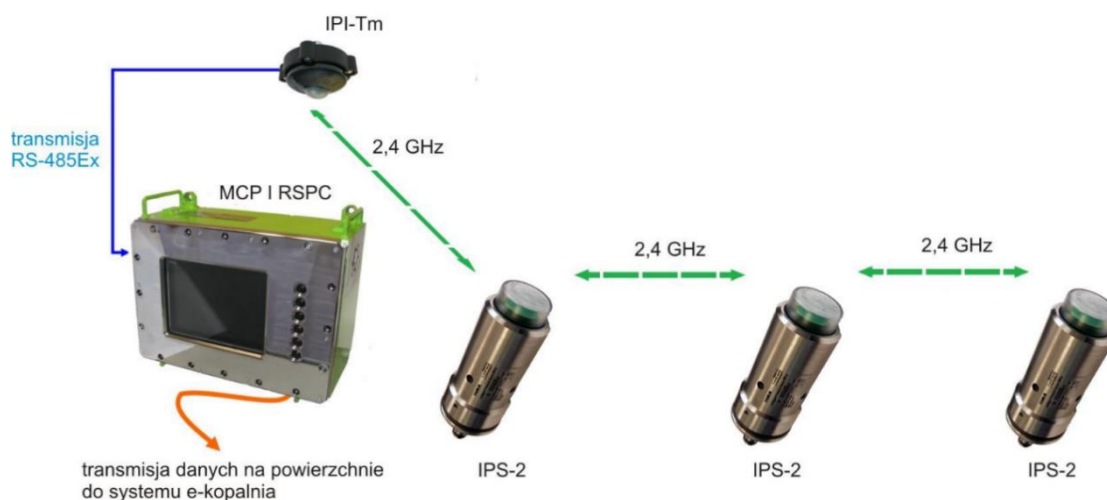


Rys. 9.6. Schemat blokowy systemu monitorowania ciśnienia w stojakach obudowy EH-PressCater

Na rysunku 9.7 pokazano schemat blokowy systemu monitorowania ciśnienia w stojakach obudowy FAMAC RSPC [Tąpała, 2019]. System FAMAC RSPC zawiera:

- przetworniki ciśnienia ISP-2,
- konwerter transmisji IPI-Tm,
- komputer dołowy MCP RSPC.

Dane z komputera dołowego są przekazywane do serwera i są prezentowane na stanowiskach wizualizacyjnych.

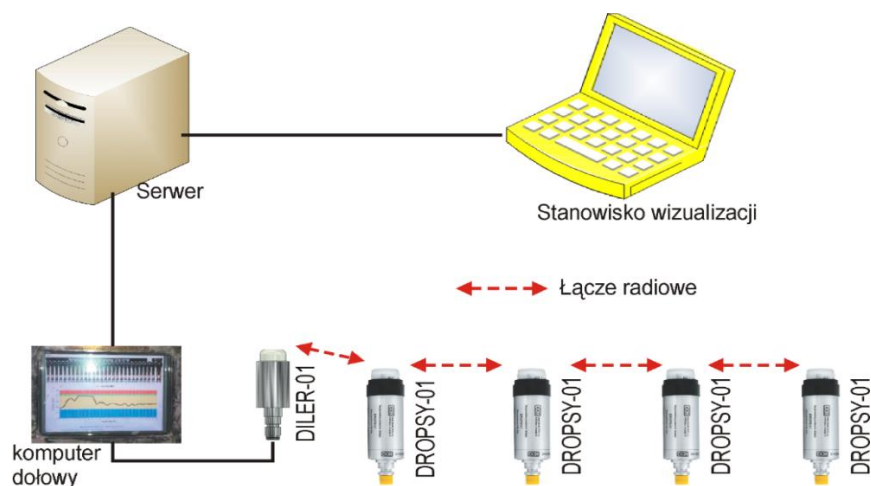


Rys. 9.7. Schemat blokowy systemu monitorowania ciśnienia w stojakach obudowy FAMAC RSPC

Na rysunku 9.8. pokazano schemat blokowy systemu monitorowania ciśnienia w stojakach obudowy DOH- DROPSY. System DOH-DROPSY zawiera [Szurgacz, 2020]:

- przetworniki ciśnienia DROPSY-01,
- konwerter transmisji DILER-01,
- komputer dołowy.

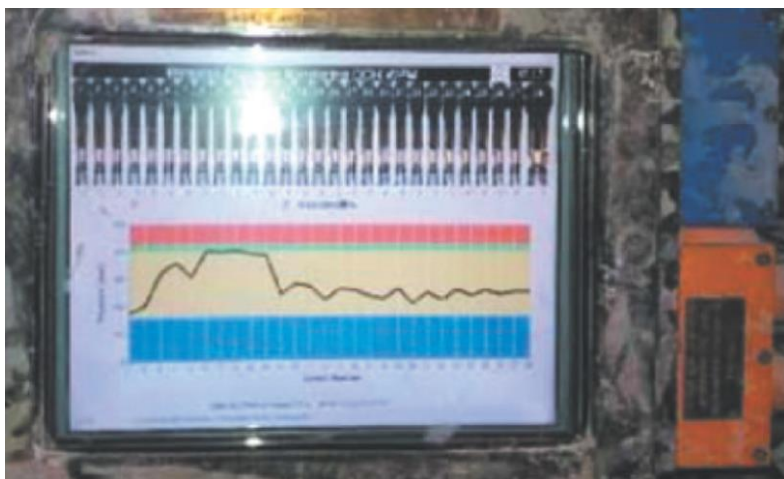
Dane z komputera dołowego są przekazywane do serwera i prezentowane na stanowiskach wizualizacyjnych.



Rys. 9.8. Schemat blokowy systemu monitorowania podporności obudowy DOH-DROPSY

Aktualny stan podporności obudowy może być przedstawiony na ekranie komputera dołowego (rys. 9.9) [Szurgacz, 2020].





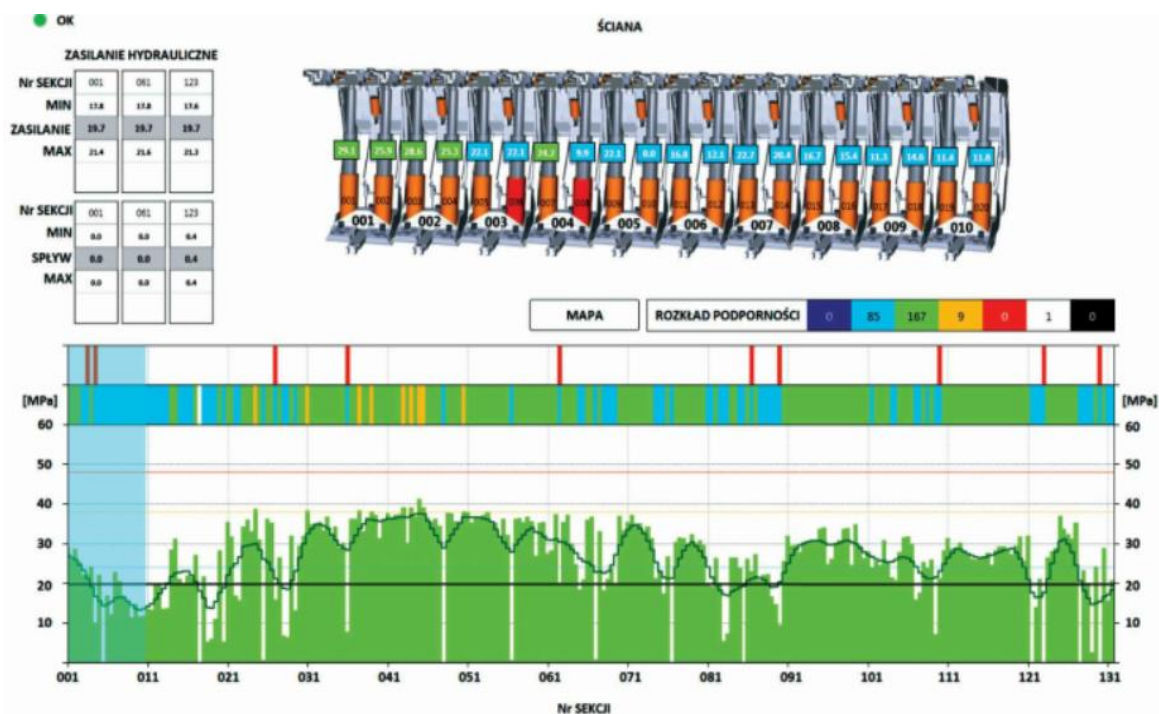
Rys. 9.9. Widok wizualizacji ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej na komputerze dołowym systemu DOH-DROPSY

Na stanowiskach wizualizacyjnych mogą być prezentowane aktualne rozkłady ciśnień w stojakach obudowy (rys. 9.10, 9.11) [Cichy, 2019] wraz z zadanymi wartościami granicznymi. Może być prezentowana mapa ciśnień, czyli zależność ciśnienia (reprezentowanego odpowiednim kolorem) od numeru sekcji i czasu (rys. 9.12). Rozkład ciśnień w funkcji czasu może być również przedstawiony w formie wykresu przestrzennego (rys. 9.13).

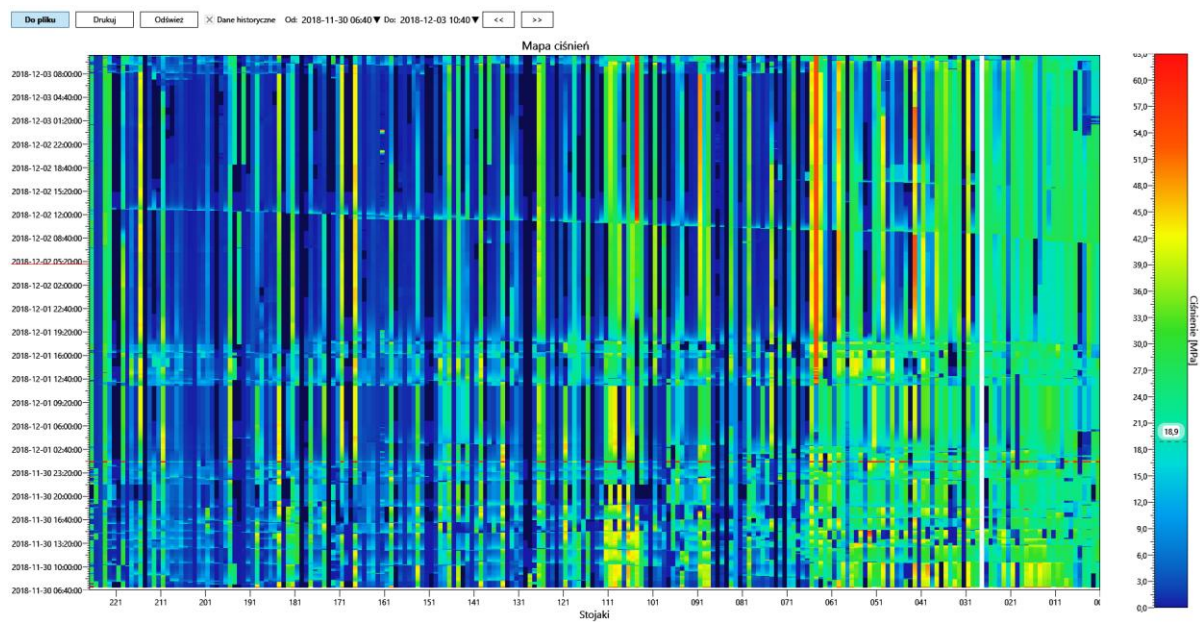


Rys. 9.10. Rozkład ciśnień w stojakach obudowy zmechanizowanej – plansza systemu DOH-DROPSY

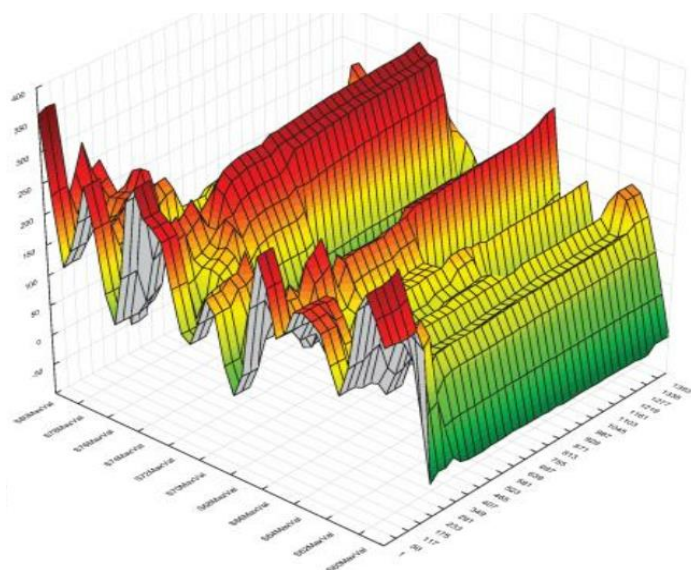




Rys. 9.11. Rozkład ciśnień w stojakach obudowy zmechanizowanej – plansza systemu FAMAC RSPC



Rys. 9.12. Przykład mapy ciśnień – plansza systemu FAMAC RSPC [Krodkiewski 2019]



Rys. 9.13. Przykład wykresu przestrzennego ciśnienia w stojakach obudowy [Rajwa]

Zastosowanie monitorowania podporności obudowy umożliwia:

- wykrywanie braku zabezpieczenia stropu – wskazywanie obsłudze ściany sekcji w których konieczne jest zwiększenie ciśnienia w stojakach,
- kontrola parametrów zasilania hydraulicznego sekcji obudowy,
- identyfikację stojaków, których niesprawność wpływa szczególnie istotnie na prawidłowe zabezpieczenie stropu wyrobiska,
- monitorowanie dynamiki górotworu (ostrzeżenie przed zwiększonym prawdopodobieństwem wstrząsów) na podstawie:
  - bieżącej prędkości przyrostu ciśnienia w stojakach,
  - częstotliwości pracy zaworów przelewowych,
  - czasu pracy sekcji po osiągnięciu podporności roboczej.

Na rysunku 9.14. [BECKER] przedstawiono czujniki ciśnienia wchodzące w skład systemu bezprzewodowego monitorowania podporności sekcji obudowy zmechanizowanej opracowane przez firmę Becker-Warkop w ramach projektu PRASS III.



Rys. 9.14. Bezprzewodowe czujniki ciśnienia firmy Becker-Warkop

#### 9.4. Proces wdrożenia monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej w JSW S.A.

W JSW S.A. największe doświadczenia w tym zakresie zebrała KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice, który w 2013 r. (jeszcze przed włączeniem w struktury JSW) eksploatował ścianę 7 w pokładzie 408/1 wyposażoną w tego typu system.

W 2020 r. monitoring podporności obudowy zmechanizowanej był już uruchomiony w kilku ścianach w różnych zakładach JSW. Pracownicy dozoru zgłaszali potrzebę uzyskania dodatkowych funkcjonalności z danych pochodzących z lokalnych systemów monitoringu. Jednocześnie, podczas spotkań technicznych i konferencji naukowych, pracownicy GIG zwracali uwagę na wartość dodaną wynikającą z prowadzenia monitoringu obudowy zmechanizowanej i w których ścianach należy w pierwszej kolejności zabudować ten system.

W JSW S.A. funkcjonuje historian PI System, w którym dane generowane przez lokalne systemy monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej dobrze nadawały się do agregacji i przygotowywania kolejnych analiz. W związku z tym dla kadry inżyniersko-technicznej a także pracowników zatrudnionych w ścianach wydobywczych, uruchomiono specjalistyczne szkolenia z zakresu podstaw geomechaniki, kierowania stropem i monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej. Równocześnie zarząd JSW wydał polecenie w zakresie wyposażenia nowych i modernizowanych sekcji obudowy zmechanizowanej w systemy monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej.

Obecnie (początek 2022 r.) na 22 czynne ściany, 17 kompleksów ścianowych wyposażonych jest w system monitoringu podporności obudowy.

Dzięki wymianie doświadczeń pomiędzy użytkownikami systemów monitorowania sekcji obudowy zmechanizowanej, a dostawcami sprzętu, wyeliminowano wiele usterek w pierwszych rozwiązaniach technicznych, a obecny sposób ich zabudowy sprawia, że czujniki są dobrze widoczne dla operatora. Na ścianach wyposażonych w system monitoringu w zależności od jej gabarytów zabudowane są czujniki na stojakach obudowy oraz ewentualnie instalowane są dodatkowe sygnalizatory pod stropnicą. Czujniki i sygnalizatory za pomocą światła wskazują aktualny status ciśnienia w części podtłokowej stojaka:

- światło czerwone - poniżej podporności wstępnej przy braku rozparcia przez sekcyjnego do jej poziomu,
- światło zielone – w zakresie od podporności wstępnej do nominalnej lub do 5 MPa poniżej podporności wstępnej, jeżeli operator rozparł sekcję z podpornością wstępną.

Rysunek 9.15. przedstawia preferowany sposób zabudowy czujników podporności obudowy dla ścian o miąższości do 2,5 m wraz ze sposobem zabezpieczenia czujników.

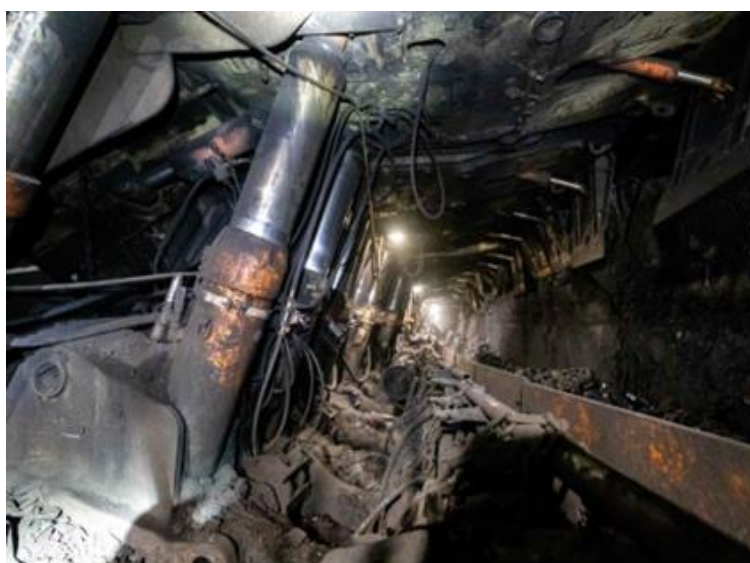


Rys. 9.15. Preferowany sposób zabudowy czujników dla ścian o miąższości do 2,5 m

Sposób montażu zaprezentowany na zdjęciu pozwala szybko zidentyfikować sekcję w przypadku ewentualnych problemów hydraulicznych. Dobrze widoczna jest sygnalizacja ciśnienia na kolejnych sekcjach. Umożliwia ona w szybki sposób odczytanie wartości ciśnienia z manometru, który zabudowany jest przy czujniku. Dodatkowo obejma na stojaku zabezpiecza zarówno czujnik, jak i manometr przed uszkodzeniami mechanicznymi. Pozwala to na uzyskanie dobrej widoczności sygnalizacji rozparcia w ścianie dla operatorów i dozoru, co zostało przedstawione na rysunku 9.16.



Rys. 9.16. Widoczność sygnalizacji monitoringu podporności



Rys. 9.17. Zabudowa czujników na ścianie wysokiej



W przypadku ścian o dużej miąższości, w których możliwe jest przepadanie urobku przez nadstawki przenośnika, czujniki montowane są za stojakami (rys. 9.17). Preferowane w takim wypadku jest użycie sygnalizatorów pod stropnicą.

Dodatkowo lokalne systemy wizualizacji prezentują aktualny status podporności poszczególnych sekcji w ścianie na stanowiskach komputerowych (np. jak z rys. 9.9.) zabudowanych najczęściej na pociągu aparaturowym w rejonie przenośnika zgrzebłowego podścianowego. Systemy te są przede wszystkim wykorzystywane przez osoby dozoru, do bieżącej analizy stanu podporności obudowy w ścianach wydobywczych.

## 9.5. Zintegrowany sposób raportowania podporności obudowy zmechanizowanej

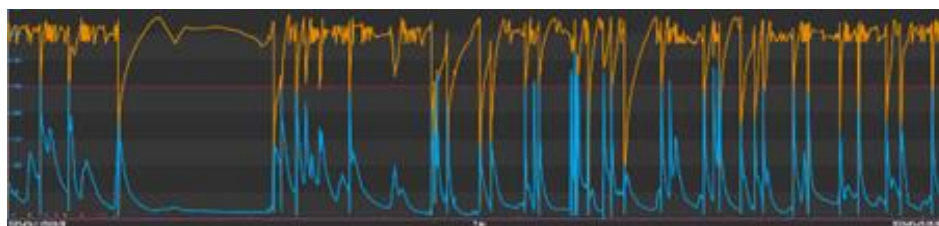
Kopalnie JSW S.A. posiadają systemy monitoringu podporności sekcji obudowy zmechanizowanej różnych producentów i o ile z punktu widzenia jednej ściany nie jest problemem bieżące śledzenie systemu lokalnego, to już, gdy dana kopalnia posiada różne systemy monitoringu przełączanie między nimi sprawia pewne trudności. Dane związane z podpornością obudowy zmechanizowanej to nie jedyne informacje, które są interesujące z punktu widzenia prowadzenia ściany. Dane z innych systemów takie jak położenie kombajnu w ścianie, czy praca odstawy również są istotne dla całościowego obrazu jakości i efektywności pracy.

Dane ze wszystkich ścian przesyłane są do Centralnego Serwera Danych Technologicznych jakim jest PI System. W zakresie podporności obudowy zmechanizowanej zostały opracowane algorytmy identyfikujące stany, które mogą oznaczać awarie lub sygnalizować potencjalne problemy związane z utrzymaniem skał stropowych.

Automatycznie generowane raporty wskazują, gdzie występować mogą ewentualne nieszczelności w układzie hydraulicznym. Na rysunkach 9.18 i 9.19 przedstawiano, jak wygląda przebieg ciśnienia w dwóch sekcjach w stojakach, z których jeden jest nieszczelny.



Rys. 9.18. Cykle pracy obudowy zmechanizowanej w przypadku nieszczelności jednego ze stojaków



Rys. 9.19. Cykle pracy obudowy zmechanizowanej w przypadku nieszczelności jednego ze stojaków przy jednoczesnym działaniu zaworów upustowych drugiego.

Rysunek 9.18 przedstawia stan pracy jednego stojaka, który pracuje w typowy sposób (stojak pomarańczowy) oraz drugi (stojak niebieski), który cechuje się znaczącą nieszczelnością. Po rozparciu z podpornością wstępną ciśnienie gwałtownie spada praktycznie do  $1\div 2$  MPa.

Natomiast na rysunku 9.19 w stojaku niebieskim ciśnienie w obudowie zmechanizowanej spada powoli. Równocześnie drugi stojak pracuje na poziomie ciśnienia roboczego i praktycznie w każdym z cykli pracy widoczne jest działanie zaworów upustowych. Mimo szybszego spadku ciśnienia w stojaku niebieskim pierwszej obudowy (rys. 9.18) bezwzględna różnica ciśnień pomiędzy parami stojaków jest wyższa w przypadku obudowy z rysunku 9.19 i służby techniczne powinny w pierwszej kolejności zweryfikować jego szczelność. Kolejnym elementem, który jest identyfikowany w raportach jest ilość zadziałania zaworów upustowych. Jak już wspomniano ich wielokrotne zadziałanie może skutkować opadem skał stropowych – wyróżniane są również przypadki, które przedstawiono na rysunku 9.19, gdzie przy nieszczelnym stojaku hydraulicznym drugi stojak działa we właściwym ciśnieniu roboczym.

Ponadto identyfikowane są sekcje obudowy zmechanizowanej, które nie są rozpierane z właściwą podpornością wstępną. Może być kilka powodów tego typu zjawiska. Pierwszym jest nieuwaga lub niedbałość operatorów i w takim przypadku konieczne są szkolenia oraz odpowiedni nadzór nad jakością ich pracy. Drugim jest brak odpowiedniego ciśnienia w magistrali zasilającej. W tym przypadku najczęściej wynika to z nieszczelności na rurociągach doprowadzających emulsję do ściany lub nieodpowiednim dobraniem pomp. Trzecią przyczyną nierozpierania sekcji z zadaną podpornością wstępną jest ich niewłaściwe prowadzenie w ścianie wydobywczej pod kątem geometrii. W przypadku pochylenia sekcji, występowania w pułapie wyrobiska pustek po opadzie skał stropowych, w pierwszej kolejności należy dążyć do zapewnienia (utrzymania) odpowiedniej geometrii sekcji obudowy zmechanizowanej. Ostatnim elementem identyfikowanym w dobowych raportach są prawdopodobne uszkodzenia czujników.

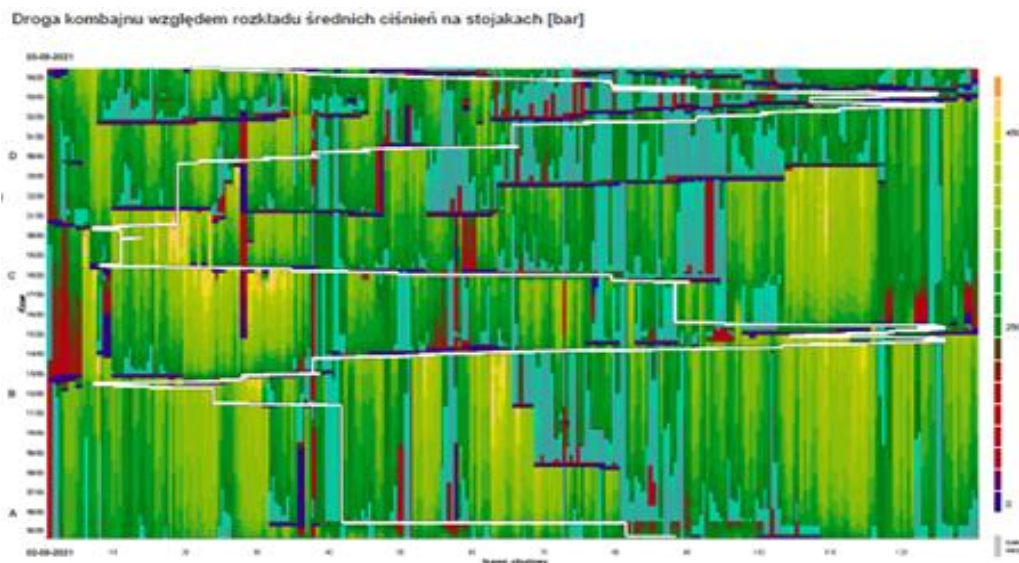
Z uwagi na istotną rolę utrzymywania odpowiedniego ciśnienia w magistrali zasilającej, tworzony jest histogram wraz z dystrybuantą ciśnienia w magistrali zasilającej. W przypadku dużej ilości braków poprawnego rozparcia z podpornością wstępną można zidentyfikować, czy problemem jest tu zbyt niskie ciśnienie w magistrali zasilającej (rys. 9.20).



Rys. 9.20. Histogram ciśnienia w magistrali zasilającej wraz z dystrybuantą

Zielona linia przedstawia podporność wstępną dla danej ściany. Punkt przecięcia zielonej linii z dystrybuantą pokazuje, ile procent czasu w ciągu ostatniej doby w magistrali zasilającej ciśnienie było na poziomie uniemożliwiającym rozparcie operatorom sekcji z zadaną podpornością wstępną.

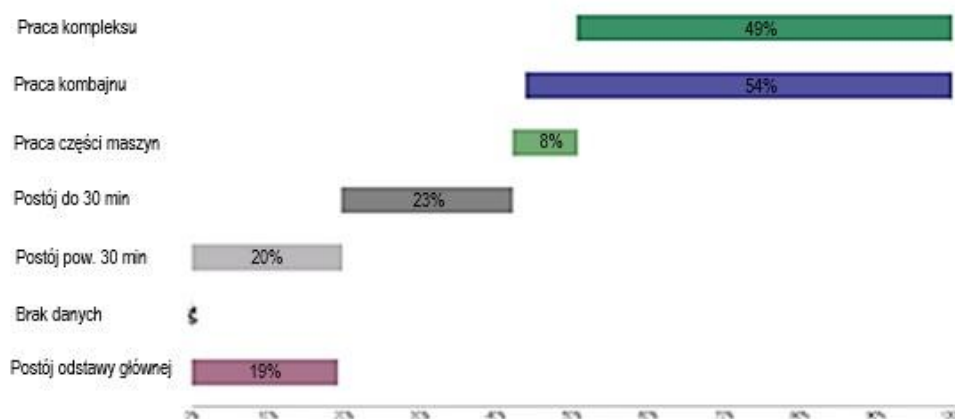
Istotnym elementem zintegrowanego raportowania podporności obudowy zmechanizowanej jest tzw. „heatmapa” (rys. 9.21).



Rys. 9.21. „Heatmapa” ciśnienia w ścianie za 1 dzień roboczy

Pokazuje ona jak na poszczególnych sekcjach (oś odciętych), kształtuje się ciśnienie w funkcji czasu i zmian roboczych (oś rzędnych). Kolor ciemno niebieski odpowiada momentowi przebudowy sekcji obudowy zmechanizowanej. Na czerwono zaznaczone są obudowy zmechanizowane, w których ciśnienie jest za niskie, kolorem jasno niebieskim zaznaczone są obudowy, w których ciśnienie spadło po ich rozparciu do zadanej podporności wstępnej. Na zielono zaznaczone są obudowy w których ciśnienie zawiera się w przedziale od podporności wstępnej do roboczej, natomiast kolorem żółtym zaznaczono pracę w okolicach ciśnienia roboczego. Biała linia oznacza drogę kombajnu w ścianie.

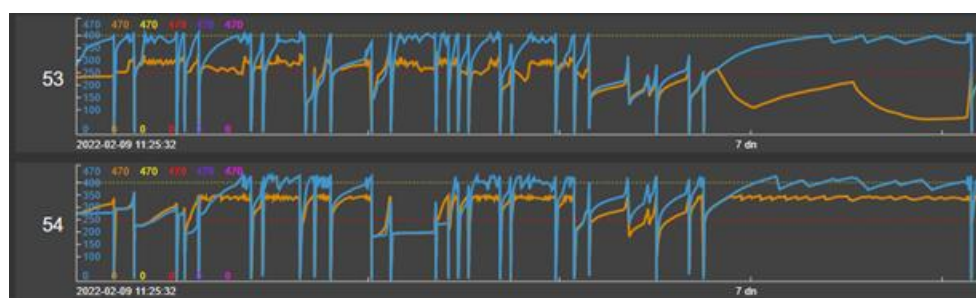
Dodatkowo dla każdej ze ścian generowany jest wykres oparty o metodologię Całkowitej Efektywności Wyposażenia (OEE), ze wskazaniem czasu najważniejszych statusów (rys. 9.22), tj. praca całego kompleksu ścianowego, praca kombajnu, praca części maszyn kompleksu ścianowego, postoje do oraz powyżej 30 minut, braki danych i postoje odstawy głównej.



Rys. 9.22. Wykres dobowej efektywności kompleksu ścianowego



Istotnym elementem jest informacja zwrotna z kopalń dotycząca usuniętych usterek hydraulicznych wraz z aktualnym komentarzem nt. kwestii związanych z kierowaniem stropem na poszczególnych ścianach oraz potencjalnymi awariami hydraulicznymi uzyskiwanymi z analizy przebiegów ciśnienia poszczególnych sekcji. Raz na 2 tygodnie informacja ta jest przekazywana przez przedstawicieli działów tapani i kierowania stropem do biura zarządu JSW S.A. oraz dyrekcji kopalń. W informacji tej dodatkowo są identyfikowane problemy z różnymi progami nastaw zaworów upustowych na stojakach hydraulicznych sekcji obudowy zmechanizowanej (rys. 9.23).



Rys. 9.23. Przykład nierównych nastaw przy zadziałaniu zaworów upustowych

W niektórych ścianach występują w stropie grube warstwy piaskowca o dużej wytrzymałości, co powoduje duże przyrosty ciśnienia. Zjawisko to skutkuje problemami z opadem skał stropowych, czy wstrząsami wysokoenergetycznymi. W związku z tym prowadzone są prace profilaktyczne mające na celu zabezpieczenie ściany przed zawisaniem skał stropowych poprzez strzelania torpedujące czy hydroszczelinowanie. Dane z systemu monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej mogą posłużyć w optymalizacji tego typu prac pod względem miejsca oraz czasu prowadzenia działań profilaktycznych.

W JSW S.A. w zakresie zintegrowanego raportowania planowany jest jego dalszy rozwój w oparciu o następujące elementy:

- analiza czasu: od przejazdu kombajnu do przebudowy sekcji,
- rozdział identyfikacji zbyt niskiej podporności wstępnej ze względu na przyczyny wnikaące z niskiego ciśnienia w magistrali zasilającej oraz inne przyczyny,
- automatyczna identyfikacja nierównomiernego zadziałania zaworów upustowych,
- rozbudowa raportowania o dane prądowe z kombajnu ze wskazaniem problematycznych rejonów ściany.

## 9.6. Efekty wykorzystania systemów monitoringu obudowy zmechanizowanej w JSW S.A.

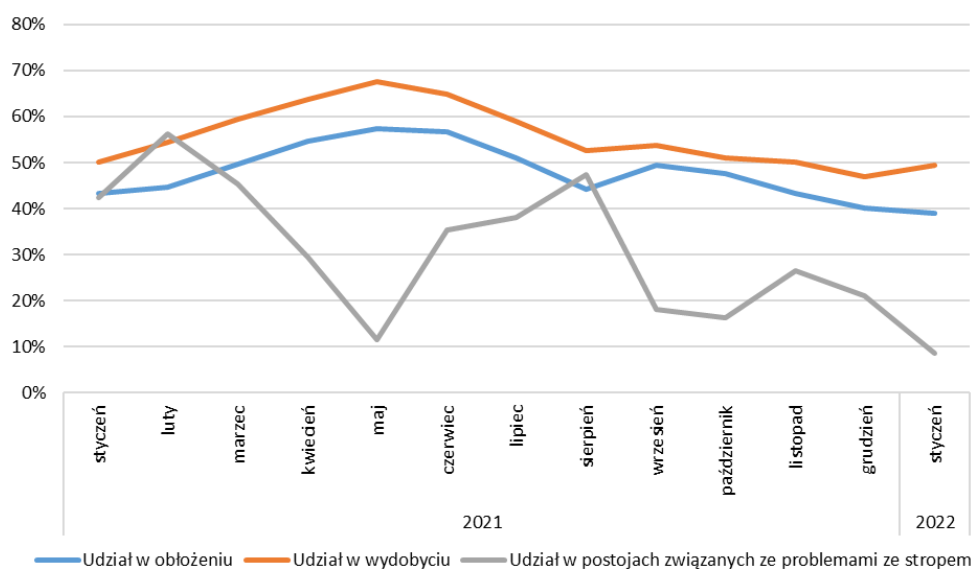
Jak już wspomniano systemy monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej stosowane są w JSW S.A. od kilku lat. Jednak holistyczne podejście do tego tematu obejmujące szkolenia, zintegrowane raportowanie, wymianę doświadczeń i informację zwrotną rozpoczęło się pod koniec 2020 r.

W pierwszej kolejności system ten służy do identyfikacji potencjalnych usterek hydraulicznych. W całym 2021 r., w ścianach wyposażonych w systemy monitoringu usunięto ich łącznie ponad 3000. Pozwala to na lepszą współpracę pomiędzy działami górniczym

i hydraulicznym na kopalniach. Istotną korzyścią uzyskiwaną dzięki zastosowaniu monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej jest weryfikacja jakości dostaw elementów hydrauliki siłowej i sterowniczej do zbrojonych ścian w JSW S.A. Wykorzystując system monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej służby techniczne w szybki sposób potrafią identyfikować nie w pełni sprawne stojaki i inne elementy hydrauliczne, co ułatwia i przyspiesza stosowne naprawy zarówno gwarancyjne, jak i pogwarancyjne.

Dotychczasowe doświadczenia stosowania systemu monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej pokazują, że możliwa jest identyfikacja potencjalnych postoi związanych z opadem skał stropowych. Podczas wdrożenia analizowano, jak wyglądała podporność na ścianach, gdzie wystąpiły opady skał stropowych. W obszarze, gdzie wystąpił opad skał stropowych w okresie poprzedzającym to zjawisko, sekcje nie były rozparte z wymaganą podpornością wstępną. Obecnie pracownicy działów tupań na bieżąco monitorują sytuację związaną z podpornością na poszczególnych ścianach i w razie wystąpienia niepokojących wskazań potrafią odpowiednio reagować.

Ważnym czynnikiem przemawiającym za znaczeniem systemu monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej w poprawie efektywności produkcji jest udział ścian wyposażonych w te systemy w łącznych raportowanych czasach zaistnienia problemów technicznych związanych ze stropem w eksploatowanych ścianach w JSW S.A. W okresie od stycznia 2021 r. do stycznia 2022 r. udział w wydobywaniu ścian monitorowanych wynosił 56%, udział w obłożeniu wynosił 48%, natomiast udział w czasach postoju związanych z problemami ze stropem wynosił 30%. Innymi słowy ściany, które generują połowę obłożenia w JSW S.A. generują 56% wydobywania i tylko 30% postoi związanych ze stropem (rys. 9.24). Należy zwrócić uwagę, że wśród monitorowanych ścian znalazła się ściana N-4 w pokładzie 505/1, która w pierwszym kwartale 2021 roku kończyła eksploatację prowadzoną w skrajnie trudnych warunkach stropowych oraz ściana C-5 w pokładzie 404/2, która w lipcu i sierpniu przejeżdżała przez sieć uskoków równoległych do czoła ściany. W opinii służb kopalni był to jeden z najszybszych przejazdów przez tego typu zaburzenie.

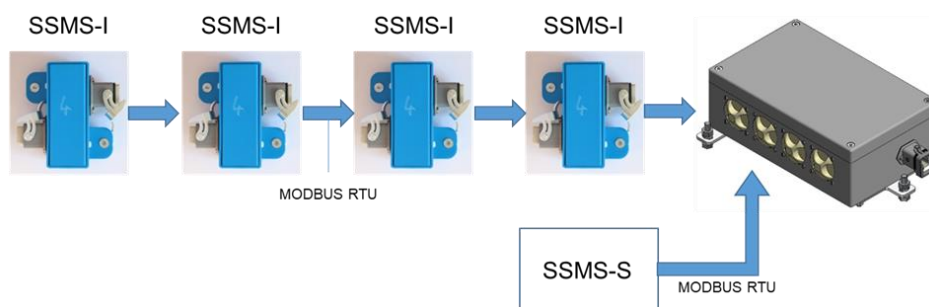


Rys. 9.24. Udział ścian wyposażonych w systemy monitoringu podporności obudowy zmechanizowanej w obłożeniu, wydobywaniu oraz postojach związanych z opadem skał stropowych

Średni czas postoju związanych z problemami ze stropem na zmianę wyniósł 18 min, podczas gdy na pozostałych – 38 min. Oznacza to, że średnio 20 min na zmianę dłuższy jest postój na ścianach niemonitorowanych.

### 9.7. Monitorowanie geometrii obudowy zmechanizowanej

W ramach projektu PRASS III, ITG KOMAG opracował system monitorowania geometrii sekcji obudowy zmechanizowanej typu SSMS (*Shield Support Monitoring System*). System obejmuje pomiar geometrii sekcji, pomiar ścieżki przyczołowej oraz układ transmisji bezprzewodowej. System SSMS (rys. 9.25) składa się z jednostki centralnej SSMS-C, inklinometru SSMS-I oraz czajnika ścieżki przyczołowej SSMS-S (*tip to face*).



Rys. 9.25. Shield Support Monitoring System SSMS [KOMAG]

Głównym elementem systemu SSMS jest jednostka centralna SSMS-C (rys. 9.26). Podstawowe dane techniczne SSMS-C [KOMAG]:

- budowa iskrobezpieczna: I M1 Ex ia I M1 stopień ochrony obudowy IP 65,
- technologia radiowa Wi-Fi: 17 dBm (50 mW),
- zasilanie bateryjne: 4x3,6 V, 17Ah.



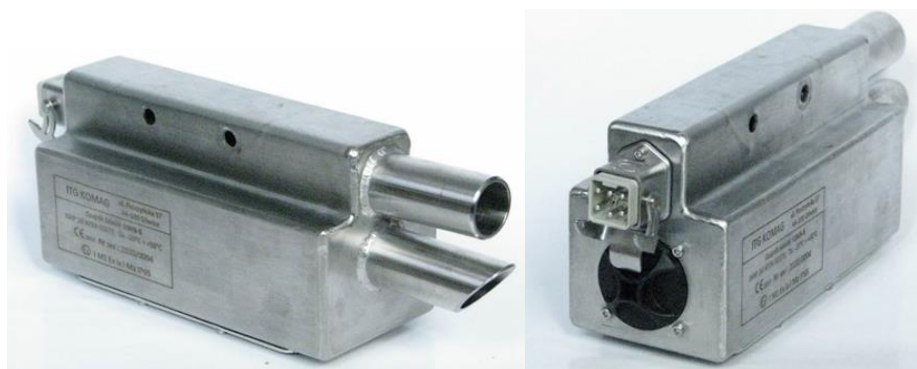
Rys. 9.26. Jednostka centralna SSMS-C

Elementem pomiarowym w systemie SSMS jest inklinometr dwuosiowy SSMS-I (rys. 9.27). Inklinometr został zaprojektowany na podstawie założeń wykonanych we wcześniejszych etapach projektu. Wykonany został prototyp oraz przeprowadzono badania certyfikacyjne i uzyskano certyfikat na zgodność z dyrektywą ATEX. Rezultatem końcowym zadania, w zakresie SSMS-I, jest prototyp gotowy do instalacji na sekcji obudowy zmechanizowanej w kopalni.



Rys. 9.27. Inklinometr SSMS-I

Czujnik pomiaru ścieżki przyczołowej (rys. 9.28) służy do pomiaru odległości pomiędzy stropnicą i czołem ściany. Jego najważniejsze części to mikrokontroler zarządzający pracą, interfejs komunikacyjny, wewnętrzne źródło zasilania oraz element pomiarowy.



Rys. 9.28. Czujnik pomiaru ścieżki przyczołowej SSMS-S

Wybrane podstawowe parametry iskrobezpiecznego czujnika SSMS-S:

- komunikacja szeregową MODBUS RTU;
- zasilanie bateryjne 2 x 3,6 V (17 Ah);
- przetworniki ultradźwiękowe (nadajnik + odbiornik) 32,5 kHz;
- zakres działania: 5m.

## 9.8. Testy i badania ruchowe systemu SSMS

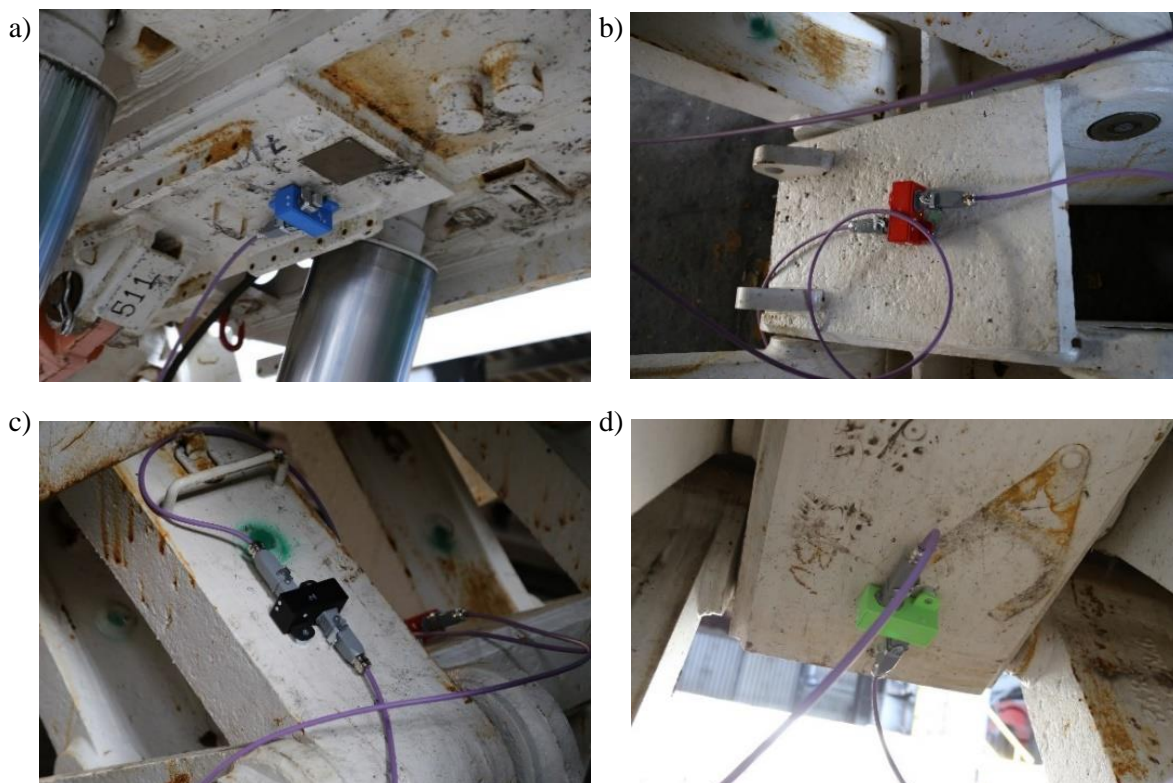
W ramach testów funkcjonalnych jedna sekcja obudowy zmechanizowanej w stanowisku do badań zmęczeniowych w laboratorium badawczym KOMAG, została wyposażona w inklinometry. Stanowisko badawcze umożliwia badania przy symulowanym nachyleniu pokładu. Inklinometry zostały zabudowane na obudowie zmechanizowanej JZR 13/28 POZ (rys. 9.29).





Rys. 9.29. Obudowa JZR 13/28 POZ

Inklinometry zostały zainstalowane z wykorzystaniem uchwytych magnetycznych (rys. 9.30).

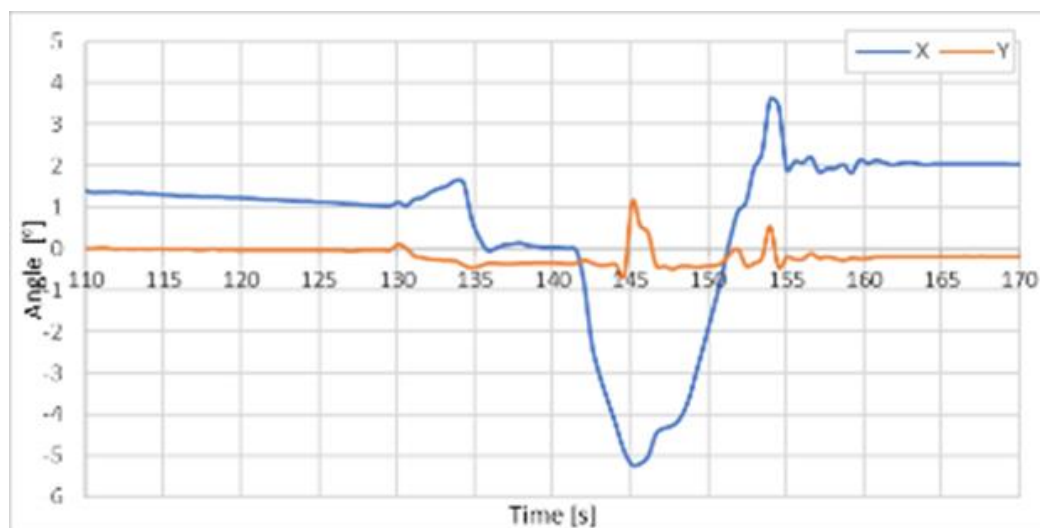


Rys. 9.30. Miejsca montażu inklinometrów: a) stropnica, b) spągница, c) łącznik lemiskatowy, d) osłona odzawałowa



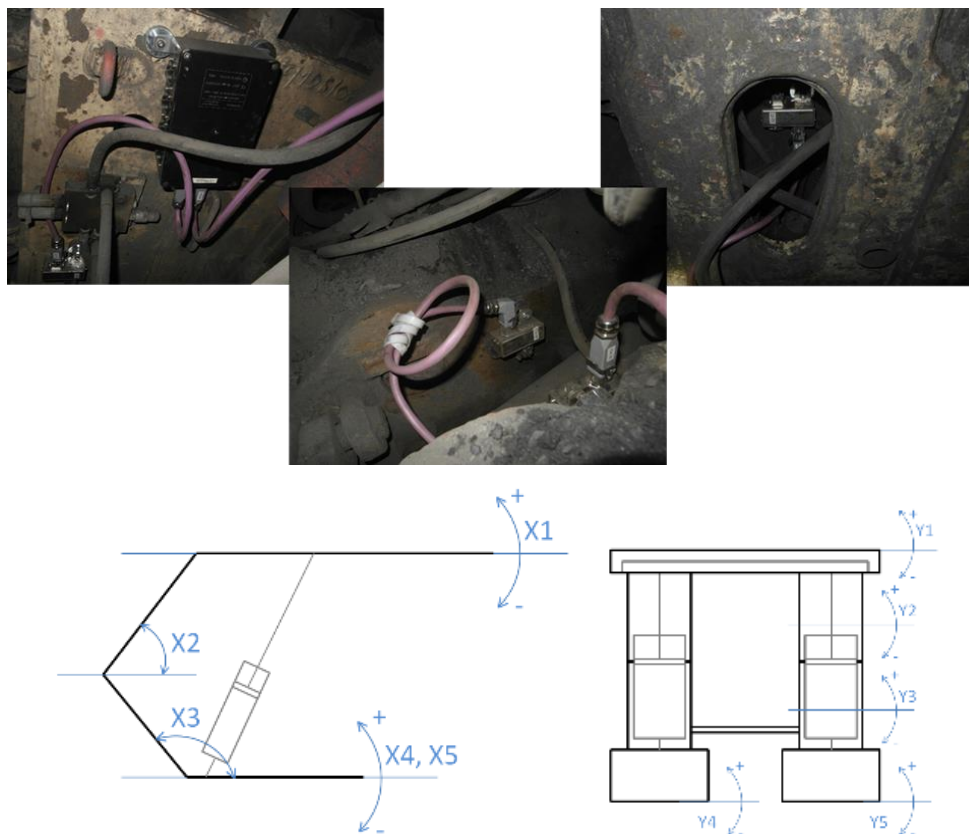
Rys. 9.31. Sekcja obudowy zmechanizowanej w stanowisku obrotowym – testy systemu SSMS

Sekcja wyposażona w inklinometry była testowana na hali oraz w stanowisku badawczym (rys. 9.31). W trakcie testów potwierdzono prawidłową pracę opracowanych elementów systemu. Wykonane testy przy różnych nachyleniach (rys. 9.32) pozwoliły na symulowanie pracy obudowy w warunkach rzeczywistych. Wynik laboratoryjnych testów funkcjonalnych, potwierdzający prawidłowe funkcjonowanie systemu, pozwolił na przygotowanie systemu SSMS do testów w podziemiach zakładu górniczego.



Rys. 9.32. Pomiary kąta nachylenia stropnicy w trakcie badań na stanowisku ITG KOMAG

W ścianie N7 KWK Pniówek elementy systemu SSMS zabudowano na 10 sekcjach. Pomiary prowadzone były od lipca do listopada 2020 roku. Przed przystąpieniem do instalacji systemu wykonano jego dostosowanie do obudowy FAZOS 18/29. Na rysunkach 9.33 i 9.34 przedstawione zostały zainstalowane komponenty systemu SSMS na sekcji obudowy zmechanizowanej.

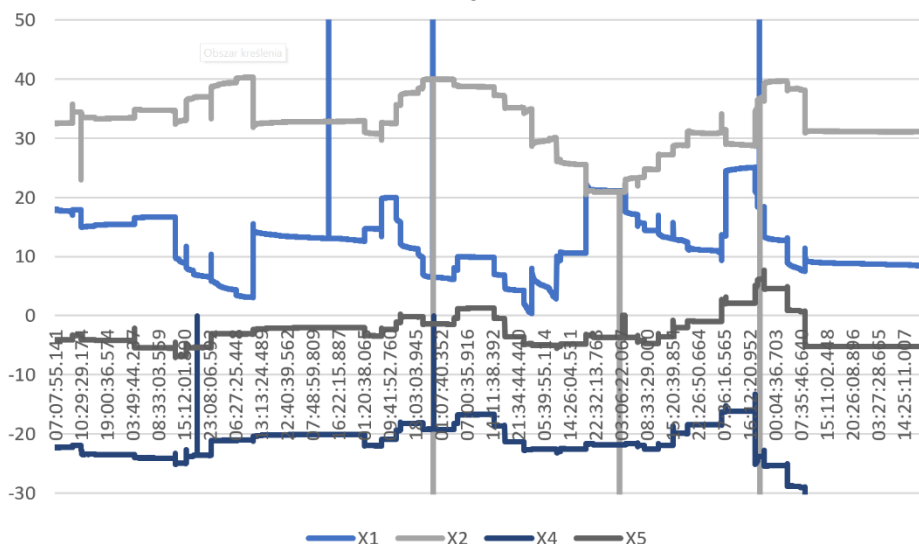


Rys. 9.33. Instalacja systemu SSMS w KWK Pniówek – SSMS-C i SSMS-I oraz oznaczenie kątów



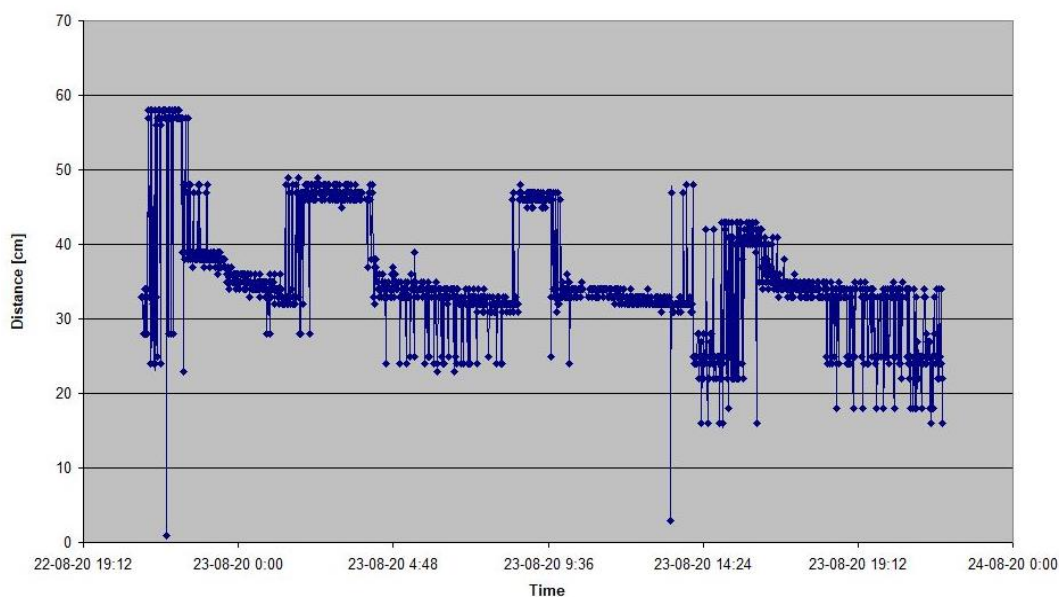
Rys. 9.34. Instalacja systemu SSMS w KWK Pniówek – SSMS-S





Rys. 9.35. Przebiegi czasowe kątów na sekcji nr 1 w okresie od 30-07-2020 do 09-08-2020

Na rysunku 9.35. przykładowy przebieg danych – kąty nachylenia poszczególnych elementów sekcji - rejestrowanych przez czujniki SSMS-I. Przebieg czasowy ścieżki przczołowej, rejestrowanej czujnikiem SSMS-S, przedstawiono na rysunku 9.36. Wykres ten obrazuje odległość końca stropnicy od czoła ściany, wyrażona w cm.



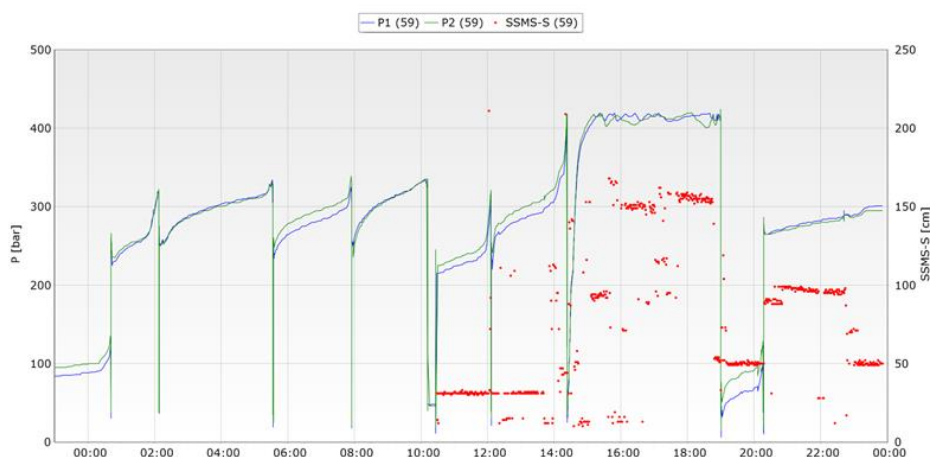
Rys. 9.36. Pomiar ścieżki przczołowej ściany N7 KWK Pniówek

System SSMS testowany był również w ścianie CZ-2 w KWK Budryk. Obudowa została wyposażona w specjalne uchwyty montażowe. Mocowanie inklinometrów wykonywane jest połączeniami śrubowymi. Producent obudowy – firma Becker Warkop – przystosowała 10 sekcji do montażu systemu pomiaru geometrii. Założono, że system SSMS będzie pracował w bezprzewodowej sieci wraz z czujnikami ciśnienia, opracowanymi również przez firmę Becker-Warkop. Docelowo dane transmitowane będą na powierzchnię kopalni poprzez infrastrukturę światłowodową kopalni Budryk. Na rysunku 9.37 przedstawiono komponenty systemu zainstalowane w ścianie CZ-2 KWK Budryk.



Rys. 9.37. Komponenty SSMS zainstalowane w ścianie CZ-2 KWK Budryk

W trakcie testów dokonywano zestawienia informacji uzyskanych z czujników mierzących odległość ścieżki przyczolowej z informacjami o podporności obudowy (rys. 9.38).



Rys. 9.38. Przykładowe wyniki testów w ścianie CZ-2 KWK Budryk: ciśnienie i ścieżka SSMS-S

## 9.9. Podsumowanie

Osiągnięte do tej pory efekty procesu poprawy kierowania stropem w ścianach JSW są zadawalające. Należy mieć na uwadze, że samo posiadanie systemów monitoringu bez ich aktywnego używania, analizowania i wyciągania wniosków z uzyskiwanych z nich danych jest bezcelowe. Planowany jest dalszy rozwój funkcjonującego w JSW systemu związanego z kierowaniem stropem w przodkach ścianowych. Dodatkowo rozważane jest uruchomienie pomiaru geometrii sekcji na wybranych ścianach w celu szybszej identyfikacji zagrożeń na szczególnie problematycznych ścianach. Ostatnim elementem, o którym już wcześniej wspomniano jest dalszy rozwój zintegrowanego systemu raportowania efektywności pracy przodków ścianowych.

## 10. Systemy gazometryczne

*Artur Dylong, Kazimierz Miśkiewicz*

### 10.1. Wstęp

Z początkiem lat sześćdziesiątych w ówczesnym Rybnickim Okręgu Węglowym uruchomiono pierwsze kopalnie (1960 r. KWK 1 Maja, 1962 r. KWK Jastrzębie, 1965 r. KWK Moszczenica) eksploatujące pokłady o dużej metaności, co spowodowało skokowy wzrost zagrożenia wybuchem w tych kopalniach. W początkowym, okresie z uwagi na ogromny wzrost poziomu zagrożenia metanowego, ograniczono stosowanie w nich energii elektrycznej. Stosowano różnorodne maszyny i urządzenia zasilane pneumatycznie (np. lokomotywy, wiertnice, oświetlenie wyrobisk, metanomierze, centralne strzelanie itp.). Chęć zwiększenia mechanizacji procesu urabiania wiązała się z koniecznością wprowadzenia napędów elektrycznych, których użytkowanie zależało między innymi od zastosowania systemów metanometrycznych (zwanych **metanometrią automatyczną**) powodujących samoczynne wyłączenie zasilania zagrożonych rejonów w przypadku wystąpienia stężenia metanu powyżej dopuszczalnego (2% lub mniej w niektórych sytuacjach).

Pierwsze rozwiązania tzw. metanometrii automatycznej wprowadzono do polskich kopalń w połowie lat sześćdziesiątych zarządzeniem Ministra Górnictwa i Energetyki z dnia 14.03.1967 r., które dopuściło wprowadzenie urządzeń elektrycznych, na szeroką skalę do kopalń metanowych, pod warunkiem stosowania w wyrobiskach przewietrzanych obiegowym prądem powietrza automatycznych, lokalnych zabezpieczeń metanometrycznych opartych na metanomierzach wyłączająco-rejestrujących. Zaczęto wtedy stosować metanomierze polskiej produkcji o bardzo nowatorskiej konstrukcji typu BARBARA-ROW z urządzeniem wyłączającym WSA-3. Metanomierz ten był zasilany z lokalnej prądnicy napędzanej turbiną zasilaną sprężonym powietrzem. Powietrze to przewietrzało równocześnie obudowę metanomierza. Był to pierwszy system analogowej metanometrii automatycznej z pomiarem cyklicznym co 4 min [Klakus, 1985; Cierpisz, 2007].

W latach siedemdziesiątych (1975 r.) wprowadzono do polskiego górnictwa francuski system CTT-63/40U, który umożliwiał pomiar stężenia metanu i prędkości powietrza (z pomiarem cyklicznym co 4 min), a także automatyczne wyłączanie zasilania. Jest to system z centralą telemetryczną umieszczoną w dyspozytorni. W latach osiemdziesiątych wprowadzono do eksploatacji systemy pozwalające pomiar tlenku węgla (mierniki typu ASCO, SATW) i wykrywanie dymu. Rozpoczęto budowę tzw. systemów wczesnego wykrywania pożaru SWWP – 1981 r.).

Równolegle rozpoczęto również prace konstrukcyjne dotyczące możliwości integracji wszystkich systemów do pomiarów parametrów atmosfery kopalnianej. Pierwszym tego typu rozwiązaniem był system SMP (System Metanowo-Pożarowy) firmy EMAG (1989 r.). Integracja tego rodzaju występuje również w systemie Venturon wprowadzonym do polskiego górnictwa w 1992 r. Wprowadzenie do systemów gazometrycznych dołowych iskrobezpiecznych sterowników PLC (zapoczątkowane w systemie Venturon) wprowadziło dodatkowe możliwości funkcjonalne systemów gazometrycznych takie jak transmisja sygnałów dwustanowych czy możliwość budowy rozbudowanych systemów blokad i wyłączeń. Początkowo (lata siedemdziesiąte) czterominutowy cykl pomiarowy systemów

gazometrycznych wydawał się wystarczający. Jednak stwierdzenie takich zagrożeń, jak wyrzuty metanu, spowodowała konieczność skrócenia cyklu pomiarowego metanomierzy. Wprowadzono tzw. „metanometrię szybką” z cyklem pomiarowym co 60 s oraz (z początkiem XXI wieku) tzw. metanometrię ciągłą.

Szczegółowe opisy wszystkich systemów gazometrycznych polskich kopalń, wraz z tabelarycznymi zestawieniami:

- systemów gazometrycznych eksploatowanych w polskich kopalniach,
- metanomierzy cyklicznych oraz ciągłych,
- mierników do pomiarów parametrów wentylacyjnych (o działaniu ciągłym i cyklicznym),
- przetworników dla czujników gazometrycznych, stacji dołowych i urządzeń wyłączających w systemach gazometrycznych,

przedstawiono w literaturze [Cierpisz, 2007].

Intensywna eksploatacja pokładów w rejonach z dużym poziomem zagrożenia metanowego (II, II, IV kategoria) i zapotrzebowanie na nowoczesne systemy metanometryczne spowodowało nie tylko rozwinięcia systemu CTT-63/40U, lecz przede wszystkim opracowanie krajowych cyfrowych rozwiązań systemów gazometrycznych. W stosunku do pierwszych konstrukcji systemów metanometrycznych w nowych krajowych rozwiązaniach wprowadzono następujące modyfikacje:

- zmniejszono energochłonność metanomierzy,
- zmniejszono czas repetycji (w niektórych przypadkach do 1 s),
- zastosowano cyfrowe protokoły transmisji sygnałów z czujników,
- opracowano cyfrowe mierniki innych parametrów wentylacyjnych (stężenie O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, gazy trujące, ciśnienie, temperatura, wilgotność, różnica ciśnień), co spowodowało rozszerzenie funkcjonalności systemu gazometrycznego do monitorowania także zagrożenia pożarowego,
- przekazywanie danych z systemów gazometrycznych do systemów wizualizacji,
- zbudowano cyfrowe stacje dołowe (centralki dołowe) umożliwiające realizację rozbudowanych układów wyłączeń zasilania urządzeń elektrycznych w zagrożonych rejonach.

Obecnie stosowane w polskich kopalniach systemy gazometryczne są dostarczane przez czterech krajowych producentów [Cierpisz, 2007]:

- EMAG/SEVITEL z Katowic - systemy SMP-NT/A,
- HASO S.C. Tychy - systemy telemetryczne typu CST-40/x [Paszek] oraz system wspomaganie dyspozytora metanometrii SW $\mu$ P,
- CARBOAUTOMATYKA S.A. Tychy. Przedsiębiorstwo Komplektacji i Montażu Systemów Automatyki - komputerowy system pomiarowy typu KSP-x,
- MICON Sp. z o.o. Przedsiębiorstwo Badawczo-Produkcyjne i Usługowo-Handlowe - systemy gazometryczne VENTURON oraz MICON-x [Firganek, 1999].

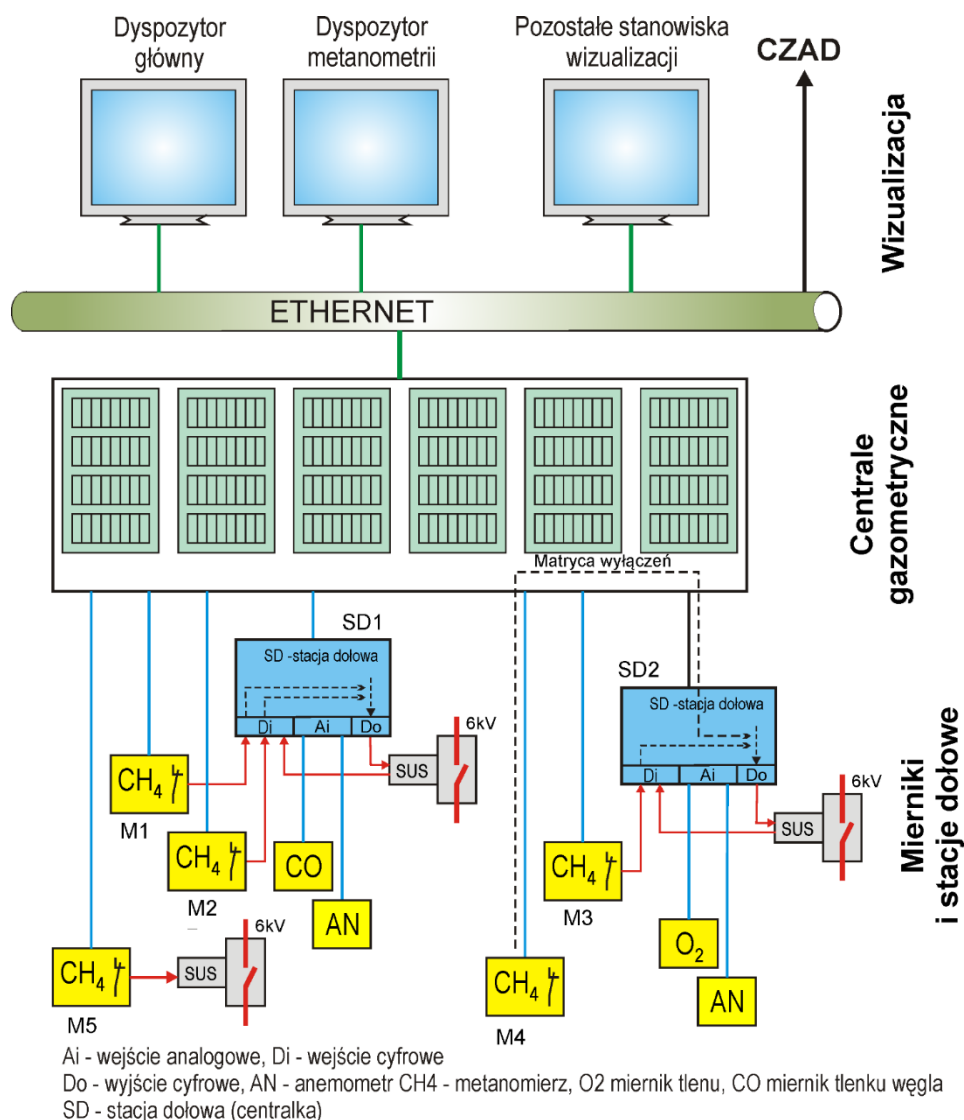
W latach osiemdziesiątych system SMP w został opracowany w Jednostce Badawczo-Rozwojowej Centrum Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa EMAG w Katowicach, producentem urządzeń stacyjnych i czujników systemu był początkowo Zakład Elektroniki Górniczej ZEG Tychy, później firma EMAG SERWIS. Obecnie instalację i bieżący serwis

systemu SMP w kopalniach przejęła firma SEVITEL z Katowic. Równolegle firma ta rozpoczęła również produkcję niektórych czujników dla tego systemu. W tym rozdziale dla uproszczenia jako producent elementów systemu SMP będzie używana umownie nazwa EMAG/SEVITEL.

## 10.2. Budowa systemu gazometrycznego

W systemie gazometrycznym (rys. 10.1.) można wyróżnić:

- część podziemną zawierającą urządzenia pomiarowe (mierniki zawartości gazów, anemometry itp.) oraz stacje dołowe zwane przez producentów centralkami,
- część stacyjną (powierzchniową) zawierającą centrale telemetryczne wraz ze stanowiskami operatorskimi i niezbędnymi urządzeniami komunikacyjnymi,
- część wizualizacyjną zawierającą stanowiska wizualizacyjne w dyspozytorni głównej, dyspozytorni metanometrycznej oraz w pomieszczeniach osób funkcyjnych; Plansze wizualizacyjne zawierają dane systemu gazometrycznego oraz z innych systemów w zależności od potrzeb.



Rys. 10.1. Ogólna struktura systemu gazometrycznego

Część stacyjna każdego systemu gazometrycznego eksploatowanego w kopalni, z uwagi na wymagany przepisami [RME, 2016] autonomiczny 12 godzinny czas pracy musi być zasilana napięciem bezprzerwowym z siłowni telekomunikacyjnej buforowanej zestawami baterii akumulatorów i spalinowym zespołem prądotwórczym.

Stacje dołowe umożliwiają realizację systemu blokad i wyłączeń bezpośrednio lub za pośrednictwem matryc wyłączeń. Lokalna matryca wyłączeń jest utworzona programowo w stacji dołowej (SD1 z rys. 10.1) tworząc np. iloczyn logiczny przekroczeń progów alarmowych w metanomierzach (M1, M2) lub obniżenia prędkości powietrza poniżej progu alarmowego (AN) czy też otwarcia śluzy wentylacyjnej (jednoczesne otwarcie dwóch tam). Centralna matryca wyłączeń jest utworzona programowo w centrali gazometrycznej na powierzchni obejmując jedną lub kilka powierzchniowych central telemetrycznych, powodując przesyłanie sygnału wyłączenia do odpowiedniego metanomierza lub centrali dołowej (np. SD2) i dalej do wyłącznika (poprzez SUS) w sieci elektroenergetycznej. Na rysunku 10.1 pokazano przykład realizacji:

- lokalnej matrycy wyłączeń obejmujące metanomierze M1 i M2,
- globalnej matrycy wyłączeń obejmującej metanomierze M3 i M4,
- bezpośredniego wyłączenia wyłącznika przez metanomierz M5.

### 10.3. Dołowe urządzenia pomiarowe

W systemach gazometrycznych dokonuje się pomiaru zawartości pewnych gazów powietrza istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa w kopalniach, takich jak np.:

- metan w zakresie 0÷100%,
- tlen w zakresie 0÷21%,
- tlenek węgla w zakresie 0÷2000 ppm,
- dwutlenek węgla w zakresie 0÷2%.

Ponadto w systemach gazometrycznych dokonuje się pomiaru prędkości powietrza, wilgotności, temperatury, ciśnienia bezwzględnego, różnicy ciśnień oraz monitoruje się stany tam wentylacyjnych (również czujnikami różnicy ciśnień) oraz wentylatorów lutniowych.

Najistotniejszą częścią dołowych urządzeń pomiarowych (mierników) jest czujnik (sensor), który przetwarza mierzoną wielkość fizyczną na sygnał elektryczny. Zasady działania czujników (sensorów) opierają się wykorzystaniu specyficznych właściwości fizycznych mierzonych gazów.

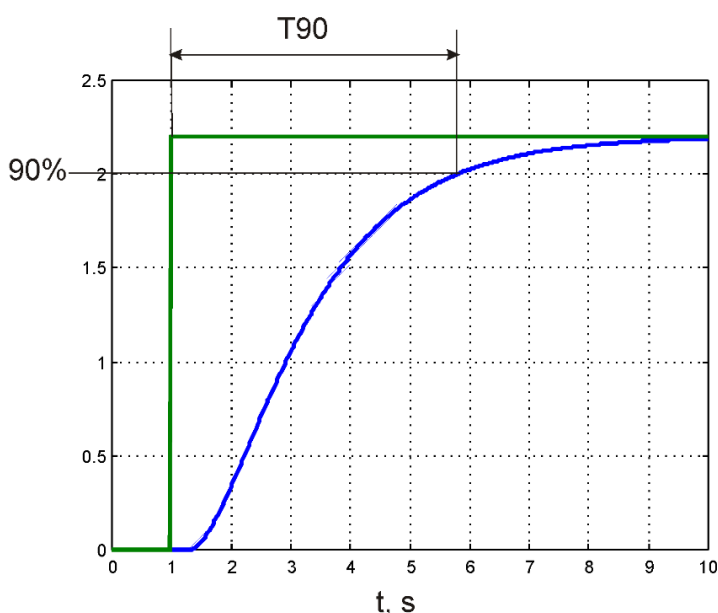
Pozostała część elektroniki miernika realizuje takie funkcje, jak:

- przetwarzanie analogowego sygnału sensora na postać cyfrową,
- obsługa komunikacji z centralą telemetryczną (gazometryczną) lub stacją dołową,
- obsługa kalibracji,
- obsługa poziomów ostrzegawczych i alarmowych,
- baterijne podtrzymanie zasilania,
- wyświetlanie wyników pomiaru,

- sterowanie przekaźników wyjściowych.

Do najważniejszych parametrów metrologicznych czujników gazometrycznych można zaliczyć [Cierpisz, 2007; Wasilewski, 2014]:

- zakres pomiaru,
- dokładność pomiaru,
- czułość zdefiniowaną jako stosunek sygnału wyjściowego do zawartości mierzonego gazu,
- statyczna charakterystyka przetwarzania jako zależność sygnału wyjściowego od zawartości mierzonego gazu (charakterystyka może być liniowa lub nieliniowa),
- czułość skrośna zdefiniowana jako stosunek sygnału wyjściowego do zawartości gazu nie mierzonego przez czujnik (lub innego parametru takiego jak np. temperatura wilgotność czy ciśnienie),
- protokół transmisji między miernikiem i centralą telemetryczną lub stacją dołową,
- częstotliwość repetycji,
- parametry dynamiczne, z których najważniejszym jest czas  $T_{90}$  czyli czas po jakim na wyjściu czujnika uzyskamy 90% wartości ustalonej przy skokowej zmianie stężenia badanego gazu na jego wejściu.



Rys. 10.2. Ilustracja definicji parametru  $T_{90}$

Rysunek 10.2 pokazuje przebieg sygnału wyjściowego miernika (metanomierza) na skokową zmianę stężenia metanu (od 0 do 2,2%) na wejściu przy braku filtracji cyfrowej sygnału. W niektórych rozwiązaniach stosuje się filtracje cyfrową sygnału wyjściowego sensora dla zmniejszenia czasu  $T_{90}$ .

#### 10.4. Metody pomiaru stężenia gazów

W górnictwie stosowane są następujące metody pomiaru zawartości gazów:

- katalicznego spalania (pomiar stężenia metanu do dolnej granicy wybuchowości),
- termokonduktometryczna (pomiar stężenia metanu powyżej dolnej granicy wybuchowości),



- absorpcja promieniowania podczerwonego (pomiar stężenia metanu oraz dwutlenku węgla),
- elektrochemiczna (pomiar stężenia tlenu i tlenku węgla).

#### 10.4.1. Metoda katalitycznego spalania

Najbardziej rozpowszechnioną metodą pomiaru stężenia gazów palnych (metanu) w zakresie poniżej dolnej granicy wybuchowości jest metoda katalitycznego spalania; głównie metanu. Elementami pomiarowymi w tej metodzie są pelistory.

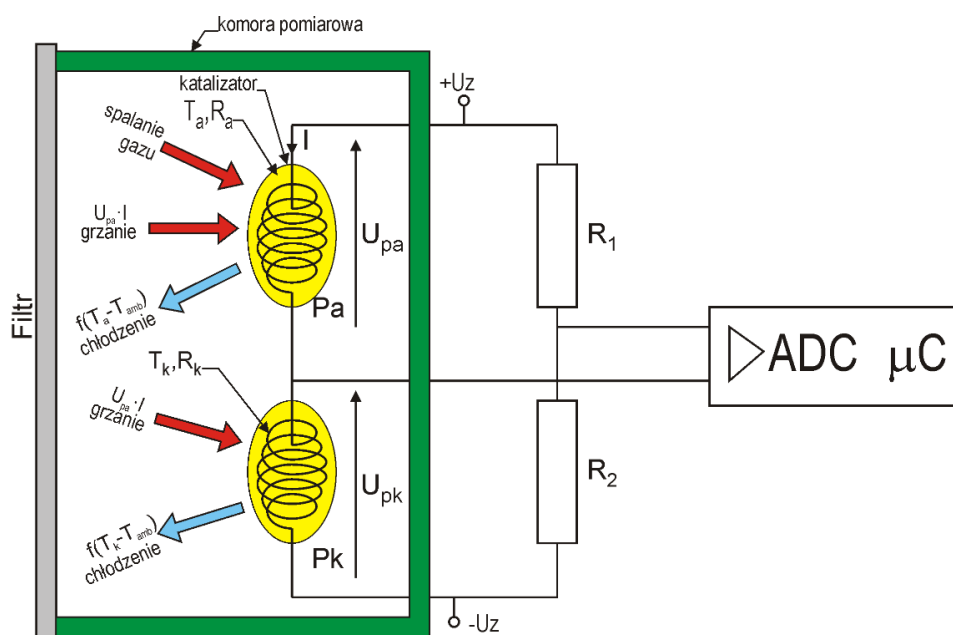
Pelistor (rys. 10.3) zawiera żaroodporną platynową spiralę grzejną zatopioną w warstwie tlenku aluminium. Metoda katalitycznego spalania wymaga użycia dwóch pelistorów:

- aktywnego Pa pokrytego katalizatorem,
- kompensacyjnego Pk.

Katalizator, charakteryzujący się dużą aktywnością, pozwala na uzyskanie zjawiska spalania metanu już przy temperaturze około 720 K, czyli mniejszej niż temperatura zapłonu metanu w powietrzu kopalnianym. Egzotermiczne spalanie metanu na podgrzanym elektrycznie pelistorze aktywnym powoduje wzrost jego temperatury a tym samym wzrost rezystancji.

Pomiar zmian rezystancji pelistora wywołanych spalaniem metanu odbywa się w układzie mostka Wheatstone'a. Jednym z ramion mostka jest pelistor aktywny Pa, na powierzchni którego zachodzi spalanie metanu, drugim jest pelistor kompensacyjny Pk pozbawiony katalizatora (ze względu na brak spalania metanu jego rezystancja nie zależy od stężenia metanu). Oba pelistory znajdują się w komorze pomiarowej. Pozostałe dwie gałęzie mostka tworzą dwa rezystory. Napięcie wyjściowe mostka jest przetwarzane na sygnał cyfrowy w przetworniku ADC i przeliczane na wartość stężenia metanu. Na rysunku 10.3. przedstawiono ilustrację zasady działania przetwornika pelistorowego.

Ta metoda nadaje się do pomiaru stężenia metanu poniżej dolnej granicy wybuchowości (5%).



Rys. 10.3 Ilustracja pracy mostka pelistorowego [Miśkiewicz, 2012]

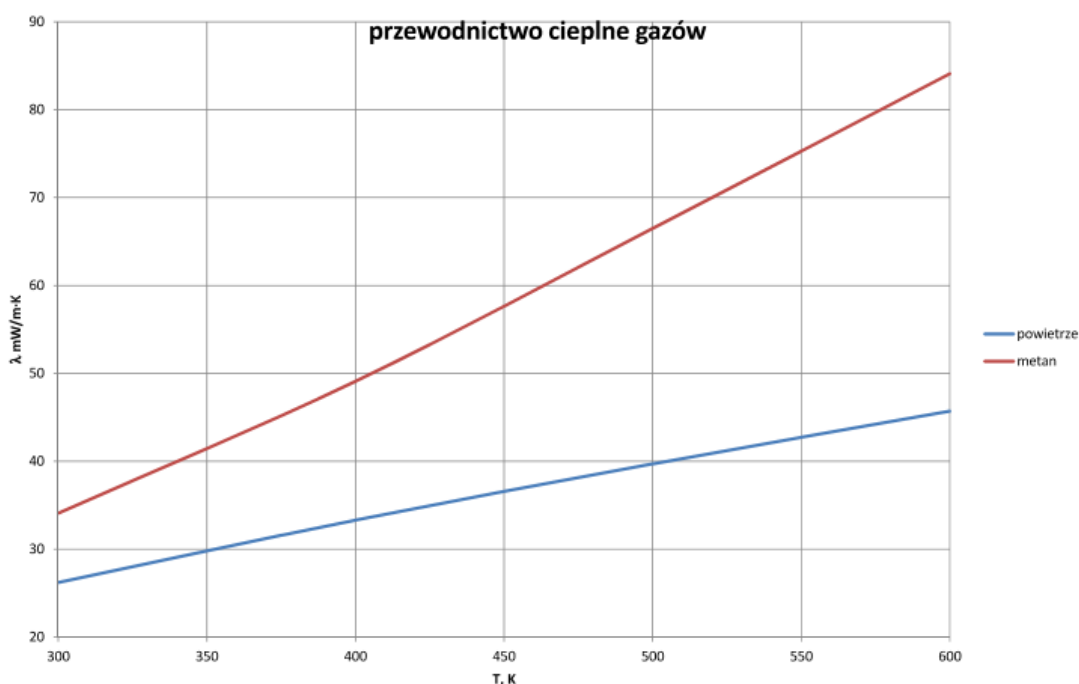
W metodzie katalitycznego spalania występuje niejednoznaczność sygnału wyjściowego mostka dla dużych i małych koncentracji metanu. Jest to związane z tym, że dla dużych stężeń metanu (powyżej 9%) ilość tlenu zawarta w powietrzu jest niewystarczająca do spalania metanu, intensywność spalania metanu na pelistorze maleje powodując zmniejszanie sygnału wyjściowego mostka. Z tego powodu czujniki pelistorowe nadają się do pomiaru stężenia gazów wybuchowych (np. metanu) poniżej dolnej granicy wybuchowości.

Wadą metody katalitycznego spalania jest wrażliwość pelistora na zatrucie pewnymi substancjami chemicznymi (np. silikony w klejach czy piankach używanych w kopalniach), co powoduje czasową lub nieodwracalną utratę możliwości pomiarowych mostka pelistorowego. Dla ograniczenia tego zjawiska komora pomiarowa jest chroniona odpowiednim filtrem.

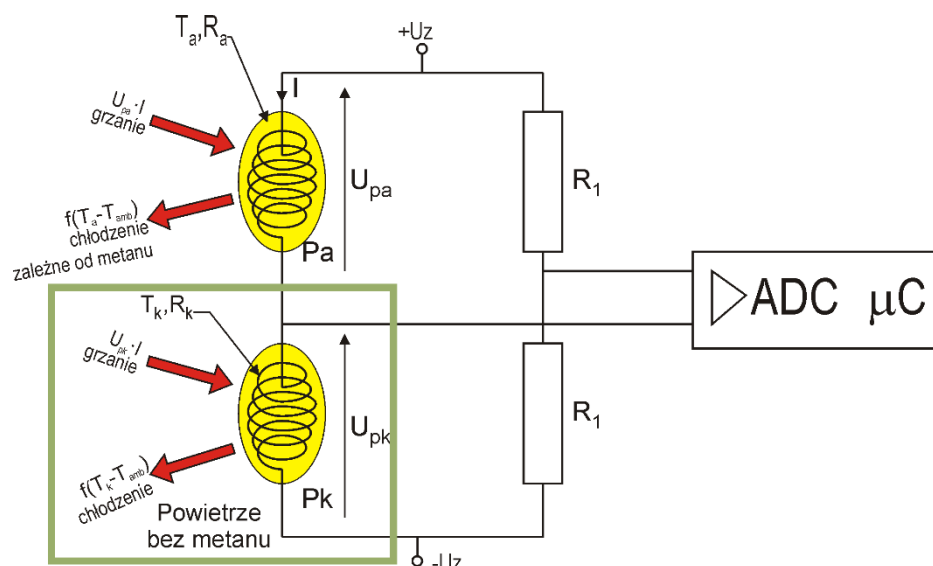
Czułość mostków pelistorowych jest w granicach kilkadziesiąt mV/1%CH<sub>4</sub> [E2V].

#### 10.4.2. Metoda termokonduktometryczna

Metoda termokonduktometryczna wykorzystuje różnice przewodnictwa cieplnego mierzonego gazu i powietrza. W kopalniach metodę termokonduktometryczną stosuje się do pomiaru stężenia metanu powyżej 60% dolnej granicy wybuchowości. Na rysunku 10.4. pokazano zależności przewodności cieplnej powietrza i metanu od temperatury. Przy temperaturach powyżej 400°C przewodność metanu jest dwukrotnie większa niż powietrza.



Rys. 10.4. Zależność przewodności cieplnej metanu i powietrza od temperatury [Engineers Edge]



Rys. 10.5 Ilustracja pracy mostka konduktometrycznego

Czujnik termokonduktometryczny zbudowany jest w postaci mostka (rys. 10.5), którego jedno ramię stanowi aktywna spirala platynowa Pa (pelistor), umieszczona w komorze pomiarowej, a drugie ramię stanowi spirala kompensacyjna Pk (pelistor) umieszczona w zamkniętej komorze zawierającej gaz odniesienia (powietrze). Mostek jest zasilany napięciem kilku woltów, a prąd płynący przez spirale powoduje ich podgrzanie do temperatury około 200°C.

W przypadku, gdy w komorze pomiarowej jest powietrze, mostek jest w stanie równowagi a napięcie na jego przekątnej jest równe 0. Jeżeli w komorze pomiarowej jest powietrze z metanem to na skutek zwiększonego chłodzenia temperatura spirali pomiarowej obniżą się, jej rezystancja zmniejszy się i na przekątnej mostka pojawia się napięcie zależne od stężenia metanu.

#### 10.4.3. Metoda absorpcji promieniowania podczerwonego

Promieniowanie podczerwone przechodząc przez gaz ulega pochłanianiu (absorpcji) [Nowrot, 2011]. Natężenie promieniowania po przejściu w gazie drogi optycznej  $x$  jest równe [Sobków, 2010]:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x} \quad (10.1)$$

gdzie:

$I_0$  – natężenie promieniowania wchodzące do warstwy,

$\alpha$  – współczynnik absorpcji.

Zależność (10.1) jest zwana prawem Lamberta-Beera. Możemy ją przekształcić do postaci:

$$\lg \frac{I_0}{I} = A = \alpha \cdot x \cdot \lg e \quad (10.2)$$

gdzie:

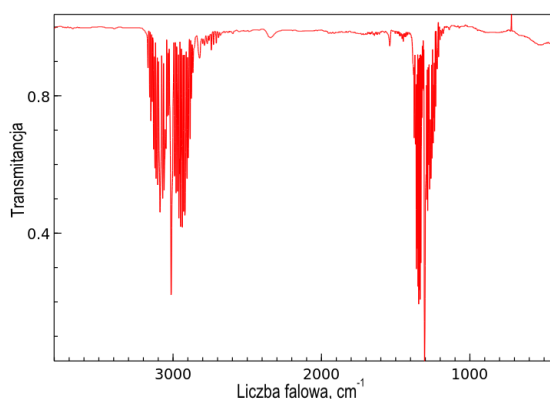
wielkość  $A$  nazywany absorbancją.

Wielkość:

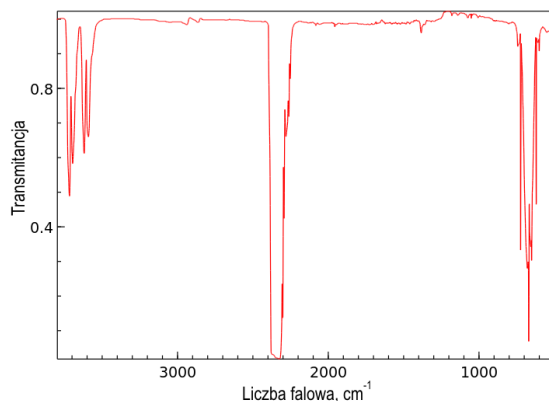
$$T = \frac{I}{I_0} \quad (10.3)$$

nazywamy transmitancją.

Zarówno transmitancja jak i absorbanca przy stałej drodze geometrycznej zależy od rodzaju gazu oraz długości fali. Zależność transmitancji  $T$  a także absorbancji  $A$  od długości fali nazywamy widmem absorpcyjnym. Na rysunkach 10.6 oraz 10.7 pokazano widma absorpcyjne metanu i dwutlenku węgla w funkcji liczby falowej (liczba falowa jest odwrotnością długości fali i jest podawana w  $\text{cm}^{-1}$ ).



Rys. 10.6. Widmo absorpcyjne metanu w funkcji liczby falowej dla drogi geometrycznej 5 cm [NIST]



Rys. 10.7. Widmo absorpcyjne  $\text{CO}_2$  w funkcji liczby falowej dla drogi geometrycznej 5 cm [NIST]

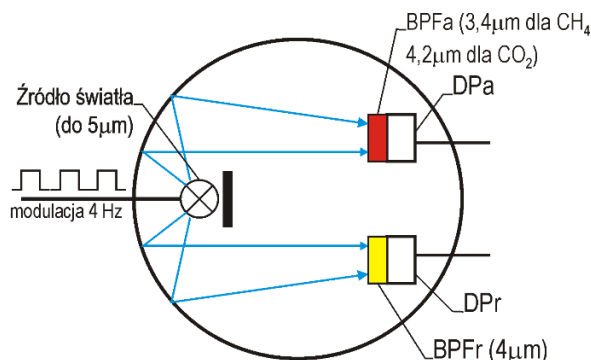
W widmie absorpcyjnym metanu występują dwa minima:

- dla liczby falowej  $3000 \text{ cm}^{-1}$  (długość fali  $\lambda=3,4 \mu\text{m}$ ) – wykorzystywane w metanomierzach,
- dla liczby falowej  $1300 \text{ cm}^{-1}$  (długość fali  $7,6 \mu\text{m}$ ).

W widmie absorpcyjnym dwutlenku węgla występują dwa minima:

- dla liczby falowej  $2300 \text{ cm}^{-1}$  (długość fali  $\lambda=3,3 \mu\text{m}$ ) – wykorzystywane w miernikach dwutlenku węgla,
- dla liczby falowej  $1300 \text{ cm}^{-1}$  (długość fali  $7,6 \mu\text{m}$ ).

W przypadku mieszanin gazów transmitancja zależy od stężenia badanego gazu. Zależność ta jest często nieliniowa [Sobków, 2010].



Rys. 10.8. Szkic komory pomiarowej sensora IR [RAE]

Na rysunku 10.8. pokazano przykład konstrukcji sensora IR (wykonanego wg specyfikacji technicznej RAE TN 169 [RAE]) wykorzystującego pewne właściwości absorpcyjne promieniowania podczerwonego. W komorze pomiarowej jest umieszczone źródło światła emitujące również promieniowanie podczerwone w zakresie do 5  $\mu\text{m}$ . Promieniowanie podczerwone odbija się od wewnętrznej powierzchni komory pomiarowej i pada na powierzchnię dwóch detektorów promieniowania podczerwonego aktywnego DPa i referencyjnego DPR. Są to detektory piroelektryczne pokryte filtrami optycznymi. Jeden z filtrów (pomiarowy BPFa) przepuszcza promieniowanie o długości odpowiadającej maksimum absorbancji mierzonego gazu ( $\text{CH}_4$  lub  $\text{CO}_2$ ), a drugi (referencyjny BPFr) promieniowanie o innej długości (np. 4  $\mu\text{m}$ ) nie tłumione przez badany gaz. Porównanie sygnałów z obu detektorów piroelektrycznych pozwala określić stężenie badanego gazu. Ze względu na właściwości detektorów piroelektrycznych źródło światła jest zasilane napięciem prostokątnym o częstotliwości 4 Hz.

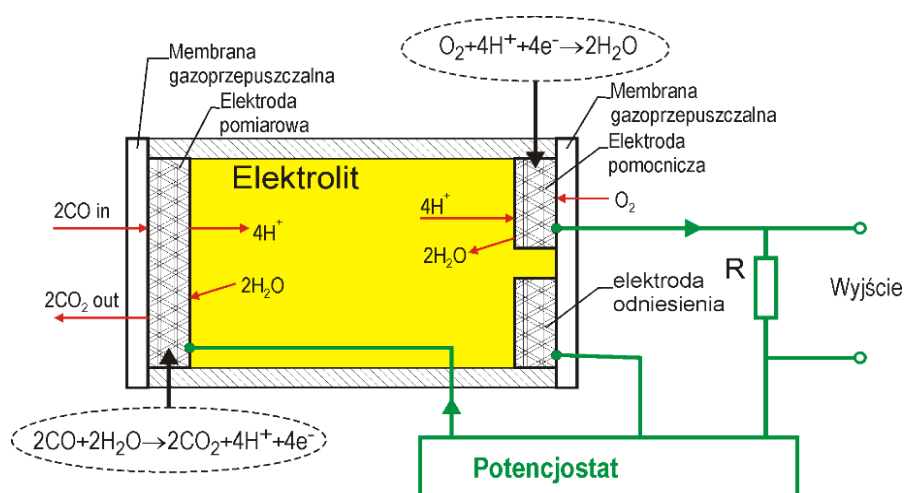
Metoda absorpcji promieniowania podczerwonego jest nazywana skrótowo NDIR (nondispersive infrared) [E2V].

#### 10.4.4. Metoda elektrochemiczna

Czujnik elektrochemiczny (ogniwo elektrochemiczne) jest niskonapięciowym źródłem prądowym, w którym następuje reakcja chemiczna mierzonego gazu (redukcja katodowa lub utlenianie anodowe) i wytworzenie prądu w obwodzie zamykającym elektrody ogniwa. Tego rodzaju czujnik jest ogniwem paliwowym w mikroskali.

Ilustrację budowy ogniwa elektrochemicznego (z utlenianiem anodowym) dla pomiaru stężenia tlenku węgla CO pokazano na rysunku 10.9. Ogniwo elektrochemiczne zawiera trzy elektrody:

- elektroda pomiarowa,
- elektroda pomocnicza,
- elektroda odniesienia.

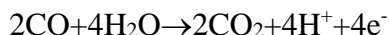


Rys. 10.9. Ilustracja zasady działania czujnika elektrochemicznego CO [NEMOTO]

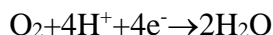
Badany gaz wnika do elektrody pomiarowej przez hydrofobową (teflonową) membranę. Elektroda pomiarowa zawiera metaliczny katalizator, który umożliwia zajście odpowiednich

reakcji chemicznych z udziałem badanego gazu. Budowa elektrody pomiarowej (rodzaj katalizatora) i wymagane napięcie na elektrodzie odniesienia zależą od badanego gazu.

W przypadku czujnika tlenu węgla (CO) na elektrodzie pomiarowej (anodzie) przebiega reakcja utleniania:



Jony dodatnie wodoru  $\text{H}^+$  przechodzą do elektrody pomocniczej, a elektrony stanowią ładunki płynące w zewnętrznym obwodzie dołączonym do czujnika. Na elektrodzie pomocniczej (katodzie) zachodzi reakcja:



W wyniku opisanych reakcji tlenek węgla jest utleniany do dwutlenku węgla, a między anodą i katodą jest tworzone niskonapięciowe źródło prądowe o wydajności 55 – 850 nA/ppm mierzonego gazu. Elektrody czujnika elektrochemicznego przyłączone są do układu elektronicznego zwanego potencjostatem (*ang. potentiostat*), który zapewnia odpowiednią różnicę potencjałów między elektrodami.

#### 10.4.5. Porównanie metod pomiaru stężenia gazów

Metody pomiarowe pokazane w rozdziale 10.4 stosowane są do pomiaru zawartości różnych gazów i w różnych zakresach pomiarowych. W tabeli 10.1. pokazano właściwości wybranych metod stosowanych do pomiaru stężenia gazów w powietrzu.

#### Porównanie właściwości stosowanych metod pomiaru stężenia gazów

Tabela 10.1.

	Katalitycznego spalania	Termokonduktometryczna	IR (NDIR)	elektrochemiczna
gaz	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> ,	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>	CO, O <sub>2</sub> , gazy trujące
zakres pomiarowy	0 – 5%	0 – 100%	0 – 100% CH <sub>4</sub> , 0 – 5% CO <sub>2</sub>	
T90	≈5 s	≈15 s	25 – 40 s	≈40 s
selektywność	Gazy palne	Wrażliwość na CO <sub>2</sub>	Dobra selektywność	Dobra selektywność
zastosowanie w górnictwie	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub>	CO, O <sub>2</sub> ,
czułość	10-30 mV/%CH <sub>4</sub>	≈1 mV/%CH <sub>4</sub>	Fa <sup>*</sup> =0,08 dla 5%CH <sub>4</sub> Fa=0,3 dla 5%CO <sub>2</sub>	15 μA/1%O <sub>2</sub> , 55-850 nA/1ppm
uwagi	zakres do 5%	Metanomierze dwuzakresowe, rurociągi odmetanowania		

\*Fa – (*ang. Fractional Absorbance*) – względna absorbancja

### 10.5. Metody pomiaru prędkości powietrza

Prędkość powietrza w wyrobiskach kopalnianych mierzy się anemometrami. W kopalniach wykorzystuje się następujące rodzaje anemometrów:

- anemometry mechaniczne,
- termoanemometry,



- anemometry ultradźwiękowe,
- anemometry wirowe (*ang. vortex*).

### 10.5.1. Termoanemometry

Termoanemometry (anemometry cieplne, anemometry konwekcyjne) wykorzystują zależność rezystancji elementu pomiarowego od jego temperatury, która jest związana przepływem powietrza w pobliżu tego elementu (lub termistora). Elementem pomiarowym (sensorem) takiego anemometru może być specjalny cienki drut (*ang. „hot wire”*) o średnicy  $1\div 100\ \mu\text{m}$  i długości  $0,2\div 20\ \text{mm}$ ) lub termistor. Przy pewnych założeniach [Roszczynialski] otrzymuje się zależność na ilość ciepła  $q$  przekazywaną w jednostce czasu od podgrzewanego prądem elektrycznym drutu do przepływającego gazu w postaci:

$$q = (a + b \cdot \sqrt{v}) \cdot (T_d - T_o) \quad (10.4)$$

gdzie:

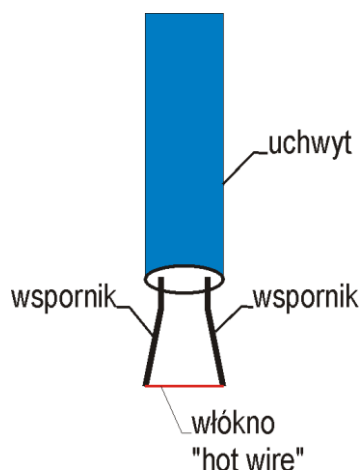
$a, b$  - współczynniki,

$T_d$  – temperatura drutu,

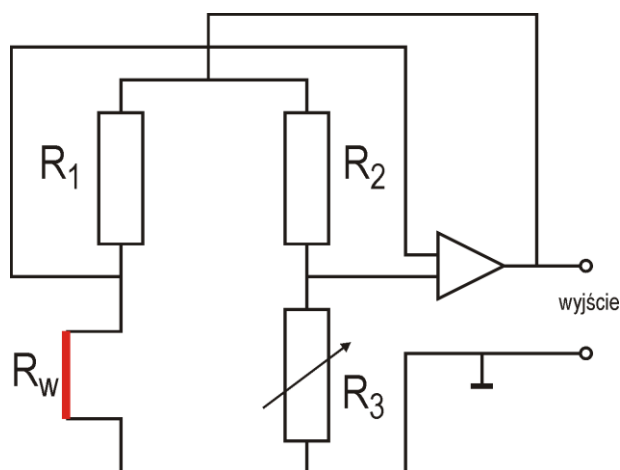
$T_o$  – temperatura otoczenia drutu (powietrza),

$v$  – prędkość przepływu powietrza.

Anemometry z podgrzewanym drutem wykonuje się jako stałoprądowe oraz stałotemperaturowe [Biernacki]. Na rysunku 10.10 pokazano widok elementu pomiarowego termoanemometru, a na rysunku 10.11 pokazano uproszczony schemat układu termoanemometru stałotemperaturowego.



Rys. 10.10. Widok elementu pomiarowego „hot wire”

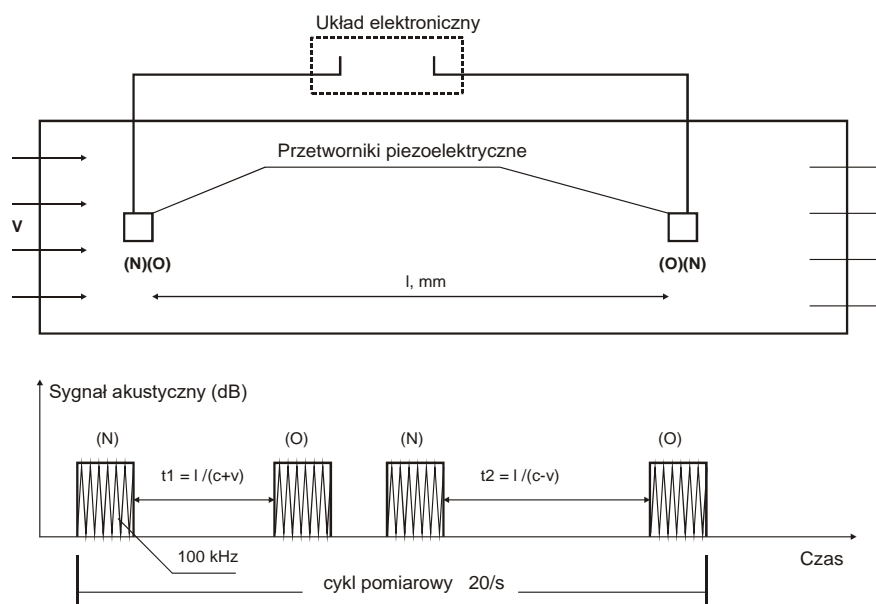


Rys. 10.11. Uproszczony schemat termoanemometru stałotemperaturowego [Biernacki, 1997]

Sensor termoanemometru stałotemperaturowego o rezystancji  $R_w$  jest jedną z gałęzi mostka (pozostałe gałęzie tworzą rezystory  $R_1, R_2, R_3$ ). Napięcie nierównowagi mostka jest wzmacniane we wzmacniaczu i podawane jako napięcie zasilania mostka. Zastosowane sprzężenie zwrotne powoduje utrzymywanie mostka w stanie równowagi, co zapewnia stałą rezystancję (w tym również temperaturę) sensora  $R_w$ . Napięcie wyjściowe wzmacniacza jest funkcją prędkości powietrza opływającego sensor.

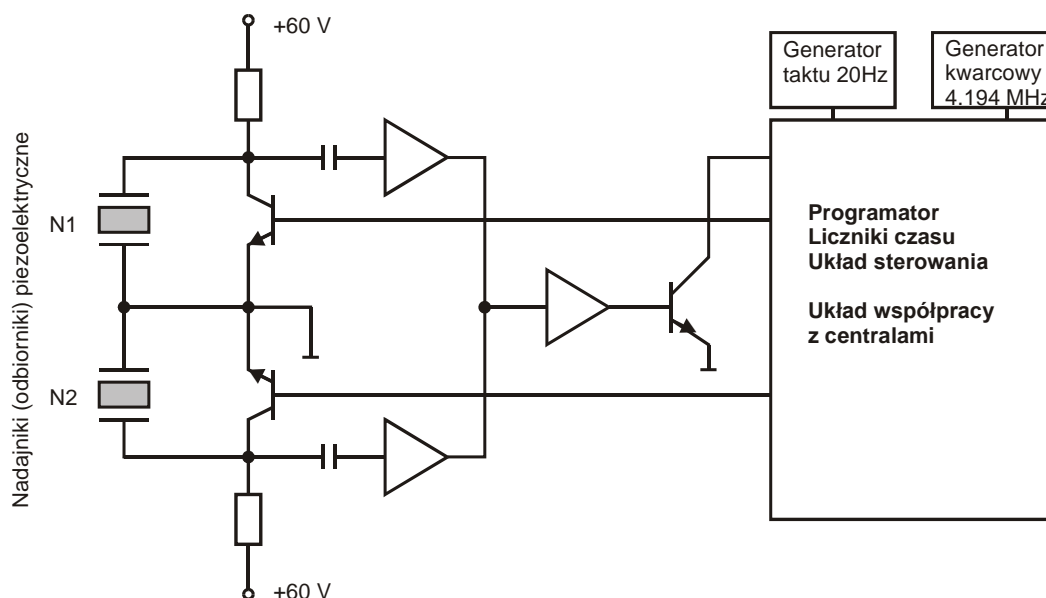
### 10.5.2. Anemometry ultradźwiękowe

Zasada działania tego anemometru została przedstawiona na rysunku 10.12.



Rys. 10.12. Zasada działania anemometru ultradźwiękowego

W tym rozwiązaniu mierzy się dwa czasy propagacji fali ultradźwiękowej: zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza oraz przeciw kierunkowi przepływu powietrza. Schemat blokowy anemometru ultradźwiękowego AS-2s (EMAG) przedstawiono na rysunku 10.13. [Cierpisz, 2007]



Rys. 10.13. Schemat blokowy anemometru AS-2S

Dwa przetworniki piezoelektryczne emitują na przemian impulsy ultradźwięków o częstotliwości 100 kHz. Przełączanie przetworników działających jako odbiornik i nadajnik odbywa się z częstością 20 przełączeń na sekundę. Wynik pomiaru

uśredniany jest z ostatnich dziesięciu pomiarów. Czasy propagacji sygnału zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza  $t_1$  i przeciw przepływowi powietrza  $t_2$  wynoszą:

$$t_1 = \frac{l}{c + v} \quad t_2 = \frac{l}{c - v} \quad (10.5)$$

gdzie:

$l$  - odległość między przetwornikami piezoelektrycznymi (ok. 30 cm),

$c$  - prędkość dźwięku w powietrzu,

$v$  - prędkość przepływu powietrza.

Wynikiem pomiaru jest różnica czasów:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2 \cdot l \cdot v}{c^2 - v^2} \approx \frac{2 \cdot l \cdot v}{c^2} \quad (10.6)$$

Istotną zaletą metody ultradźwiękowej jest dolny zakres pomiarowy, który zaczyna się od 0 m/s. Maksymalne (możliwe do zmierzenia) prędkości powietrza wynoszą w tej metodzie ok. 20 m/s, powyżej której występuje turbulentny przepływ powietrza.

## 10.6. Stacjonarne mierniki gazometryczne

Mierniki stacjonarne realizują następujące zadania:

- pomiar parametrów atmosfery kopalnianej,
- transmisja wyniku pomiaru do centrali telemetrycznej,
- wysyłanie własnego numeru identyfikacyjnego do centrali telemetrycznej,
- możliwość przeprowadzenia właściwej procedury kalibracji z zabezpieczeniem przed ingerencją osób niepowołanych,
- obsługa styków wyłączających (również półprzewodnikowych) używanych do wyłączenia zasilania w przypadkach zagrożeń.

Mierniki mogą być konstruowane jako odrębne urządzenia (wraz z podtrzymaniem baterijnym) lub jako zestaw zawierający przetwornik oraz czujnik, co umożliwia tworzenie miernika przez dołączenie do uniwersalnego przetwornika różnych czujników w zależności od potrzeb. W niniejszym rozdziale zostanie przedstawiona charakterystyka wybranych stacjonarnych mierników stosowanych w systemach gazometrycznych. Szerszy przegląd mierników gazometrycznych przedstawiono w literaturze [Cierpisz, 2007; Wasilewski, 2014; Mróz, 2017].

Mierniki są zasilane zdalnie z centrali telemetrycznej lub stacji dołowej. Mogą być wyposażone również w podtrzymanie bateryjne na krótki czas. Obsługują określony protokół transmisji danych do centrali telemetrycznej lub stacji dołowej. Transmisja wyników pomiarów do stacji dołowej wykorzystuje najczęściej standard 0,2÷2 V. Transmisja danych do centrali telemetrycznej wykorzystuje obecnie najczęściej protokół cyfrowy (firmowy). Możliwe jest również wykorzystywanie powszechnie stosowanego w Polsce w centralach gazometrycznych protokołu częstotliwościowego (5÷12 kHz), a także transmisji modemowej FSK [Cierpisz, 2007].

### 10.6.1. Metanomierze

W systemach gazometrycznych JSW S.A. są stosowane metanomierze do pomiaru stężenia gazów w wyrobisku następujących producentów:

- metanomierze CSM-1, CSM-3, CSM-3i, CSM-3m produkowane przez firmę HASO,
- metanomierze MM-4 i MM-4 z wyniesioną głowicą pomiarową na kablu, MM-2PW, MM-2PW z wyniesioną głowicą pomiarową na kablu, DCH, produkowane przez EMAG SERWIS [Szczucki, 2013],
- metanomierze CM-10c przyłączane do przetwornika PSM, produkowane dawniej przez ZEG,
- metanomierze CPC-2, SC-CH4 produkowane przez firmę Carboautomatyka.

Dla pomiaru stężenia metanu w rurociągach odmetanowania stosowane są metanomierze wykorzystujące metodę termokonduktometryczną:

- CMW-10c (wraz z przetwornikiem PSM) produkcji ZEG,
- CSM-1R produkcji HASO.

Na rysunku 10.14 pokazano fotografie wybranych metanomierzy stosowanych w JSW S.A.





MM-2PW

MM-2PW z wyniesioną  
głowicą pomiarową

CPC-2

SC-CH4

CSM-3m

CMW-10c

CM-10cw

PSM-10cw

CSM-1R

Rys. 10.14. Fotografie wybranych metanomierzy stosowanych w systemach gazometrycznych [HASO, SEVITEL, CARBO, EMAGS]

Podstawowe parametry wybranych metanomierzy stosowanych w JSW S.A. przedstawiono w tabeli 10.2. [HASO, SEVITEL, CARBO]. W metanomierzach tych stosowane są następujące metody pomiarowe:

- metoda katalicznego spalania (zakres 0÷5%) oraz metoda termokonduktometryczna (zakres 5÷100%) - wykorzystane w metanomierzach dwuzakresowych (TK),
- metoda absorpcji promieniowania podczerwonego (NDIR).

## Najważniejsze parametry wybranych metanomierzy stosowanych w JSW S.A.

Tabela 10.2.

	CSM-1	CSM-3	CSM-3i	CSM-3m	CM-10c	MM-4	MM-2PW	CPC-2	SC-CH4
metoda pomiaru	TK	TK	NDIR	NDIR	TK	TK	TK	TK	TK
zakres pomiaru	0–100%	0–100%	0–100%	0–100%	0–100%	0–100%	0–100%	0–100%	0–100%
błąd podstawowy 0 – 2%	0,1% CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>		0,1% CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>	
2% - 2,5%	0,3% CH <sub>4</sub>	5% wsk.	0,1% CH <sub>4</sub>	0,2% CH <sub>4</sub>		5% wsk.	0,1% CH <sub>4</sub>	0,1% CH <sub>4</sub>	
2,5% - 5%	0,3% CH <sub>4</sub>	5% wsk.	0,3% CH <sub>4</sub>	0,2% CH <sub>4</sub>		5% wsk.	10% wsk. CH <sub>4</sub>	0,3% CH <sub>4</sub>	
5% - 10%	3% CH <sub>4</sub>	3% CH <sub>4</sub>	1% CH <sub>4</sub>	5% rdg.		3% CH <sub>4</sub>	10% rdg. CH <sub>4</sub>	3% CH <sub>4</sub>	
10% - 60%	3% CH <sub>4</sub>	3% CH <sub>4</sub>	3% CH <sub>4</sub>	5% rdg.		3% CH <sub>4</sub>	10% rdg. CH <sub>4</sub>	3% CH <sub>4</sub>	
60% - 100%	3% CH <sub>4</sub>	5% rdg.	3% CH <sub>4</sub>	5% rdg.		5% rdg.	10% rdg. CH <sub>4</sub>	3% CH <sub>4</sub>	
T90, s	<5	<5	<25	<7		<5	<6	<15	
czas repetycji, s	<2	<2	<2	<2	6	<2			
transmisja	cyfrowa	cyfrowa	cyfrowa	cyfrowa	5 – 15 kHz cyfrowa	cyfrowa	cyfrowa	cyfrowa	5-15 kHz cyfrowa 0,4-2 V
styki wyłączające	2	2	2	2	1	2		2	2
wejścia dwustanowe	2	2	2	2		2			1
uwagi					z przetwor-nikiem PSM-10c				

TK – metoda termokatalityczna i termokonduktometryczna

NDIR – metoda absorpcji promieniowania podczerwonego

rdg – wskazania

Metanomierze przyłącza się do modułów liniowych central telemetrycznych (tego samego producenta). Z formalnego punktu widzenia możliwość przyłączenia danego typu metanomierza do centrali telemetrycznej innego producenta istnieje w ograniczonym zakresie. Jest ona możliwa po wzajemnym udostępnieniu protokołów transmisyjnych i zdefiniowaniu tego faktu w dopuszczeniu Prezesa WUG w Katowicach dla tego typu systemu gazometrycznego. Czas T90 metanomierzy pelistorowych jest zazwyczaj poniżej 5 s, natomiast dla metanomierzy NDIR czas T90 jest poniżej 25 s (dla CSM-3i) lub poniżej 7 s (dla CSM-3 m).

Metanomierze posiadają możliwość zdefiniowania dwóch progów (ostrzegawczy i alarmowy) połączonych logicznie z wyjściami dwustanowymi realizującymi funkcję wyłączeń. Styki wyjść dwustanowych mogą być również sterowane z centrali telemetrycznej i są wyposażone w diodę lub układ rezystorów dla zwiększenia bezpieczeństwa funkcjonalnego [Cierpisz, 2007]. Niektóre metanomierze są wyposażone w wejścia dwustanowe, do których można podłączyć styk pomocniczy wyłącznika wyłączanego wyjściem dwustanowym.



### 10.6.2. Inne mierniki gazometryczne

W systemach gazometrycznych JSW S.A. są stosowane mierniki do pomiaru tlenku węgla następujących producentów:

- mierniki tlenku węgla CSCO-1 i CSCO-2 produkowane przez firmę HASO,
- mierniki tlenku węgla CSTW-3 o zakresie 200 ppm i 1000 ppm przyłączane do przetwornika Kx-2A produkowane przez firmę CARBOAUTOMATYKA,
- miernik tlenku węgla MCO (dwuzakresowy 0-200 ppm, 0-1000 ppm) opracowany przez EMAG.

Wymienione mierniki wykorzystują elektrochemiczną metodę pomiaru tlenku węgla.

W systemach gazometrycznych stosowane są mierniki do pomiaru stężenia dwutlenku następujących producentów:

- mierniki dwutlenku węgla CSCD-3i produkowane przez firmę HASO,
- mierniki dwutlenku węgla UCS-1 (CO<sub>2</sub>) produkowane przez firmę SEVITEL.

Wymienione mierniki wykorzystują metodę pochłaniania promieniowania podczerwonego (NDIR) do pomiaru dwutlenku węgla.

W tabeli 10.3 przedstawiono najważniejsze parametry wybranych mierników tlenku i dwutlenku węgla a na rysunku 10.15. fotografie wybranych mierników tlenku i dwutlenku węgla [HASO, SEVITEL, CARBO].

#### Najważniejsze parametry wybranych mierników tlenku i dwutlenku węgla

Tabela 10.3.

	CSCO-1	CSCO-2	CSTW-3	MCO	CSCD-3i	UCS-1
mierzona wielkość	CO	CO	CO	CO	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
zasilanie	centrala telemetryczna	stacja dołowa	centrala telemetryczna	stacja dołowa	centrala telemetryczna	koncentrator MKS-2
zakres pomiaru	0-1000 ppm 0-200 ppm**	0-1000 ppm	0-200 ppm 0-1000 ppm*	0-200 ppm 0-1000 ppm	0-5%	0-5%
błąd podstawowy, ppm						
0-100						
100-200	3	3	5	5		
200-1000	5	5	5	5	0,1%	
	25	25	15	25		
T90, s	<40	<40		<60	<25	
Czas repetycji, s	<2				<2	
transmisja	cyfrowa/ 10-6 kHz	cyfrowa/ 0,4-2V	5-12,5 kHz	2 wyjścia 0,4-2V	cyfrowa	RS485
styki wyłączające	1				1	
uwagi			współpracuje z przetwornikiem Kx-2A			

\* w zależności od wykonania

\*\* dla transmisji częstotliwościowej



miernik CO typu CSCO-1



miernik CO typu CSCO-2

miernik CO typu CSTW-3  
(bez przetwornika)miernik CO typu CSTW-3 z  
przetwornikiem Kx-2A

miernik CO typu MCO

miernik CO<sub>2</sub> typu CSCD-3imiernik CO<sub>2</sub> typu UCS-1

Rys. 10.15. Fotografie wybranych mierników tlenku i dwutlenku węgla

W systemach gazometrycznych stosowane są mierniki do pomiaru stężenia tlenu następujących producentów:

- mierniki tlenu CSO-1 i CSO-2 produkowane przez firmę HASO,
- mierniki tlenu MO2 opracowane przez EMAG,
- mierniki tlenu CST-3A przyłączane do przetworników Kx-2A produkowane przez firmę CARBOAUTOMATYKA.

Wymienione mierniki wykorzystują elektrochemiczną metodę pomiaru tlenu. W tabeli 10.4 przedstawiono najważniejsze parametry wybranych mierników tlenu, a na rysunku 10.16. fotografie wybranych mierników tlenu [HASO, SEVITEL, CARBO].

#### Najważniejsze parametry wybranych mierników tlenu

Tabela 10.4.

	CSO-1	CSO-2	CST-3A	MO2
zasilanie	centrala telemetryczna	stacja dołowa	centrala telemetryczna	stacja dołowa
zakres pomiaru, %	0 – 25	0–25	0-25	0 – 25 0 - 1000
błąd podstawowy, %	0,5	0,5	0,3	0,5
T90, s	<20	<20		<45
czas repetycji, s	<2			
transmisja	cyfrowa/10 – 5kHz	cyfrowa/0,4 – 2V	5 – 12,5 kHz	0,4 – 2V
uwagi			współpracuje z przetwornikiem Kx-2A	

miernik O<sub>2</sub> typu CSO-2miernik O<sub>2</sub> typu CSO-1miernik O<sub>2</sub> typu CST-3Amiernik O<sub>2</sub> typu MO2

Rys. 10.16. Fotografie wybranych mierników tlenu

W systemach gazometrycznych stosowane są mierniki do pomiaru temperatury, wilgotności, ciśnienia, różnicy ciśnień następujących producentów:

- miernik różnicy ciśnień CSPD-4 produkowany przez firmę HASO,
- miernik różnicy ciśnień DRC produkowany przez firmę EMAG SERWIS,
- miernik różnicy ciśnień MCR opracowany przez EMAG,
- miernik temperatury wilgotności i ciśnienia CSPA-2 produkowany przez firmę HASO,
- miernik temperatury, wilgotności THP-2 opracowany przez EMAG,
- miernik temperatury w lutniociągu CSTK-2 produkowany przez firmę HASO.

W tabeli 10.5 przedstawiono najważniejsze parametry, a na rysunku 10.17 fotografie wybranych mierników temperatury, wilgotności, ciśnienia i różnicy ciśnień [HASO, EMAG/SEVITEL].

#### Najważniejsze parametry wybranych mierników ciśnienia, wilgotności i temperatury

Tabela 10.5.

	MCR	DCR	CSPD-4	CSPA-2	THP-2
wielkość mierzona	różnica ciśnień	różnica ciśnień	różnica ciśnień	ciśnienie wilgotność temperatura	ciśnienie
zasilanie	stacja dołowa	centrala telemetryczna	stacja dołowa	stacja dołowa	centrala telemetryczna
zakres pomiaru,	od ±250 Pa do ±7500 Pa	od ±1000Pa do ±20000Pa	od ±250Pa do ±7500Pa	800-1300 hPa 0 – 100% -20 - +50°C	800 – 1300 hPa
błąd podstawowy,	2% zakresu	1% zakresu	2% zakresu	2 hPa 3% 1°C	0,3 hPa
transmisja	0,4 – 2V	cyfrowa	0,4 – 2 V cyfrowa	3 wyjścia 0,4 – 2 V	cyfrowa



miernik różnicy ciśnień MRC



miernik różnicy ciśnień DRC



miernik różnicy ciśnień CSPD-4

miernik temperatury wilgotności  
i ciśnienia CSPA-2miernik temperatury,  
wilgotności i ciśnienia THP-  
2miernik temperatury  
w lutniociągu CSTK-2

Rys. 10.17. Fotografie wybranych mierników różnicy ciśnień, temperatury, wilgotności i ciśnienia

W systemach gazometrycznych stosowane są anemometry następujących producentów:

- anemometr SAT-1 produkowany przez firmę ZMUE,
- anemometr CSV-5A produkowany przez firmę HASO,
- anemometr AS-3 opracowany przez instytut EMAG.

W tabeli 10.6 przedstawiono najważniejsze parametry a na rysunku 10.18 fotografie wybranych anemometrów. [HASO, SEVITEL, ZMUE]

### Najważniejsze parametry wybranych anemometrów

Tabela 10.6.

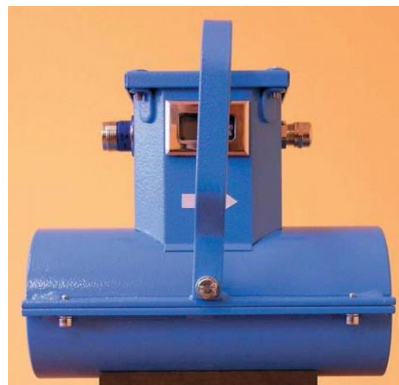
	SAT-1	CSV-5A	AS-3
rodzaj	skrzydełkowy	termoanemometr	ultradźwiękowy
zasilanie	stacja dołowa	stacja dołowa lub centrala telemetryczna	stacja dołowa
zakres pomiaru, m/s	od 0,2 – 5 do 0,2 – 20	0,01 – 10 m/s	0,1 – 10
błąd podstawowy	1% rdg	2% rdg+0,1	5%rdg +0,1
transmisja	0,4 – 2V 8 - 12 kHz	0,2 – 2 V lub cyfrowa	0,4 – 2V



anemometr SAT-1



anemometr CSV-5A



anemometr AS-3

Rys. 10.18. Fotografie wybranych anemometrów

## 10.7. Stacje dołowe

Stacje dołowe w zależności od konfiguracji pełnią następujące funkcje:

- są zasilane z linii telemetrycznej (z wyjątkiem MKS-2 która ma zasilanie lokalne),
- odbierają sygnały analogowe (o standardzie 0,4 – 2 V) z mierników o małym poborze mocy (CO, O<sub>2</sub>, anemometr),
- pełnią rolę specjalizowanego programowalnego sterownika, realizującego pewne funkcje logiczne niezbędne dla budowy układów blokad i wyłączeń,
- realizują dwustronną komunikację z centralami telemetrycznymi.

W JSW S.A. w systemach gazometrycznych stosuje następujące stacje dołowe:

- centraliki analogowe CSA-1, CSA-2 i dwustanowe CSD-1 firmy HASO,
- centraliki CSD, CSD-1 MCCD-01 opracowane w instytucie EMAG,
- modemowe koncentratory sygnałów MKS-2 firmy SEVITEL.

Na rysunku 10.19 pokazano widoki stacji dołowych (centralek), a w tabeli 10.7 zamieszczono liczbę i rodzaj wejść i wyjść eksploatowanych w kopalniach stacji dołowych [HASO, EMAGS, SEVITEL].







MKS-2

CCD

CCD-1

Rys. 10.19. Fotografie wybranych centralek dołowych

### Konfiguracje wybranych stacji dołowych

Tabela 10.7.

	MCCD-01	CCD-1	CSA-1	CSA-2	CSD-1	MKS-2
liczba wejść dwustanowych	do 16	16		4	16	4
liczba wyjść dwustanowych	do 12	4		2	8	4
liczba wejść analogowych 0,4-2 V	do 8	8	4	4		4

Transmisja sygnałów dwustanowych do stacji dołowych, jak i ze stacji dołowych, mierników gazometrycznych czy czujników odbywa się w sposób zapewniający odpowiedni poziom bezpieczeństwa funkcjonalnego. Zastosowane rozwiązania (diody lub rezystory) pozwalają na rozróżnienie zwarcia styku sterującego od zwarcia w kablu transmisyjnym [Cierpisz, 2007].

## 10.8. Systemy gazometryczne

Systemy gazometryczne stosowane w kopalniach JSW S.A. realizują następujące funkcje:

- pomiar i monitorowanie stężenia metanu w wyrobiskach i rurociągach sieci odmetanowania,
- pomiar i monitorowanie wybranych parametrów powietrza kopalnianego, ( np. stężenie CO) umożliwiającymi wczesne wykrywanie pożarów podziemnych,
- monitorowanie parametrów fizycznych i składu powietrza (stężenie O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, temperatura, wilgotność, prędkość powietrza) w celu bieżącej analizy stanu wentylacji i prowadzenia działań profilaktycznych,



- monitorowanie stanu urządzeń wentylacyjnych (tam wentylacyjnych, wentylatorów głównego przewietrzania, wentylatorów pomocniczych i lutniowych),
- realizacja automatycznych wyłączeń zasilania w zagrożonych rejonach,
- generowanie ostrzeżeń, alarmów i raportów,
- synchronizacja czasu względem urzędowego wzorca czasu,
- przekazywanie danych do systemów wizualizacji oraz ich archiwizacja.

W JSW S.A. są stosowane dwa systemy gazometryczne:

- system SMP-NT firmy EMAG/SEVITEL,
- system CST-40 firmy HASO.

Kopalnie JSW S.A. są kopalniami metanowymi, więc wszystkie elementy dołowe systemów gazometrycznych oraz przyłącza dołowe central telemetrycznych muszą spełniać wymogi dyrektywy ATEX [ATEX, RMR].

Konfiguracja systemu gazometrycznego kopalni może być scharakteryzowana przez podanie:

- ilości i typów central telemetrycznych,
- ilości czynnych linii telemetrycznych (modułów liniowych ML, w które są wyposażone centrale),
- ilości mierników poszczególnych wielkości fizycznych.

W systemie CST-40 firmy HASO występują dwa rodzaje central telemetrycznych:

- CST-40/A o maksymalnej pojemności do 40 linii telemetrycznych (modułów ML),
- CST-40/C o maksymalnej pojemności do 80 linii telemetrycznych (modułów ML).

W systemie SMP-NT firmy EMAG/SEVITEL występują trzy rodzaje central telemetrycznych:

- CMC-3MS o maksymalnej pojemności do 64 linii telemetrycznych,
- CMC-4 lub o CMC-5 maksymalnej pojemności 80 linii telemetrycznych.

#### **10.8.1. System SMP-NT w KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice**

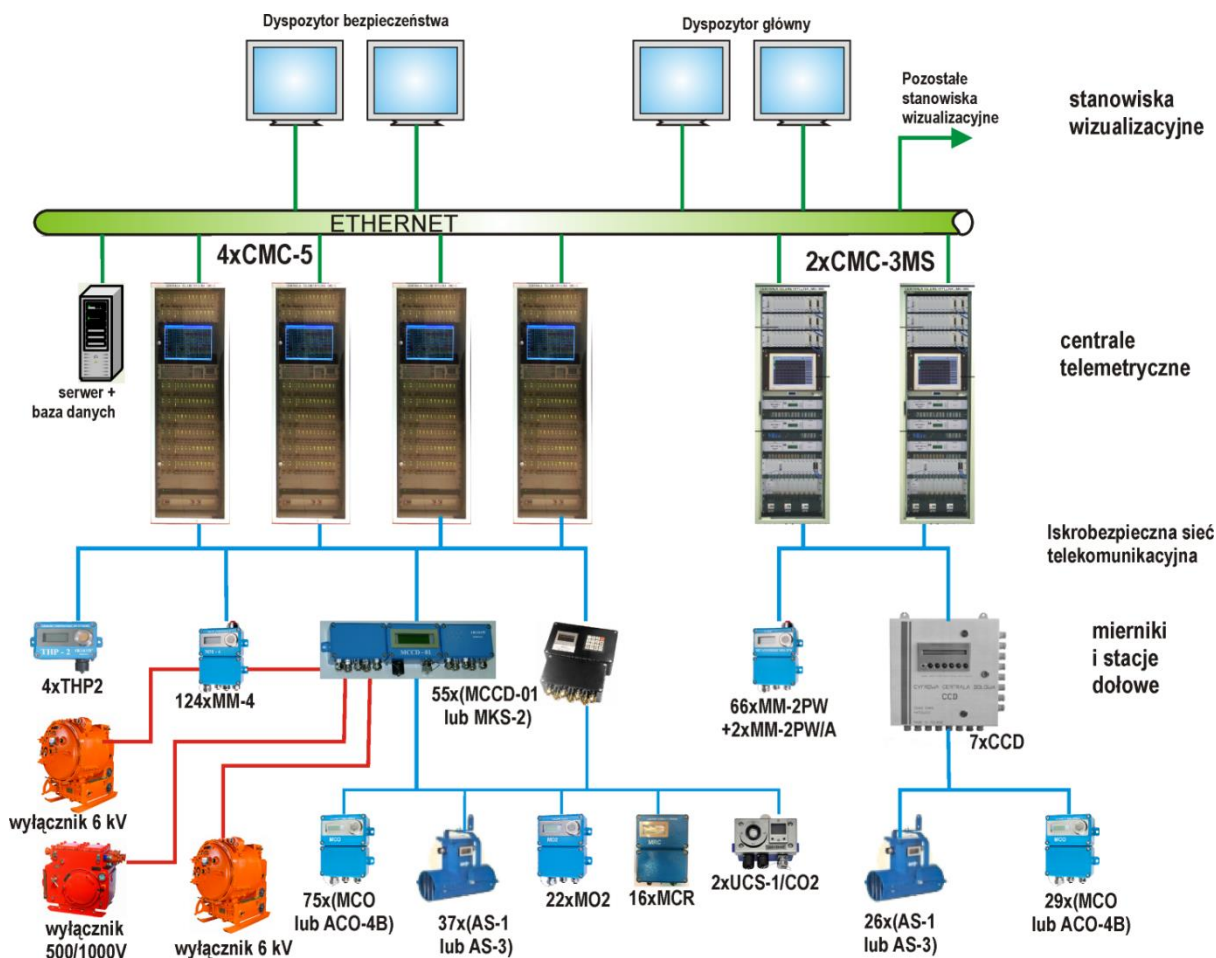
Schemat blokowy systemu SMP-NT w KWK Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice pokazano na rysunku 10.20. Schemat ten nie uwzględnia dodatkowej centrali telemetrycznej CST-40/C eksploatowanej w kopalni. Na rysunku kolorem niebieskim zaznaczono iskrobezpieczną dołową sieć telekomunikacyjną, kolorem czerwonym zaznaczono (w uproszczeniu bez niezbędnych separatorów) łącza układów blokad i wyłączeń, a kolorem zielonym wydzieloną sieć komputerową realizującą archiwizację danych oraz przekazywanie danych do systemu wizualizacji.

Część stacyjna systemu gazometrycznego wyposażona jest następujące elementy:

- 2 centrale telemetryczne typu CMC-3MS (sumaryczna pojemność 2x64 linii),
- 3 centrale telemetryczne CMC-5 (pojemność 3x80 linii).

Według stanu z końca 2021 roku do central CMC-3MS podłączonych było:

- 26 anemometrów typu AS-1, AS-3,
- 2 metanomierze wysokich stężeń typu MM-2PW/A do pomiaru w rurociągach odmetanowania,
- 66 metanomierzy MM-2PW,
- 7 centralk CCD do których podłączono 29 mierników CO typu ACO-4B oraz MCO.



Rys. 10.20. Schemat blokowy systemu gazometrycznego SMP-NT w Ruchu Szczygłowie

Do central CMC-5 podłączonych było:

- 124 metanomierze typu MM-4,
- 4 mierniki parametrów fizycznych powietrza typu THP-2,
- 55 centralk MCCD-01, MKS-2 – z odpowiednimi miernikami:
  - 75 mierników CO typu ACO-4B oraz MCO,
  - 37 anemometrów typu AS-3 oraz AS-1,
  - 22 mierniki tlenu typu MO2,
  - 16 czujników różnicy ciśnień typu MRC,
  - 2 mierniki pomiaru CO<sub>2</sub> typu UCS-1/CO<sub>2</sub>.

Tak więc w części dołowej systemu gazometrycznego Ruchu Szczygłowice (w końcu 2021 roku) eksploatowano następujące mierniki:

- 190 metanomierzy,
- 104 mierniki tlenku węgla,
- 63 anemometry,
- 22 mierniki tlenu,
- 16 mierników różnicy ciśnień,
- 2 mierniki dwutlenku węgla,
- 4 mierniki ciśnienia, temperatury i wilgotności,
- 2 mierniki wysokich stężeń metanu,

co daje w sumie 403 mierniki. Ponadto zainstalowano 62 stacje dołowe.

Procentowy udział poszczególnych rodzajów mierników w ogólnej liczbie eksploatowanych jest więc następujący:

- 47% metanomierzy,
- 26% mierników tlenku węgla,
- 15% anemometrów,
- 5% mierników tlenu,
- 4% mierników różnicy ciśnień.

#### **10.8.2. System CST-40 w KWK Borynia-Zofiówka Ruch Borynia**

Jako przykład drugiego systemu gazometrycznego eksploatowanego w kopalniach JSW S.A. na rysunku 10.22 przedstawiono schemat blokowy systemu CST-40 firmy HASO w konfiguracji dla w KWK Borynia-Zofiówka Ruch Borynia wraz z liczbą i rodzajami stosowanych w tej kopalni mierników. W ruchu Borynia eksploatowanych jest 11 central telemetrycznych typu CST-40 firmy HASO. Wszystkie dane liczbowe pochodzą z września 2022 roku.

Na rysunku kolorem niebieskim zaznaczono iskrobezpieczną dołową sieć telekomunikacyjną, kolorem czerwonym zaznaczono (w uproszczeniu bez niezbędnych separatorów) łącza układu blokad i wyłączeń, a kolorem zielonym wydzieloną sieć komputerową realizującą archiwizację danych oraz przekazywanie danych do systemu wizualizacji.

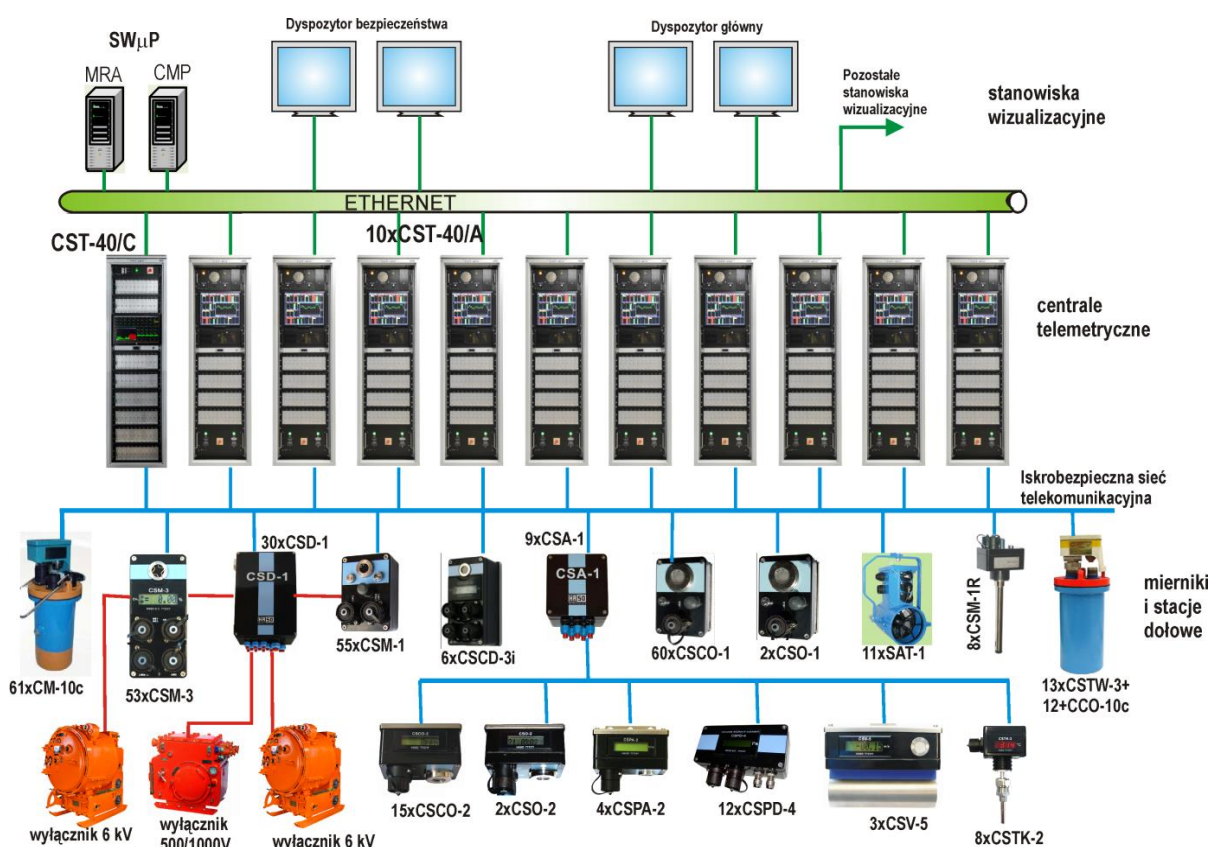
Część stacyjna systemu wyposażona jest w 11 central telemetrycznych typu CST-40/x.

Do central CST-40/x podłączonych jest:

- 61 metanomierzy CM-10ca z przetwornikami PSM,
- 55 metanomierzy CSM-1,
- 55 metanomierzy CSM-3,
- metanomierz do pomiaru metanu w rurociągach odmetanowania CMW-10c,
- 8 metanomierzy do pomiaru metanu w rurociągach odmetanowania CSM-1R,
- 12 mierników tlenku węgla CCO-1 z przetwornikami PSM,

- 60 mierników tlenu węgla CSCO-1,
- 15 mierników tlenu węgla CSCO-2,
- 2 mierniki tlenu CSO-1,
- 2 mierniki tlenu CSO-2,
- 6 mierników dwutlenku węgla CSCD-3i,
- 4 mierniki ciśnienia, temperatury i wilgotności CSPA-2,
- 8 mierników temperatury w lutniociągach CSTK-2,
- 11 anemometrów SAT-1F,
- 3 anemometry CSV-5,

co daje w sumie 326 mierników. Ponadto zainstalowano 39 stacji dołowych. Wszystkie rodzaje i liczby eksploatowanych mierników przedstawiono w formie graficznej (jako widoki poszczególnych urządzeń) na rysunku 10.21.



Rys. 10.21. Schemat blokowy systemu gazometrycznego CST-40 w Ruchu Borynia

Procentowy udział poszczególnych rodzajów mierników eksploatowanych w Ruchu Borynia (w stosunku do wszystkich zainstalowanych) jest następujący:

- 52% to metanomierze,
- 31% mierniki tlenu węgla,
- 5% anemometry,
- 12% to pozostałe mierniki stosowane w kopalni.

### 10.8.3. Podsumowanie

W tabeli 10.8. pokazano ilości central telemetrycznych oraz ilości czynnych linii telemetrycznych (dołowych linii abonenckich) systemów SMP-NT i CST-40 w poszczególnych kopalniach JSW S.A. Najmniej czynnych linii telemetrycznych jest w Ruchu Knurów (395), a najwięcej w KWK Pniówek (693). Ilość czynnych linii telemetrycznych nie jest równa liczbie mierników gazometrycznych, bo część linii telemetrycznych jest wykorzystywana do obsługi stacji dołowych (w tym dwustanowych nieobsługujących mierników), a niektóre stacje dołowe obsługują po kilka mierników gazometrycznych z wyjściami analogowymi (0,2 – 2 V).

Szczegółowa analiza wyposażenia systemów gazometrycznych była przeprowadzona w ruchu Borynia, gdzie eksploatowany jest wyłącznie system CST-40 oraz w ruchu Szczygłowice, gdzie praktycznie eksploatowany jest system SMP-NT (system CST-40 posiada tylko 20 linii telemetrycznych).

#### Struktura części stacyjnej systemów gazometrycznych w poszczególnych kopalniach JSW S.A (według stanu z września 2022 roku)

Tabela 10.8.

Kopalnia	Liczba central telemetrycznych	Liczba czynnych linii abonenckich w poszczególnych systemach	Sumaryczna liczba czynnych linii abonenckich w kopalni
KWK Borynia-Zofiówka <b>Ruch Borynia</b>	10xCST-40/A 1xCST-40/C	385	385
KWK Budryk	7xCST-40/A 2xCST-40/C 2xCMC-3MS	379 dla CST-40 128 dla SMP-NT	507
KWK Jastrzębie-Bzie	6xCST-40/A 2xCST-40/C	400	400
KWK Knurów-Szczygłowice <b>Ruch Knurów</b>	6xCST-40/A 1xCST-40/C 1xCMC-3MS 2xCMC-5	257 dla CST-40 138 dla SMP-NT	395
KWK Pniówek	6xCST-40/C 4xCMC-3MS	437 dla CST-40 256 dla SMP-NT	693
KWK Knurów-Szczygłowice <b>Ruch Szczygłowice</b>	1xCST-40/C 2xCMC-3MS 4xCMC-5	20 dla CST-40 388 dla SMP-NT	408
KWK Borynia-Zofiówka <b>Ruch Zofiówka</b>	6xCST-40/A 1xCST-40/C 3xCMC-3MS 1xCMC-4	257 dla CST-40 266 dla SMP-4	523

Łącznie w systemach gazometrycznych JSW S.A. czynnych jest **2 295 linii** telemetrycznych w systemach CST-40 oraz **1 176 linii** w systemach SMP-NT. Ze szczegółowej analizy wyposażenia systemu gazometrycznego dwóch ruchów (Szczygłowice i Borynia) wynika, że około 50% zainstalowanych mierników to metanomierze, 25÷30% mierników to mierniki tlenu węgla, a 5÷15% to anemometry.

## 10.9. Możliwości rozwoju systemów gazometrycznych

Wprowadzenie systemów gazometrycznych było jednym z warunków funkcjonowania kopalń metanowych. Jednak systemy gazometryczne nie zapobiegły wybuchom metanu. Przykładem jest wybuch metanu 20.04.2022 roku w KWK Pniówek. W wyniku wybuchu i prowadzonej akcji ratowniczej zginęło dziewięciu górników i ratowników.

Wymagane obecnie rozmieszczenie metanomierzy w ścianie (§311 [RME]):

- rejon skrzyżowania ściany z chodnikiem podścianowym,
- rejon skrzyżowania ściany z chodnikiem nadścianowym,
- alternatywnie jeden metanomierz wewnątrz ściany,

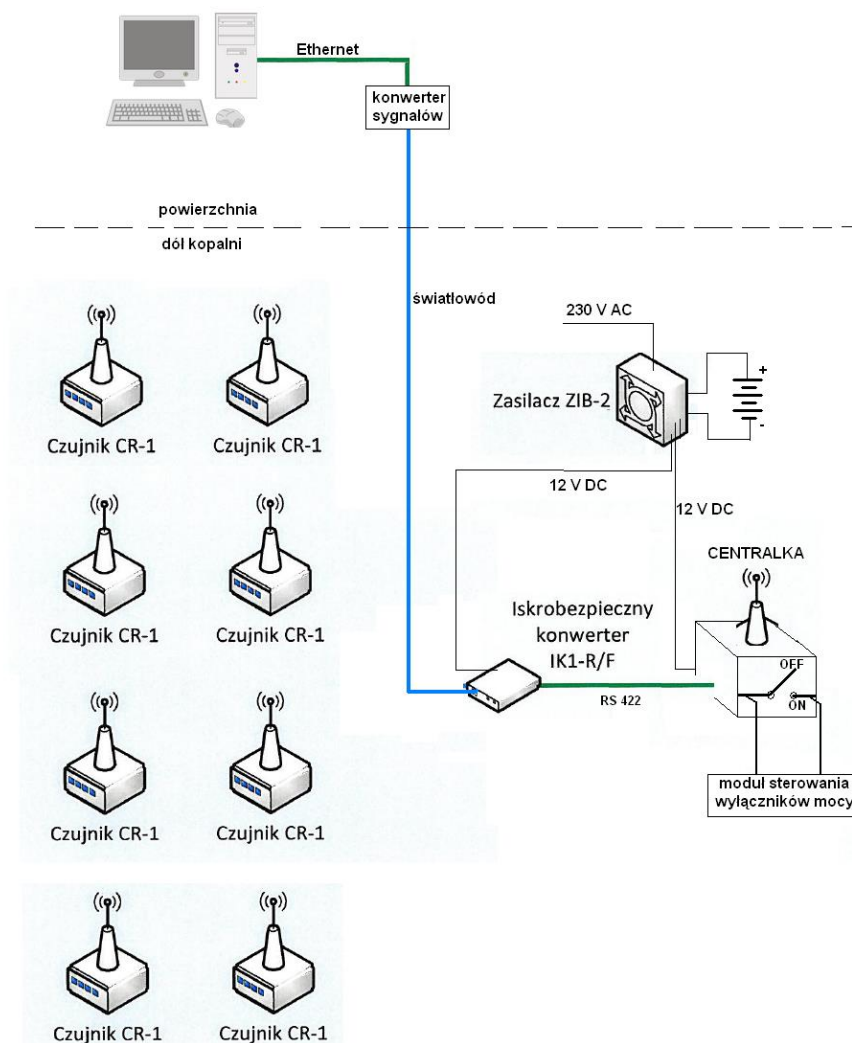
nie umożliwia szybkiego wyłączenia zasilania urządzeń elektrycznych w przypadku nagłego wypływu metanu wewnątrz ściany. Tego rodzaju problem był analizowany w ramach zadania badawczego pt.: „Opracowanie systemu gazometrycznego powodującego natychmiastowe wyłączenie ścianowych maszyn i urządzeń elektrycznych w przypadku nagłego wypływu metanu” projektu strategicznego na temat „Poprawy bezpieczeństwa pracy w kopalniach”.

W ramach tego projektu firma HASO S.C. wykonała prototyp systemu minimalizującego czas reakcji systemu na przekroczenie progu alarmowego stężenia metanu. Opracowany system zawiera metanomierze rozmieszczone w ścianie oraz dedykowaną centralkę tworząc nowy, autonomiczny podsystem monitorowania zagrożenia metanowego części przyzawałowej rejonu ściany (rys. 10.22) [Dziurzyński, 2015; Dylong, 2016].

W systemie przewidziano możliwość zlokalizowania metanomierzy wewnątrz wyrobiska ścianowego, w tym również w miejscach trudnodostępnych, np. w strefie przyzawałowej za obudową zmechanizowaną. Uwzględniono też konieczność zminimalizowania skutków uszkodzeń sieci transmisyjnej w obrębie wyrobiska ścianowego. Dlatego założono, że transmisja danych z metanomierzy zlokalizowanych w tym obszarze będzie się odbywać drogą radiową do centralki umieszczonej w chodniku nadścianowym, skąd na powierzchnię informacje mogą być transmitowane kablami miedzianymi lub światłowodowymi.

Elementem wykonawczym tego systemu (inicjującym automatyczne wyłączenie energii elektrycznej) jest centralka wyposażona w odpowiednie wyjścia sterujące. Prototyp opracowanego systemu przeszedł badania eksperymentalne w kopalniach Budryk, Bolesław Śmiały oraz Borynia-Zofiówka. Przedmiotem badań była ocena poprawności jego działania, a w szczególności bezprzewodowego przesyłania danych pomiarowych. Zgodnie z przyjętą koncepcją czujniki CR-1 przesyłały informację o poziomie stężenia metanu do centralki wyposażonej w interfejs RS422.





Rys. 10.22. Schemat poglądowy autonomicznego podsystemu monitorowania zagrożenia metanowego

W czasie badań komunikacja z powierzchnią odbywała się za pomocą linii miedzianych oraz światłowodowych, co zapewniało integrację nowych urządzeń z ogólnokopalnianym systemem monitorowania. W wyniku tych badań stwierdzono m.in., że:

- maksymalny czas odpytania kompletu ośmiu czujników pracujących w sieci MESH przez centralkę wynosił (przy braku zakłóceń) ok. 1,5 s, przy założonym czasie repetycji 1,3 s; pomiar z czujnika był wysyłany do sieci co 2,5 s,
- maksymalny zasięg transmisji wynosił 200 m,
- czas reakcji systemu przy zaniku transmisji wynosił 9 s,
- transmisja radiowa była odporna na zakłócenia generowane przez urządzenia elektryczne pracujące w wyrobiskach kopalnianych.

Testy tego systemu pozwalają stwierdzić, iż możliwe jest skuteczne prowadzenie monitorowania stężenia metanu w ścianie wydobywczej z wykorzystaniem czujników metanu z transmisją radiową.

Jednym z poważnych problemów eksploatacji metanomierzy pelistorowych jest zatrucie pelistorów [Cierpisz] przez różne substancje chemiczne używane w górnictwie. Zatrucie pelistorów powoduje chwilowe lub trwałe uszkodzenie sensora metanomierza i jest wykrywane

dopiero przy kalibracji metanomierza. Dla rozwiązania tego problemu firma EMAG SERWIS opracowała prototyp metanomierza dwugłowicowego DCH-2 (rys. 10.23).



Rys. 10.23 Widok metanomierza dwugłowicowego DCH-2

Metanomierz posiada dwie głowice pomiarowe:

- wykorzystującą metodę katalitycznego spalania i konduktometryczną,
- wykorzystującą absorbcję promieniowania podczerwonego (NDIR).

Na wyświetlaczu pokazywany jest wynik pomiaru metodą katalitycznego spalania, natomiast na powierzchni na monitorze stacji telemetrycznej wyświetlane są oba wyniki (pomiaru metodą katalitycznego spalania i konduktometryczną) oraz różnica wyników pomiaru obu głowic. Na podstawie różnicy pomiarów obu głowic dyspozytor może podjąć decyzję o konieczności sprawdzenia metanomierza i jego ponownej kalibracji.

Ocena przydatności takiego metanomierza będzie możliwa po jego próbnej eksploatacji w warunkach kopalnianych.

## **11. Monitorowanie sieci odmetanowania – skuteczne wdrożenie na przykładzie JSW S.A.**

*Artur Dylong*

### **11.1. Wprowadzenie**

Układ geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego powoduje, że w chwili obecnej bez skutecznego odmetanowania, wydobywanie węgla byłoby znacząco utrudnione, a w wielu przypadkach wręcz nie możliwe. Kopalnie Jastrzębskiej Spółki Węglowej charakteryzują się pokładami węgla zaliczanymi do III i IV kategorii zagrożenia metanowego. Dlatego też rola odmetanowania w kopalniach JSW jest tak istotna dla zapewnienia odpowiedniego poziomu wydobywania. Skuteczne odmetanowanie oprócz prawidłowo wykonanych robót górniczych to również wiedza na temat aktualnego stanu sieci odmetanowania, która obejmuje wiele kilometrów rurociągów zlokalizowanych w wyrobiskach podziemnych. Monitorowanie w czasie rzeczywistym parametrów powietrza w kopalniach JSW funkcjonuje od dawna, jednak monitorowanie sieci odmetanowania do niedawna odbywało się w sposób ręczny lub półautomatyczny. W latach 2000–2005 Instytut EMAG prowadził prace badawcze, między innymi w kopalni Pniówek, mające potwierdzić możliwość wdrożenia systemu monitorowania sieci rurociągów odmetanowania. Opracowano w tym czasie dedykowane urządzenie pomiarowe CPO-1, które pozwalało na pomiar podstawowych parametrów gazu transportowanego rurociągiem. Przeprowadzone badania i eksperymenty dały wynik pozytywny jednak nigdy nie zostały wdrożone w praktyce. W ostatnich latach w JSW S.A. podjęto szereg działań, które miały na celu opracowanie i wdrożenie skutecznego systemu monitorowania w czasie rzeczywistym sieci rurociągów odmetanowania.

### **11.2. Odmetanowanie**

Odmetanowanie prowadzi się przede wszystkim w celu poprawy stanu bezpieczeństwa w podziemnych wyrobiskach górniczych. Wcześniejsze odprowadzenie metanu pozwala oprócz wspomnianego zwiększenia bezpieczeństwa pracy załóg górniczych również na zwiększenie możliwości wydobywczych. Gaz odprowadzany rurociągami w związku ze zmiennymi warunkami górniczymi podlega wahaniom składu i koncentracji co stanowi problem w przypadku jego wykorzystania do zasilania urządzeń np. wytwarzających energię elektryczną. W celu zapewnienia odpowiednich parametrów wykorzystuje się urządzenia pomiarowe i regulacyjne, zamontowane na rurociągach odmetanowania. Do niedawna regulacja sieci mogła odbywać się tylko i wyłącznie w sposób ręczny, natomiast w ostatnich latach pojawiły się możliwości techniczne do realizacji regulacji automatycznej i w chwili obecnej są prowadzone prace przygotowawcze do wdrożenia w pełni zdalnego automatycznego systemu regulacji. Między innymi JSW S.A. prowadzi prace w tym kierunku. W chwili obecnej w kopalniach JSW zabudowano dołowe urządzenia pomiarowe pozwalające na monitorowanie stężenia i wydatku gazu w węzłach sieci odmetanowania. Kolejnym krokiem będzie uruchomienie układów regulacji. Wprowadzenie zdalnych układów regulacyjnych pozwoli na zwiększenie wskaźnika efektywności odmetanowania oraz na zwiększenie wskaźnika wykorzystania ujętego metanu [Dziurzyński, 2015].

Z odmetanowaniem nieodłącznie związany jest wskaźnik efektywności odmetanowania. Wskaźnik ten mówi, ile metanu zdołaliśmy ująć w stosunku do całego metanu wydzielonego (metanowość bezwzględna). Efektywność odmetanowania z roku na rok jest coraz wyższa i w roku 2021 wynosiła dla polskiego górnictwa 41,8% w porównaniu do lat poprzednich, gdzie wynosiła odpowiednio: 2018 – 34,6%, 2019 – 37%, 2020 – 36,9% [WUG raporty]. Widać powolny wzrost efektywności odmetanowania co oznacza, że do atmosfery wraz z powietrzem wentylacyjnym trafia mniej metanu. Wskaźnik efektywności odmetanowania nie daje nam wiedzy na temat skuteczności systemów odmetanowania a jedynie informuje o procentowej zależności pomiędzy metanem wydzielonym a ujętym przez systemy odmetanowania oraz nie daje nam informacji jak dużo metanu ujętego zostało zagospodarowane. Co więcej, aby otrzymać pełny obraz należałoby również w analizach uwzględnić wielkość wydobycia. Z punktu widzenia bezpieczeństwa to co stanie się z gazem po jego ujęciu i odprowadzeniu z wyrobisk, nie ma istotnego znaczenia bowiem istotą systemów odmetanowania jest jego usunięcie z wyrobisk podziemnych. Jak można zauważyć patrząc na tabelę 11.1 [WUG raporty] część ujmowanego gazu jest wypuszczana do atmosfery.

### Zestawienie parametrów metanowości i odmetanowania za lata 2017÷2021 [WUG raporty]

Tabela 11.1.

Wyszczególnienie	Rok				
	2017	2018	2019	2020	2021
Metanowość bezwzględna [mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok]	948,5	916,1	803,8	819,6	815,3
Ilość ujętego metanu [mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok]	337,0	317,0	301,6	302,8	340,9
Efektywność odmetanowania [%]	35,5	34,6	37,5	37,0	41,8
Ilość zagospodarowanego metanu [mln m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /rok]	212,0	203,1	189,4	187,9	214,2
Efektywność zagospodarowania ujętego metanu [%]	62,9	64,1	62,8	62,1	62,8
Wydobycie węgla kamiennego [mln ton]	65,5	63,4	61,6	54,4	55,0
Metanowość względna [m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /tonę]	14,5	14,4	13,0	15,0	14,8

Analizując dane z tabeli 11.1 można zauważyć, że wskaźnik efektywności zagospodarowania ujętego metanu nie przekracza 63% co w przypadku roku 2021 oznacza, że pomimo ujęcia metanu systemami odmetanowania do atmosfery zostało wypuszczone 126,7 mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. Co istotne można zauważyć, że od roku 2017 efektywność zagospodarowania ujętego metanu ulega tylko minimalnym wahaniom. Przy wzroście około 40 mln m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> w roku 2021 w stosunku do roku 2020 oznacza to, że możliwości instalacji odmetanowania i jego zagospodarowania są wystarczające nawet w przypadku skokowego zwiększenia ilości ujętego metanu.

### 11.3. Wykorzystanie metanu w JSW S.A.

W skład Grupy Kapitałowej JSW S.A. wchodzi pięć kopalń w tym dwie składające się z dwóch ruchów i są to:

- KWK „Borynia-Zofiówka”,

- KWK „Budryk”,
- KWK „Knurów-Szczygłowice”,
- KWK „Pniówek”,
- KWK „Jastrzębie-Bzie” (od 1 stycznia 2020).

W 2016 roku kopalnia KWK „Jas-Mos”, a w 2017 roku kopalnia KWK „Krupiński” zostały przekazane do Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. (SRK). Obecnie metan z tych kopalń nadal jest ujmowany systemem odmetanowania JSW i zagospodarowany – w KWK „Krupiński” na poziomie 86,9%, a w KWK „Jas-Mos” na poziomie 99,4% [Szlązak, 2021].

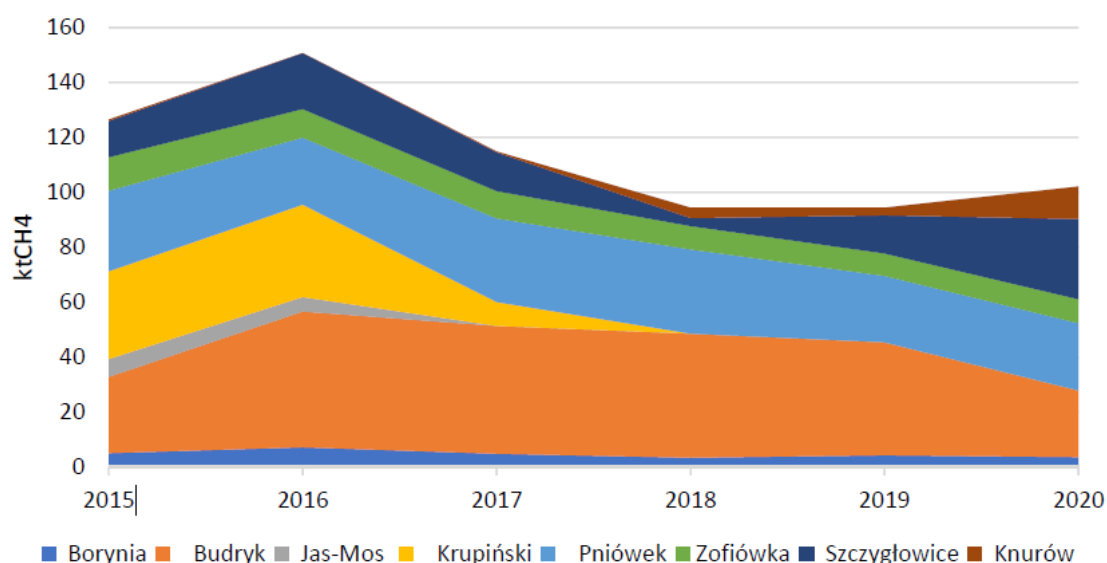
W JSW S.A. od kilkunastu lat wykorzystuje się metan z systemów odmetanowania do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła. W tabeli 11.2 [JSW odmetanowanie] przedstawiono zestawienie za ostatnie kilka lat.

#### Ujęcie i wykorzystanie metanu w JSW S.A. za lata 2016÷2021

Tabela 11.2.

Rok	Ilość metanu wydzielona w procesie eksploatacji [mln m <sup>3</sup> ]	Ujęcie odmetanowaniem [mln m <sup>3</sup> ]	Wykorzystanie [mln m <sup>3</sup> ]	Procentowe wykorzystanie metanu [%]
2016	482,92	210,21	114,93	54,70
2017	428,55	160,21	91,63	57,20
2018	406,36	131,66	74,75	56,80
2019	377,56	131,66	76,88	58,40
2020	362,83	142,45	86,03	60,03
2021	398,45	170,67	98,64	57,80

Jak można zauważyć efektywność odmetanowania w przypadku kopalń JSW S.A. waha się w granicach od około 34% do 43%. Natomiast wykorzystanie metanu ujętego ma tendencję wzrostową za wyjątkiem lat 2018 i 2021. Skokowe zmiany ilości metanu wydzielonego w latach 2016÷2018 wiązały się przekazaniem do SRK kopalń KWK „Krupiński” i KWK „Jas-Mos”.



Rys. 11.1 Ujęcie metanu w poszczególnych kopalniach JSW za lata 2015÷2020 [Szlązak, 2021]

W okresie od 2015÷2020 najczęściej metanu udało się ująć w KWK „Budryk”, bo łącznie 234,1 kt (rys. 11.1). Ilość ta wzrosła w 2016 roku w stosunku do roku 2015 o 22 kt i do 2018 r. utrzymywała się na podobnym poziomie 41,1 kt do 49,4 kt. W roku 2020 zanotowano natomiast jej spadek do wartości 24,2 kt. Duże ilości metanu ujmowane były w KWK „Pniówek”, bo łącznie 163,3 kt metanu. Roczne ujęcie wahało się w granicach od 24,4 kt do 30,4 kt. Aktywne odmetanowanie prowadzone było również w kopalni KWK „Borynia- Zofiówka”, gdzie ujęto 98 kt metanu. Należy zaznaczyć, że najmniej, bo jedynie od 3,3 kt do 7,2 kt przypadało na Ruch „Borynia” [Szlązak, 2021].

JSW S.A. prowadzi działania mające na celu zwiększenie wskaźnika efektywności wykorzystania metanu ujętego systemami odmetanowania poprzez rozbudowę istniejącej infrastruktury. W ostatnich latach zrealizowano następujące inwestycje:

- w KWK „Budryk” - lipiec 2020 roku - uruchomiono silnik gazowy ECOMAX o łącznej mocy  $2\text{MW}_{el}$ , co w połączeniu z już zabudowanymi silnikami JMS624GS-SL  $2 \times 4\text{MW}_{el}$  daje sumarycznie moc  $10\text{MW}_{el}$ ,
- KWK „Knurów-Szczygłowice” ruch Knurów – lipiec 2020 uruchomiono silniki gazowe CAT CG 260-16  $3 \times 4\text{MW}_{el}$  o łącznej mocy  $12\text{MW}_{el}$ .

#### 11.4. Modernizacja systemu odmetanowania w JSW S.A.

W 2011 r. w JSW S.A. powołano Komisję, której celem było przeprowadzenie inwentaryzacji urządzeń pomiarowych służących do wzajemnego rozliczenia ilości gazu z odmetanowania sprzedawanego przez JSW S.A. do Spółki Energetycznej „Jastrzębie” S.A. (SEJ).

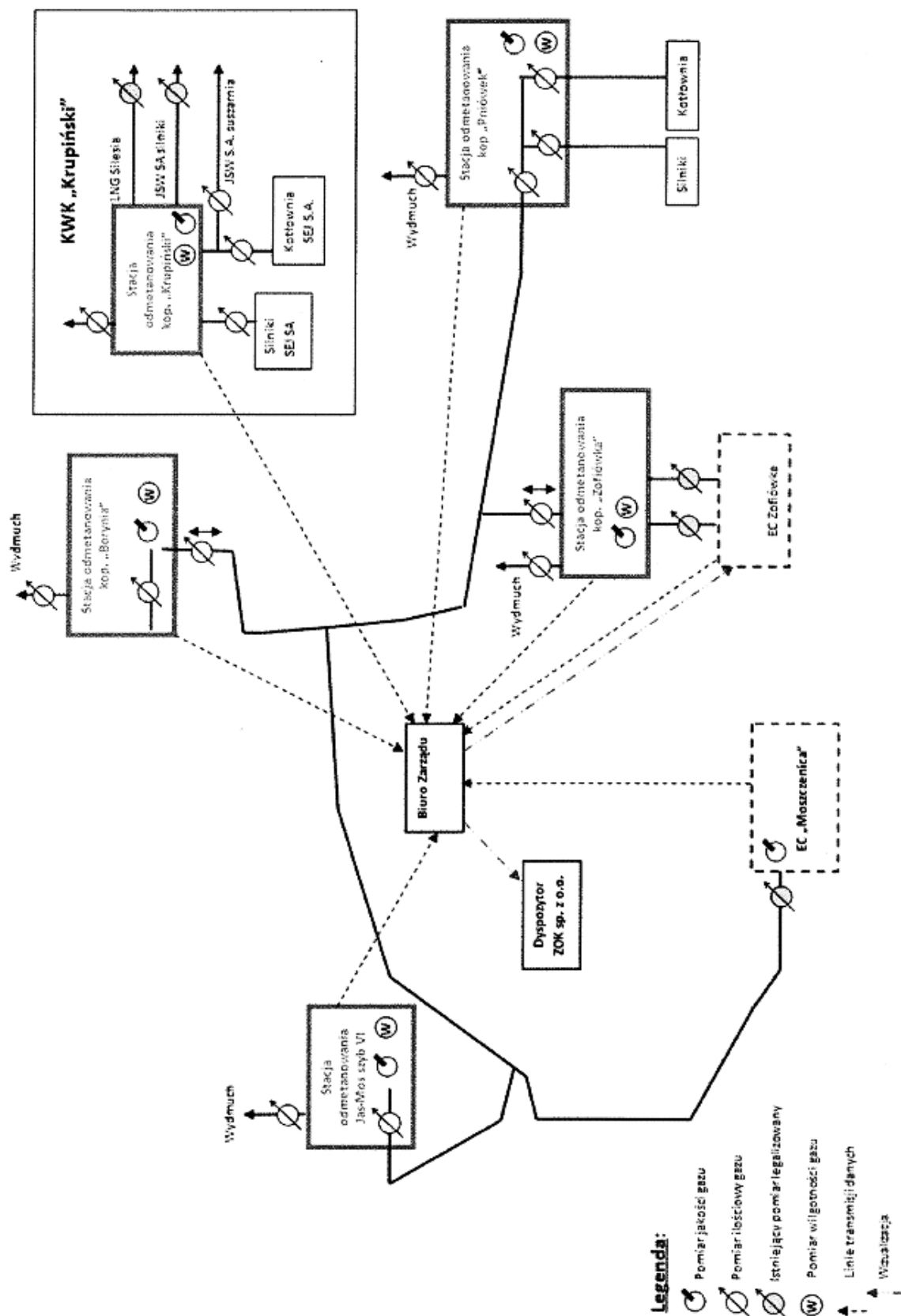
Komisja zaproponowała, aby ilość gazu ujmowanego przez stacje odmetanowania oraz sprzedawanego do odbiorców była mierzona przez urządzenia posiadające świadectwo legalizacji lub wzorcowania, zaś skład i parametry gazu przez chromatografy pomiarowe. Wszystkie urządzenia pomiarowe miały być ponadto zintegrowane i wizualizowane w systemach dyspozytorskich zarówno w JSW jak i SEJ. Wskazano również obiekty, w których takie układy należy zbudować. Miały to być obiekty JSW: stacja odmetanowania KWK „Borynia-Zofiówka” ruch „Borynia”, stacja odmetanowania KWK „Borynia-Zofiówka” Ruch „Zofiówka”, stacja odmetanowania KWK „Jas-Mos”, stacja odmetanowania KWK „Pniówek”, stacja odmetanowania KWK „Krupiński” oraz zakłady SEJ: Elektrociepłownia Zofiówka i Elektrociepłownia Moszczenica. Na rysunku 11.2. [JSW odmetanowanie] pokazano stan sieci odmetanowania utrzymywanej przez Zakład Odmetanowania Kopalń (ZOK).

##### 11.4.1. Zasady rozliczania gazu między JSW i SEJ

Skład i parametry mieszaniny gazowej w sieci odmetanowania jest zmienny w czasie. Dla potrzeb rozliczania gazu niezbędne jest przeliczenie wydatku gazu na tzw. warunki normalne. Z tego powodu w AGH Kraków opracowano sposób pomiaru parametrów gazu w rurociągu odmetanowania oraz algorytm bilansowania i rozliczania gazu w tzw. warunkach normalnych, czyli temperaturze 273 K i ciśnieniu 1013 hPa stanowiących punkt odniesienia przy obliczaniu objętości gazu. Opracowany algorytm uwzględnia dokładny skład gazu (zawartość poszczególnych składowych takich jak metan, etan, propan, tlenek węgla,



dwutlenek węgla, tlen, azot, wodór, siarkowodór) oraz jego parametry fizyczne: temperaturę, ciśnienie, wilgotność oraz ciśnienie atmosferyczne.



Rys. 11.2. Schemat połączeń sieci odmetanowania w obrębie JSW S.A.

W tamtym okresie na rynku dostępne były urządzenia, tzw. przeliczniki objętości gazu, do których podłącza się przetworniki pomiarowe objętości gazu, temperatury oraz ciśnienia. Przelicznik na tej podstawie podaje objętość gazu w warunkach normalnych. Urządzenia te umożliwiały również wprowadzenie składu gazu, dla którego wykonywane są obliczenia. Urządzenia tego typu sprawdzają się w gazownictwie, gdzie skład mieszaniny gazowej jest stały, natomiast w mieszaninie gazowej z sieci odmetanowania skład mieszaniny gazowej zmienia się dynamicznie, co eliminowało możliwość zastosowania dostępnych przeliczników [Berger, 2016]. W mieszaninie gazowej z sieci odmetanowania zawartość metanu zmienia się w zakresie od 30% do nawet ponad 70%, a co za tym idzie, zmianom podlegają również w mieszaninie gazowej stężenia wszystkich pozostałych składników. W opracowaniu przygotowanym przez AGH pt. „Bilans metanu w sieci odmetanowania JSW S.A.” opisano algorytm przeliczania mieszaniny gazowej z sieci odmetanowania do warunków normalnych oraz sposób bilansowania dla poszczególnych zakładów oraz całej sieci gazowej łączącej JSW S.A. z SEJ.

#### 11.4.2. Urządzenia i punkty pomiarowe

Aby zapewnić wysoką pewność pomiaru a także mały błąd pomiarowy, dobrano urządzenia wysokiej klasy posiadające świadectwa legalizacji. System pomiarowy oparto na gazomierzach turbinowych polskiego producenta COMMON S.A. oraz holenderskiego Elster-Instromet. Na rysunku 11.3 pokazano widok gazomierza turbinowego CTG-02 firmy COMMON S.A.



Rys. 11.3. Widok gazomierza turbinowego CTG-02, produkcji COMMON



Rys. 11.4. Widok chromatografu gazowego typu PGC5000 firmy ABB

W miejscach, w których nie było możliwości zabudowania gazomierzy turbinowych zdecydowano się wykorzystać termiczne przepływomierze masowe produkcji FCI. Do mierzenia składu gazu wybrano chromatografy procesowe firmy ABB. Na rysunku 11.4 pokazano widok elementów chromatografu PGC5000 firmy ABB.

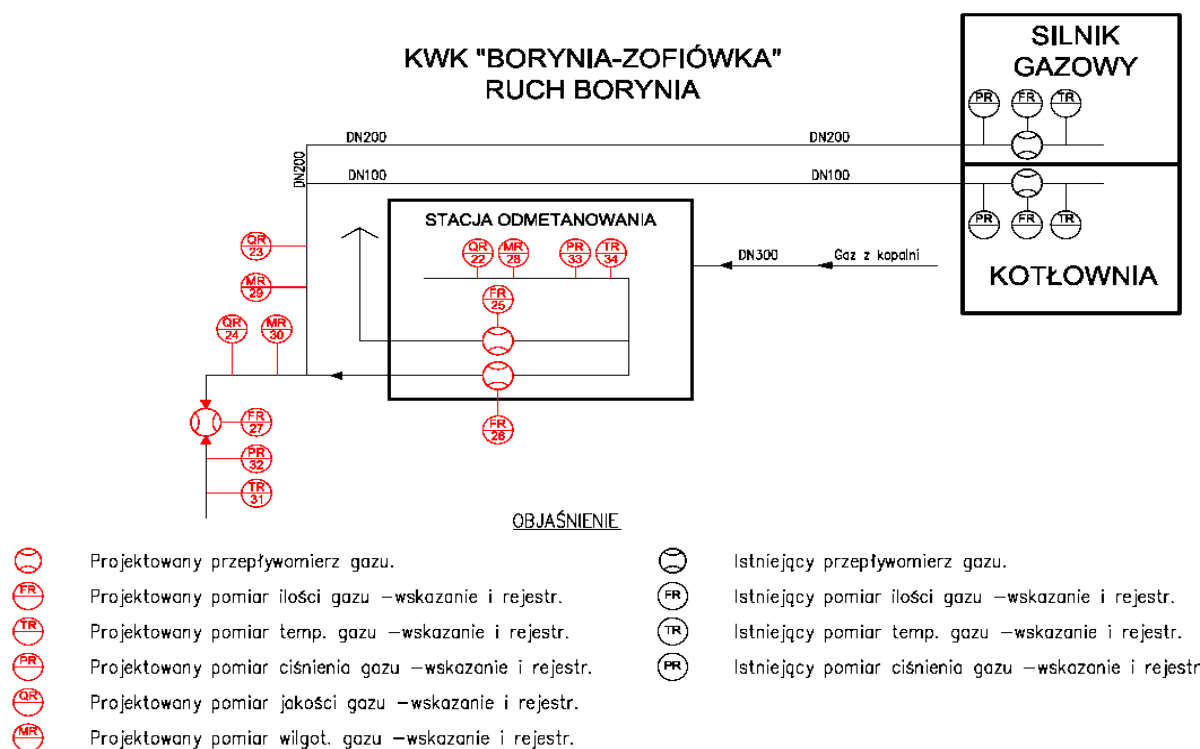
Dodatkowo wykorzystano przetworniki ciśnienia polskiego producenta Aplisens, przetworniki temperatury produkcji Bartec Polska oraz przetworniki wilgotności gazu. W każdej stacji odmetanowania oraz w Elektrociepłowni Moszczenica zabudowano zestaw składający się z chromatografu, wilgotnościomierza oraz przetwornika ciśnienia atmosferycznego. Każdy punkt pomiaru objętości przepływającego gazu był wyposażony w gazomierz lub przepływomierz, przetwornik ciśnienia gazu oraz przetwornik temperatury

gazu. Taki zestaw pomiarów pozwalał na znormalizowanie pomiaru objętości gazu, a więc prowadzenie bilansowania i rozliczeń zużycia gazu.

W stacji odmetanowania ruchu Borynia zabudowano następujące elementy:

- gazomierz turbinowy w kolektorze tłocznym stacji,
- przepływomierz termiczny w wydmuchu stacji,
- dwukierunkowy gazomierz turbinowy w sieci gazowej.

Dla potrzeb monitoringu wykorzystano pomiary z istniejących przepływomierzy termicznych w silniku gazowym i w kotłowni. Na rysunku 11.5 [JSW odmetanowanie] pokazano oprzyrządowanie sieci gazowej w KWK Borynia-Zofiówka ruch Borynia.

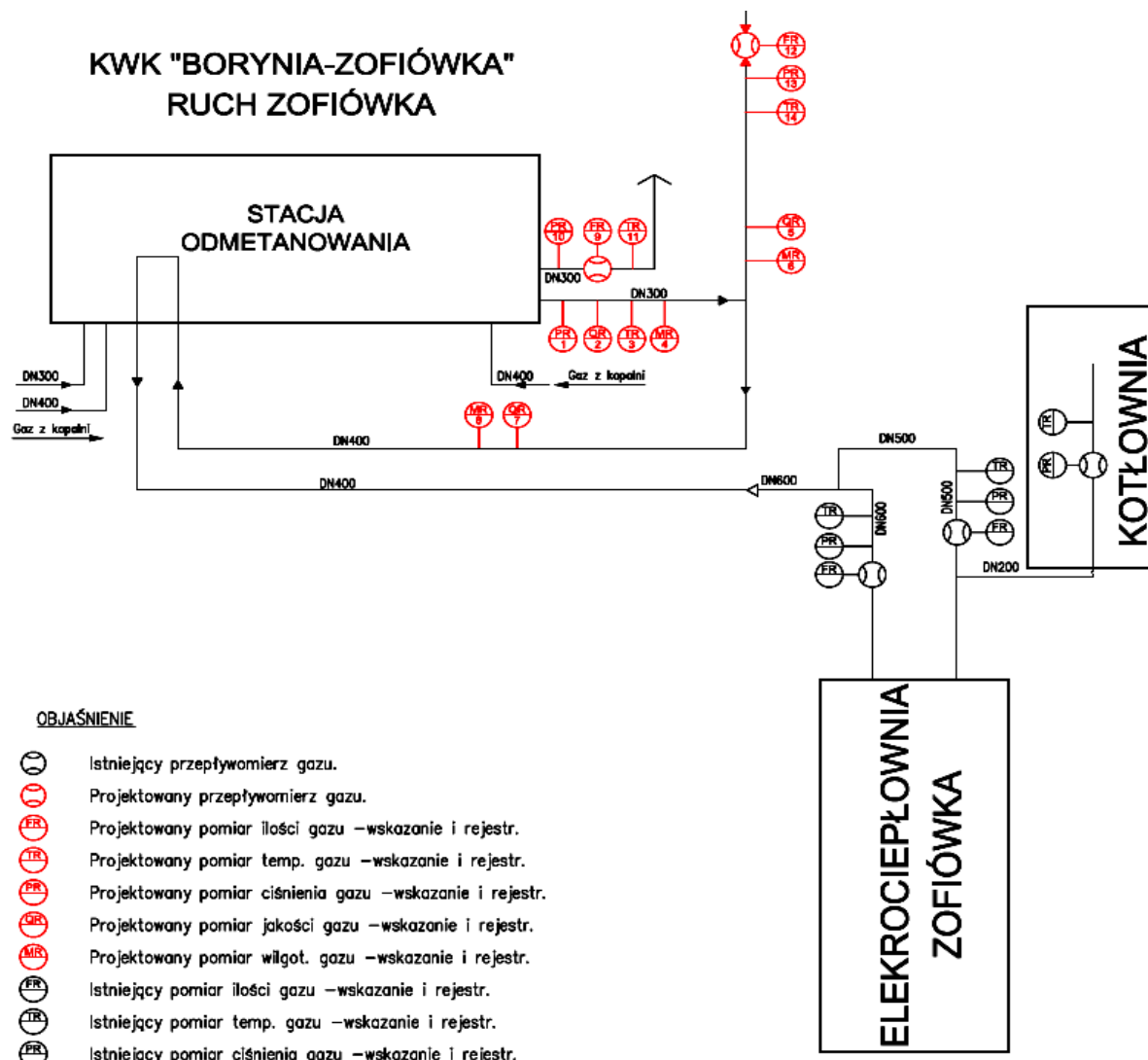


Rys. 11.5. Schemat oprzyrządowania sieci gazowej w ruchu Borynia

W stacji odmetanowania ruchu Zofiówka zabudowano następujące elementy:

- gazomierz turbinowy w wydmuchu stacji,
- dwukierunkowy gazomierz turbinowy w sieci gazowej.

Dla potrzeb monitoringu sieci odmetanowania wykorzystano pomiary z trzech istniejących gazomierzy turbinowych w Elektrociepłowni Zofiówka. Na rysunku 11.6 [JSW odmetanowanie] pokazano oprzyrządowanie sieci gazowej w ruchu Zofiówka.

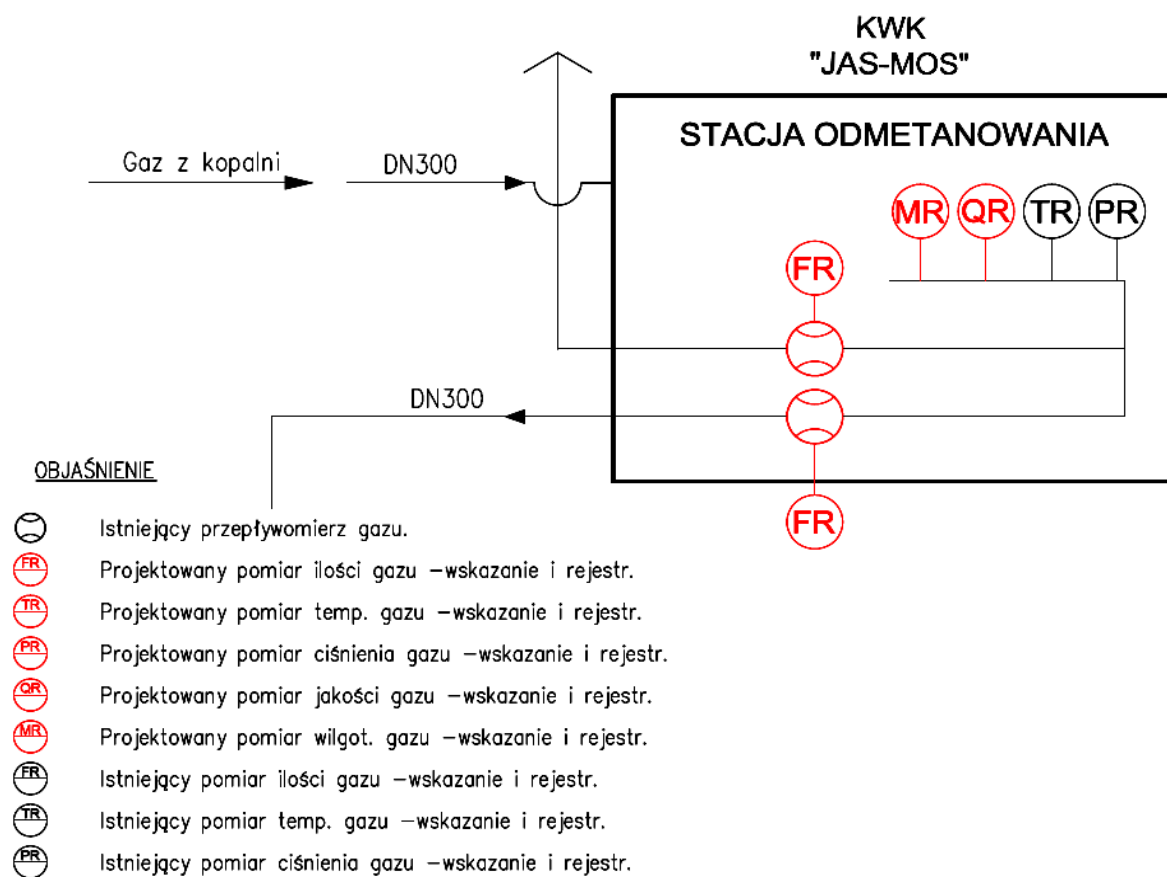


Rys. 11.6. Schemat oprzyrządowania sieci gazowej w ruchu Zofiówka

W sieci odmetanowania KWK Jas-Mos zabudowano następujące elementy:

- przepływomierz termiczny w wydmuchu stacji,
- gazomierz turbinowy w sieci gazowej.

Na rysunku 11.7 [JSW odmetanowanie] pokazano oprzyrządowanie sieci gazowej w KWK Jas-Mos.

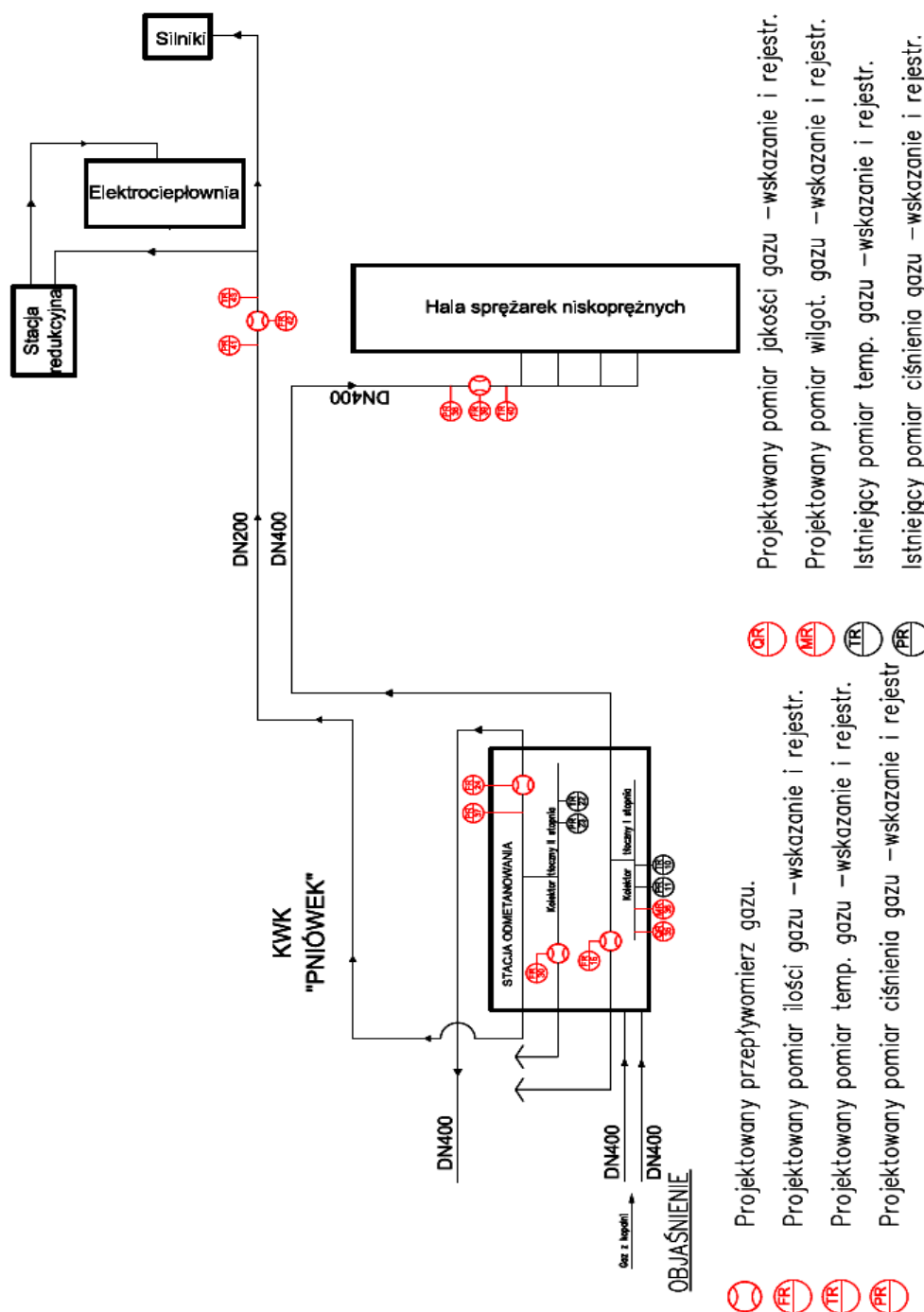


Rys. 11.7. Schemat oprzyrządowania sieci gazowej KWK Jas-Mos

W sieci odmetanowania KWK Pniówek zabudowano następujące elementy:

- gazomierze turbinowe na I i II stopniu wydmuchu stacji,
- gazomierz turbinowy na sieci gazowej,
- gazomierz turbinowy w Elektrociepłowni Pniówek,
- gazomierz turbinowy na silniku gazowym Elektrociepłowni Pniówek.

Na rysunku 11.8 [JSW odmetanowanie] pokazano oprzyrządowanie sieci gazowej w KWK Pniówek.



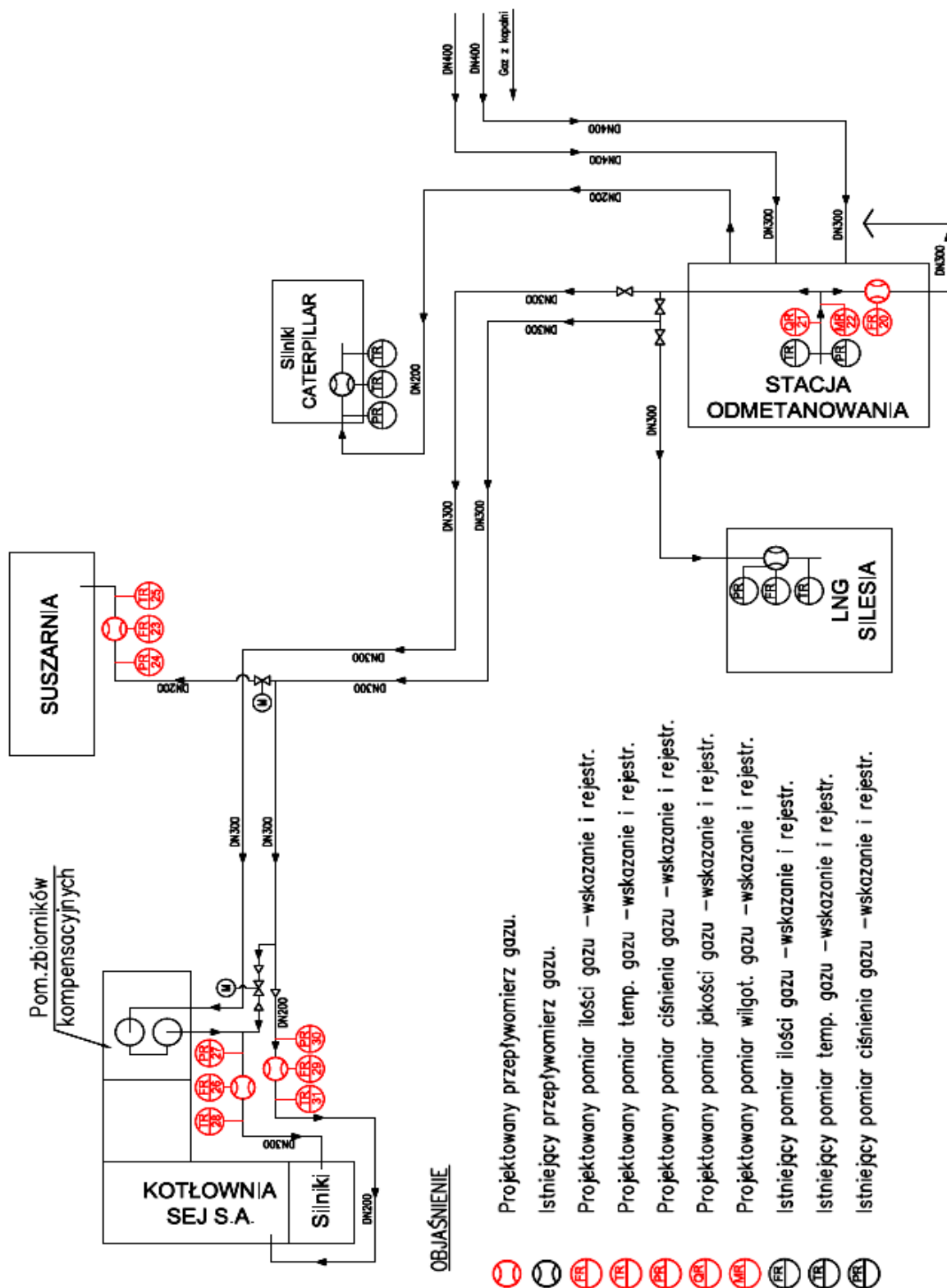
Rys. 11.8. Schemat oprzyrządowania sieci gazowej KWK Pniówek

W sieci odmetanowania KWK Krupiński zabudowano następujące elementy:

- przepływomierz termiczny na wydmuchu stacji odmetanowania,
- gazomierz turbinowy w suszarni,
- gazomierz turbinowy w kotłowni Elektrociepłowni Suszec,
- gazomierz turbinowy na silniku gazowym Elektrociepłowni Suszec.

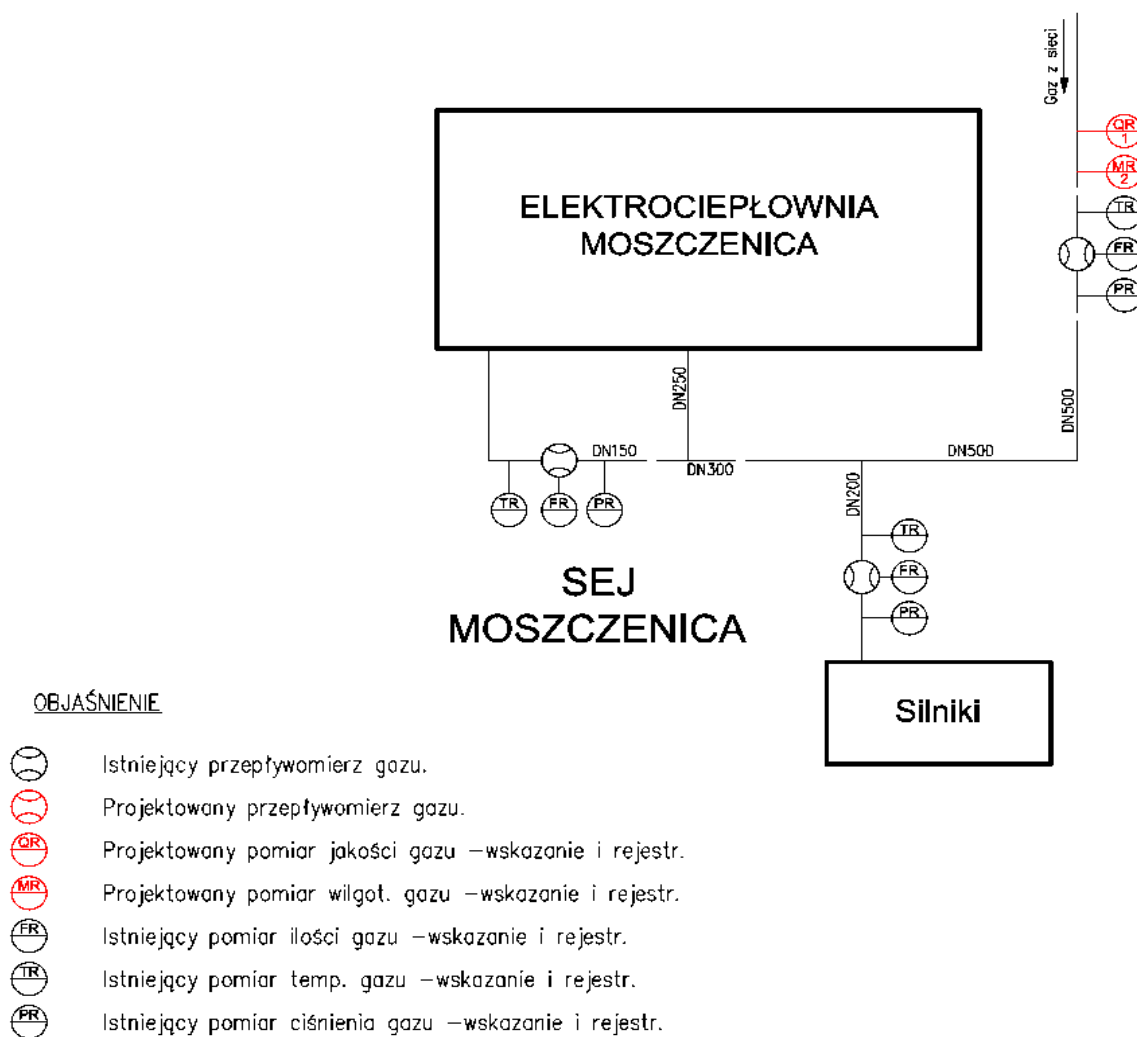
Dla potrzeb monitoringu sieci odmetanowania wykorzystano pomiary z istniejących gazomierzy turbinowych w silniku gazowym oraz instalacji skraplania gazu. Na rysunku 11.9 [JSW odmetanowanie] pokazano oprzyrządowanie sieci gazowej w KWK Krupiński.





Rys. 11.9. Schemat oprzyrządowania sieci gazowej KWK Krupiński

W Elektrociepłowni Moszczenica w sieci gazowej zabudowano gazomierz turbinowy. Dla potrzeb monitoringu sieci odmetanowania wykorzystano pomiary z istniejących gazomierzy turbinowych w silniku gazowym oraz kotle gazowym. Na rysunku 11.10 [JSW odmetanowanie] pokazano oprzyrządowanie sieci gazowej w Elektrociepłowni Moszczenica.



Rys. 11.10. Schemat oprzyrządowania sieci gazowej Elektrociepłowni Moszczenica

W 2014 r. oddano do ruchu nową stację odmetanowania w KWK „Budryk”. Sieć gazowa KWK Budryk została wyposażona w następujące elementy:

- gazomierz turbinowy na wydmuch stacji,
- gazomierz turbinowy dla odbiorcy gazu,
- gazomierz turbinowy w kotłowni.

### 11.4.3. Monitoring sieci odmetanowania

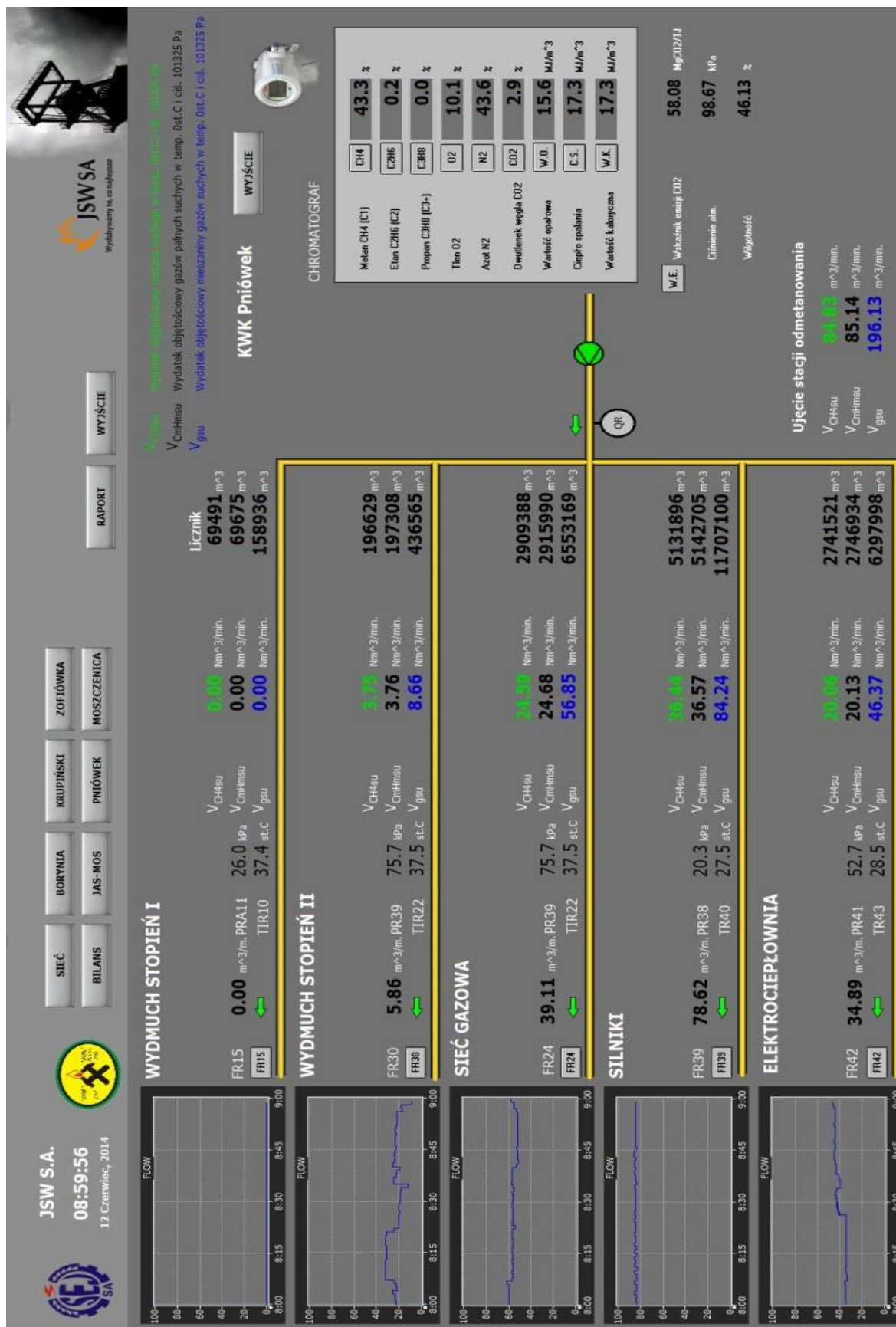
Modernizacja systemów odmetanowania w poszczególnych kopalniach obejmowała również stosowny monitoring (wraz z częścią rozliczeniową), który w założeniu miał pozwolić na integrację informacji w bazie danych i na globalne spojrzenie na proces odmetanowania. Zaprojektowano i wykonano komputerowy system wizualizacji, rejestracji, archiwizacji i bilansowania metanu na poszczególnych stacjach odmetanowania oraz globalnie w całej sieci gazowej łączącej dostawcę gazu – JSW - z jego odbiorcą – spółką SEJ. System oparto na platformie ASIX przeznaczonej do projektowania i realizacji przemysłowych systemów IT dla przedsiębiorstw, procesów, linii technologicznych, maszyn i urządzeń.

W poszczególnych stacjach odmetanowania zainstalowane zostały lokalne serwery zbierające i archiwizujące dane. Dane zostały zintegrowane na serwerach bezpośrednio

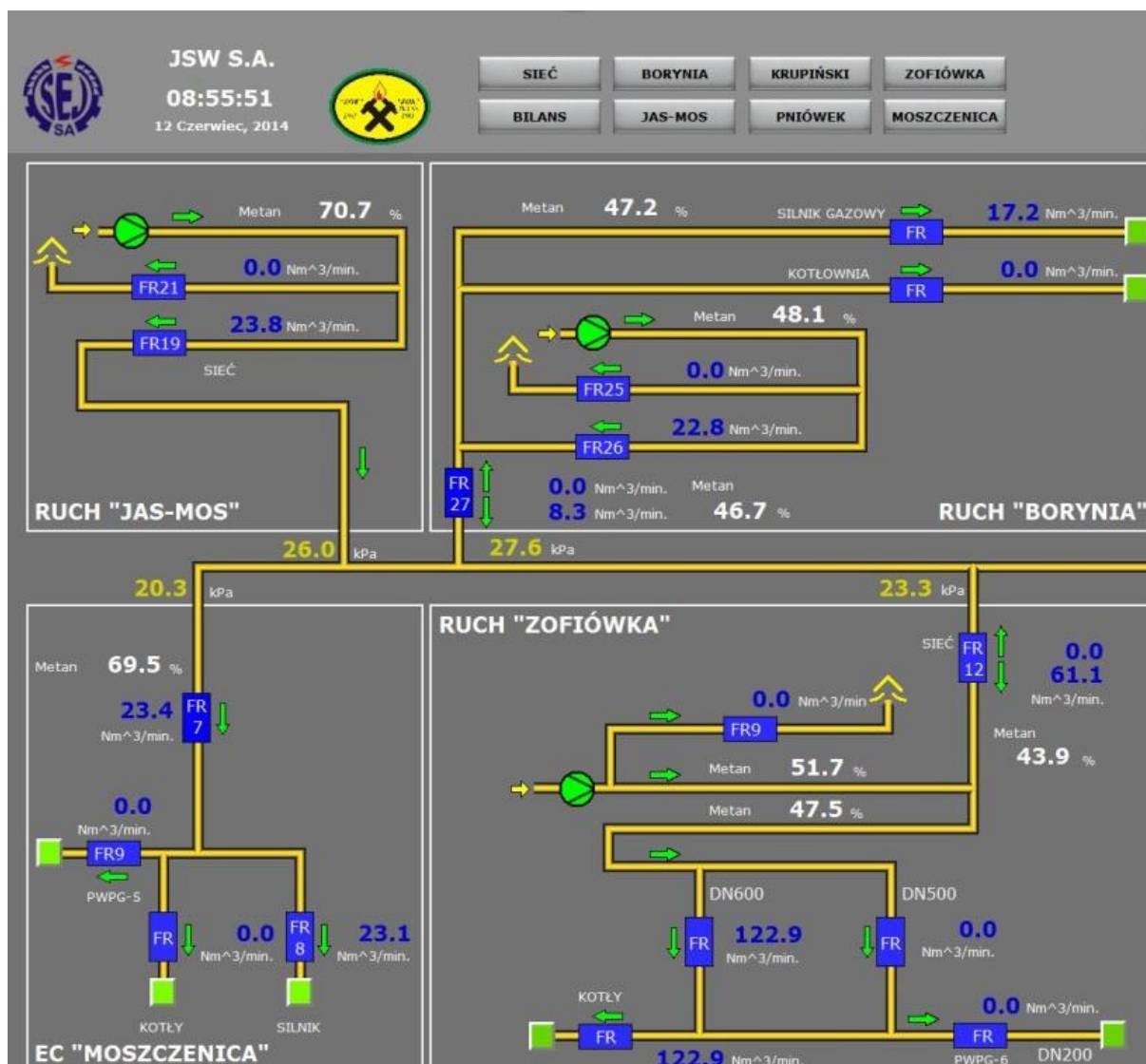
z urządzeń pomiarowych lub poprzez sterowniki programowalne PLC. W każdym serwerze został zaimplementowany algorytm przeliczający objętość gazu do warunków normalnych, więc stały się one jednocześnie przelicznikami objętości gazu. W serwerach wykorzystano platformę ASIX.

Na rysunku 11.11 pokazano widok ekranu wizualizacji sieci odmetanowania w KWK „Pniówek”. Na ekranie przedstawiono skład gazu zmierzony chromatografem oraz przepływy, temperaturę i ciśnienie w poszczególnych gałęziach. W każdej stacji została udostępniona wizualizacja danego obiektu wraz z dostępem do danych archiwalnych oraz rozbudowanym modułem raportowym. Na stanowiskach wizualizacyjnych zostały przedstawione bieżące rzeczywiste pomiary przepływów, przepływy przeliczone do warunków normalnych oraz inne parametry, takie jak: skład gazu, ciśnienie atmosferyczne, ciśnienia i temperatury w rurociągach itp.

Zainstalowano również główny serwer zbierający dane bieżące i archiwalne ze wszystkich serwerów lokalnych. Serwer został zainstalowany w serwerowni firmy ZOK (Zakład Odmetanowania Kopalń), która na mocy odrębnych umów prowadziła w początkowym okresie wdrażania systemu odmetanowania kopalń JSW i obsługiwała stacje odmetanowania. Komunikację między serwerami lokalnymi a centralnym zrealizowano za pomocą sieci telefonii komórkowej GSM. Firmie ZOK powierzono również obsługę serwera i systemu komputerowego oraz nadzór nad całą siecią gazową. W siedzibie ZOK utworzono „dyspozytornię ruchu gazu”, w której udostępniono wizualizację wszystkich zakładów oraz całej sieci gazowej. Dyspozytor w sposób ciągły (24 godzinny) nadzorował pracę stacji odmetanowania oraz odbiorców gazu i decydował o rozplywie gazu między poszczególnymi zakładami. Był to pierwszy krok do efektywnego zarządzania gazem z odmetanowania prowadzący do maksymalizacji jego zagospodarowania i minimalizacji emisji do atmosfery. Do obowiązków dyspozytora ruchu gazu należało również raportowanie bieżącego użycia gazu, przygotowywanie handlowych bilansów miesięcznych dla JSW oraz SEJ. Dyspozytor pełnił również rolę mediatora w przypadku wszelkich rozbieżności i niejasności powstałych przy wzajemnych rozliczeniach. Na rysunku 9.12 pokazano fragment ekranu wizualizacji systemu odmetanowania nadzorowanego przez ZOK. Na ekranie wizualizacji pokazano znormalizowane przepływy i stężenia gazu w punktach pomiarowych sieci odmetanowania.



Rys. 11.11. Ekran wizualizacji sieci gazowej KWK „Pniówek”



Rys. 11.12. Fragment ekranu wizualizacji sieci odmetanowania nadzorowanej przez ZOK

## 11.5. Przeniesienie monitoringu sieci odmetanowania do systemu HADES

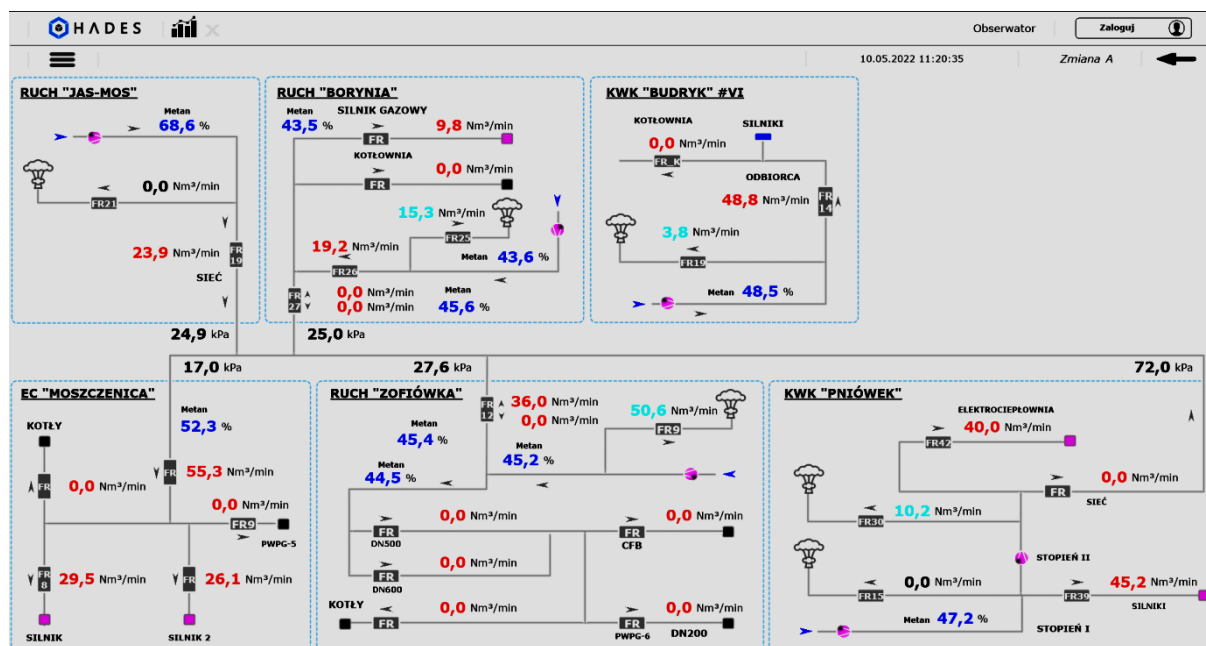
Dyspozytor ZOK pełnił swoją rolę do lipca 2021 r. Można więc przyjąć, że przez okres osiem lat od oddania do eksploatacji systemu odmetanowania w JSW S.A. układy pomiarowe ilości i jakości gazu z odmetanowania wraz z systemem komputerowym spełniały zadania w nich pokładane. W 2019 r. decyzją Zarządu JSW rozpoczął się proces tworzenia własnych struktur odmetanowania i od 01.08.2021 r. utrzymanie systemu pomiarowego i prowadzenie ruchu przejęła w całości JSW S.A. Przejęty został główny serwer systemu z ZOK oraz serwery lokalne w poszczególnych stacjach odmetanowania.

Równocześnie w grupie kapitałowej JSW S.A. zaczęto wdrażać projekt „Standaryzacji danych i systemów SCADA”. W ramach projektu w JSW ITS Systems został uruchomiony autorski system SCADA o firmowej nazwie HADES bazujący na platformie Asix.EVO. System ma budowę modułową i pozwala sukcesywnie podłączać kolejne urządzenia lub całe instalacje, wizualizować ich pracę oraz sterować urządzeniami i procesami. Dotychczasowy system monitorowania systemu odmetanowania ZOK włączono do systemu HADES. W połowie 2020 r. w systemie HADES uruchomiono moduł Bilans Metanu. Po okresie testów

1.08.2021 r. moduł Bilans Metanu uzyskał pełną gotowość do pracy i od tej pory system ten jest modułem systemu HADES a raportowanie i prowadzenie bilansu gazu z odmetanowania pozostaje w gestii Biura Odmetanowania i Gospodarki Metanem JSW S.A. Nadzór nad siecią odmetanowania prowadzi Dyżurny Inżynier Ruchu Zakładu Jastrzębie (Elektrociepłowni Zofiówka).

Jednocześnie na potrzeby modułu Bilans Metanu do każdej stacji odmetanowania została doprowadzona infrastruktura światłowodowa. Sieć GSM, którą do tej pory wykorzystywano do przesyłu danych, mimo że sprawdzała się dosyć dobrze w dotychczasowym systemie została zastąpiona siecią światłowodową. Za jej zastąpieniem przemawiały przede wszystkim pewne uwarunkowania transmisji od zmiennych warunków atmosferycznych i częstych prac remontowych u zewnętrznego dostawcy tej usługi.

Sama aplikacja zyskała nowe funkcjonalności – możliwy stał się dostęp poprzez przeglądarkę internetową z każdego komputera znajdującego się w sieci JSW, rozbudowano i dostosowano do nowych wymogów moduł raportowania, zrezygnowano z systemu raportowania dostępnego w starszych wersjach platformy ASIX na rzecz eksportu danych do Excel'a i umożliwienia użytkownikom tworzenia spersonalizowanych raportów według indywidualnych potrzeb. Znacząco poprawiło to możliwości raportowania i komfort pracy z danymi. Zmieniono również szatę graficzną samej wizualizacji. Na rysunku 11.13 [JSW odmetanowanie] pokazano ekran modułu Bilans Metanu w systemie HADES.



Rys. 11.13. Ekran sieci gazowej modułu Bilans Metanu w systemie HADES (inwersja zrzutu ekranu)

Na ekranie wizualizacji pokazano znormalizowane przepływy, stężenia gazu oraz ciśnienia w punktach pomiarowych sieci odmetanowania.

## 11.6. Monitoring części dolowej sieci odmetanowania

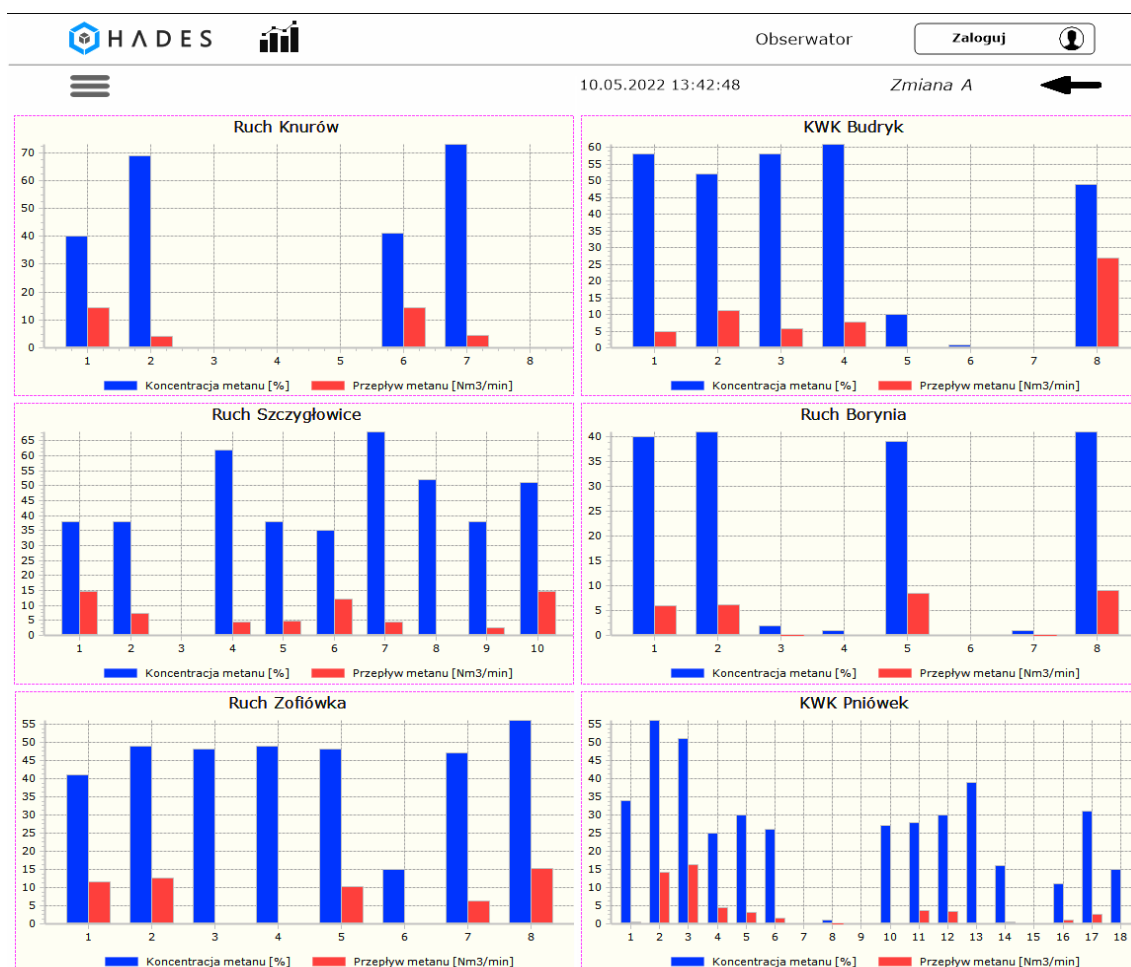
Równocześnie z migracją systemu rozliczeniowego do systemu HADES, w kopalniach JSW rozpoczęto kolejny innowatorski projekt polegający na budowie systemu pomiarowego



dołowych magistralnych sieci odmetanowania oraz uruchomiono kolejny moduł pod nazwą Odmetanowanie. W pierwszej kolejności w każdej kopalni JSW wytypowano kluczowe punkty w dołowych magistralnych sieciach odmetanowania, w których należałoby zabudować układy pomiarowe. Łącznie we wszystkich zakładach JSW wskazano 60 takich punktów:

- w ruchu „Borynia” – 8 punktów pomiarowych,
- w ruchu „Zofiówka” – 8 punktów pomiarowych,
- KWK „Pniówek” – 18 punktów pomiarowych,
- KWK „Budryk” – 8 punktów pomiarowych,
- w ruchu „Knurów” – 8 punktów pomiarowych,
- w ruchu „Szczygłowice” – 10 punktów pomiarowych.

Każdy punkt pomiarowy składa się z kryzy pomiarowej wraz z przetwornikiem różnicy ciśnień, metanomierza przystosowanego do pomiaru metanu w rurociągu, przetwornika ciśnienia oraz przetwornika temperatury. Wszystkie prace zostały wykonane siłami własnych oddziałów odmetanowania oraz łączności, zaś prefabrykowane elementy rurociągów, do których są zamontowane przetworniki pomiarowe wyprodukowała firma z grupy JSW S.A. – Jastrzębskie Zakłady Remontowe. Komunikację z urządzeniami dołowymi zapewnia system CST firmy HASO. Na rysunku 11.14 pokazano fragment ekranu ogólnego modułu Odmetanowanie [JSW odmetanowanie].

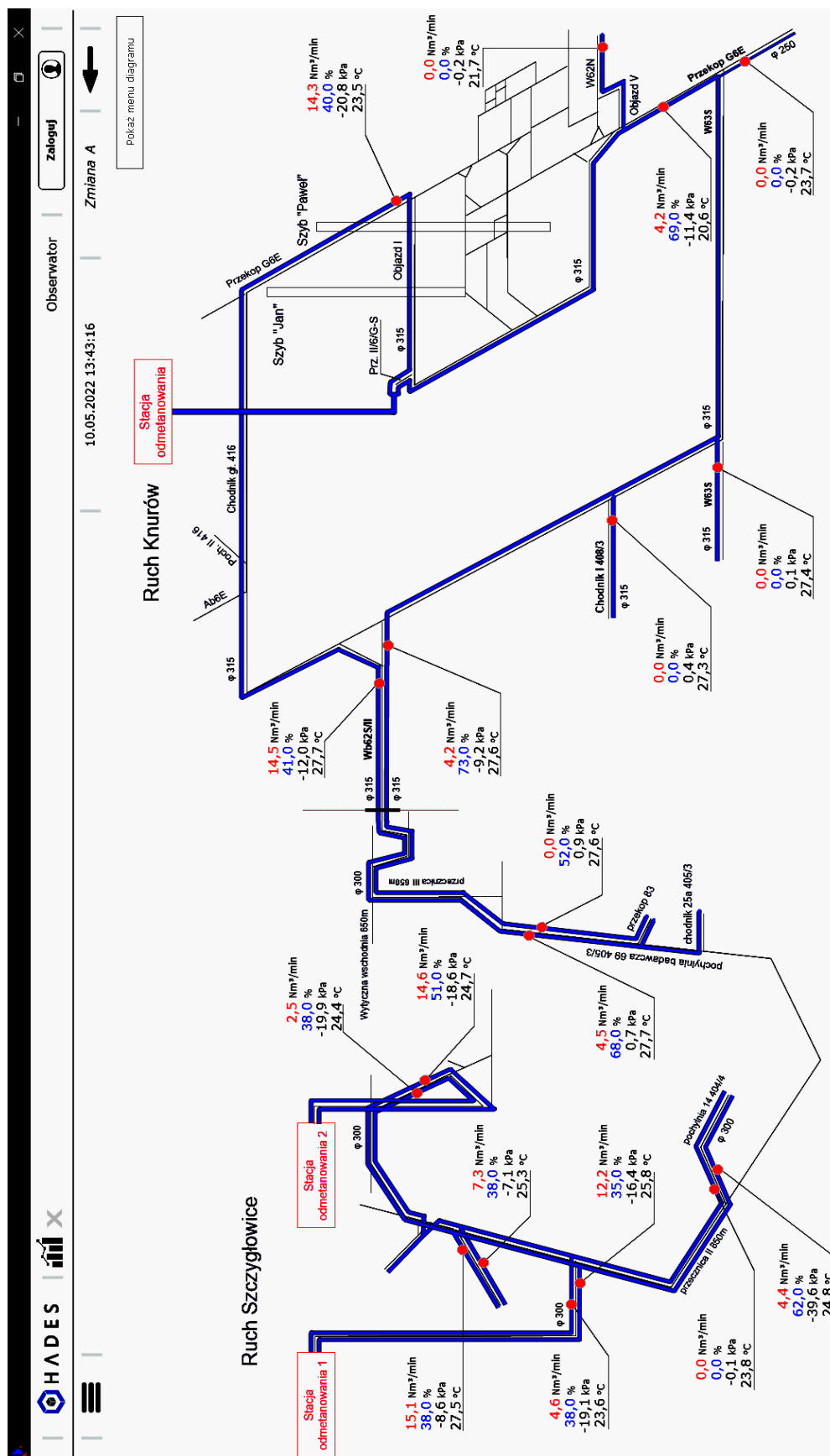


Rys. 11.14. Fragment ekranu ogólnego modułu Odmetanowanie (inwersja zrzutu ekranu)

Ekran przedstawia znormalizowany przepływ gazu oraz koncentrację metanu w poszczególnych punktach pomiarowych dołowych sieci odmetanowania. Na rysunku 11.15 [JSW odmetanowanie] przedstawiono szczegółowy ekran modułu Odmetanowanie dla KWK Knurów-Szczygłowice.

Ekran pokazuje wartości znormalizowanego przepływu, zawartość metanu, ciśnienie oraz temperaturę w poszczególnych punktach pomiarowych dołowej sieci odmetanowania.

Wszystkie prace zarówno obiektowe polegające na montażu prefabrykowanych elementów rurociągów, zabudowie i podłączeniu przetworników pomiarowych oraz programistyczne polegające na stworzeniu modułu Odmetanowanie w systemie HADES i pozyskanie danych pomiarowych zostały ukończone przed końcem 2020 r. W rezultacie powstał system pomiarowy obejmujący sieci odmetanowania wszystkich kopalń JSW.



Rys. 11.15. Ekran szczegółowy modułu Odmetanowanie dla KWK Knurów-Szczygłowice (inwersja zrzutu ekranu)

## 11.7. Podsumowanie

Wdrożenie kompleksowego systemu monitorowania systemów odmetanowania i bilansowania metanu zakończyło się sukcesem. Początkowo monitorowaniem sieci odmetanowania zajmował się Zakład ZOK. Zmodernizowano stacje odmetanowania we wszystkich kopalniach JSW, zainstalowano układy pomiarowe pozwalające na obliczenie znormalizowanych przepływów gazów w sieci odmetanowania. Zbudowano dyspozytornię odmetanowania w siedzibie ZOK wyposażoną monitoring sieci odmetanowania. Zrealizowano transmisję danych pomiarowych do dyspozytorni poprzez system telefonii komórkowej GSM.

W 2021 roku monitoring sieci odmetanowania przeniesiono do sieci JSW rozbudowując system HADES o moduł Bilans Metanu. Dyspozytornię systemu odmetanowania obsługuje Dyżurny Inżynier Ruchu Zakładu Jastrzębie (Elektrociepłowni Zofiówka). W części dołowej sieci odmetanowania zbudowano 60 punktów pomiarowych które włączono do modułu Odmetanowanie systemu HADES.

Monitorowanie części dołowej sieci odmetanowania umożliwi w przyszłości (po uzupełnieniu punktów pomiarowych w zasuwę regulacyjną) regulację sieci odmetanowania polegającą na uzyskaniu zadanego wydatku gazu w rurociągu przy zawartości stężenia metanu nie mniejszej od wartości zadanej [Dziurzyński 2015].

## 12. Monitoring zjawisk sejsmicznych

*Adam Lurka, Grzegorz Mutke, Zbigniew Szreder*

### 12.1. Wprowadzenie

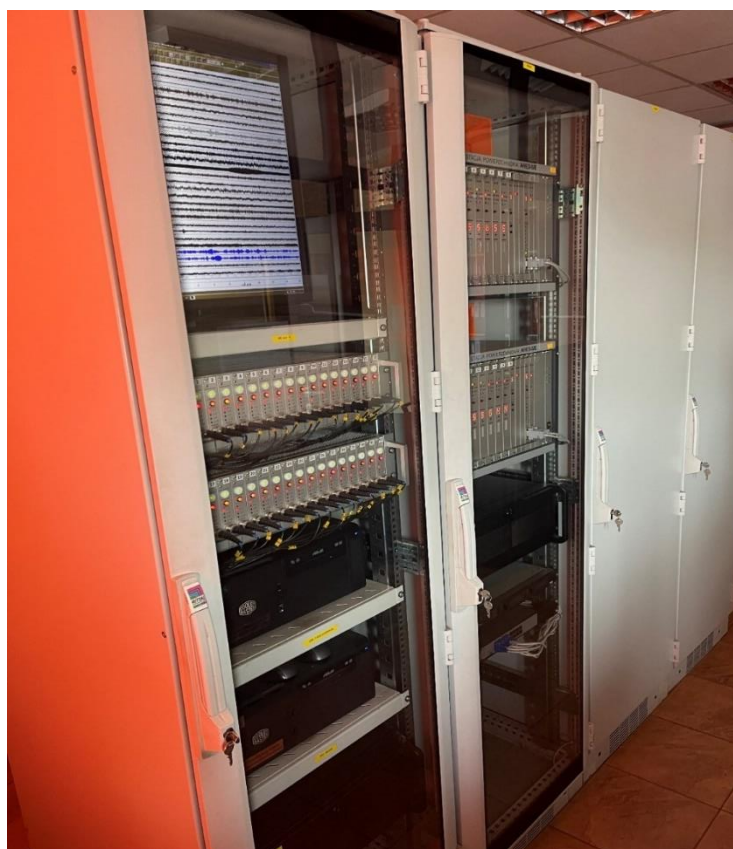
W Głównym Instytucie Górnictwa (GIG) od kilkadziesiąt lat prowadzone są badania nad rozwojem aparatury sejsmologicznej wraz z odpowiednią metodyką interpretacyjną pozwalającą na ocenę stanu zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami [Barański, 2012; Dubiński, 2000; Lurka, 1998; Lurka, 2005; Mutke, 2015; Mutke, 2019; Kabiesz, 2015]. Przez szereg lat w polskich kopalniach stosowano i nadal stosuje się aparaturę sejsmologiczną, która pod względem zastosowanych układów elektronicznych pozwala na rejestrację zjawisk sejsmicznych w zakresie energii od  $10^2$  J do nawet  $10^{10}$  J, w zależności od ustawień sprzętowych i rodzaju czujników. Niestety wraz z wyraźną poprawą parametrów funkcjonalnych samej aparatury sejsmologicznej w kopalnianych stacjach geofizyki rutynowo wyznaczane są tylko lokalizacja ogniska wstrząsu oraz energia sejsmiczna. Stan ten wynika zapewne z szeregu uwarunkowań merytorycznych, prawnych i technicznych, ale tak naprawdę w chwili obecnej nic nie stoi na przeszkodzie, aby kopalniane stacje geofizyki zostały wyposażone w aparaturę pozwalającą na rutynowe obliczanie szeregu innych parametrów charakteryzujących zjawiska sejsmiczne, a więc pośrednio także charakteryzujących górotwór poddany eksploatacji. Chodzi tutaj głównie o obliczanie parametrów źródła sejsmicznego takich jak moment sejsmiczny, spadek naprężeń, naprężenia pozorne, promień ogniska, objętość pozorna, przesunięcie w ognisku czy energia spektralna oraz parametrów pochodnych takich jak indeks energii, sejsmiczna liczba Schmidta czy sejsmiczna liczba Deborah [Mendecki, 1997]. Trzeba podkreślić, że parametry źródła sejsmicznego, które do tej pory nie były obliczane rutynowo w polskim górnictwie są wyznaczane przez systemy sejsmologiczne zainstalowane w górnictwie w RPA, Australii, USA, Chinach, Indonezji czy Kanadzie. Jest to więc obszar, w którym ogólnie pojmowana polska sejsmologia górnicza, która niewątpliwie nie ustępuje pod względem merytorycznym światowej sejsmologii górnicznej, odstaje od tego, co oblicza się w najlepszych kopalniach na świecie. Możliwość rutynowego obliczania tych parametrów wiąże się nierozdzielnie z wprowadzeniem do rejestracji czujników trójskładowych z odpowiednim pasmem przenoszonych częstotliwości. Nie jest to jednak tylko problem sprzętowy, ale również kwestia odpowiedniego oprogramowania, jakie dostarczane jest wraz z aparaturą sejsmologiczną. Istnieje więc bardzo pilna potrzeba, aby wprowadzić możliwość rutynowego, czy też automatycznego obliczania dodatkowych parametrów sejsmologicznych bezpośrednio w kopalniach. Do realizacji tego celu niezbędne jest, aby aparatura sejsmologiczna była dostarczona wraz z oprogramowaniem, które w prosty i nieskomplikowany sposób pozwoli na obliczanie tych nowych parametrów, tak jak w chwili obecnej dokonywana jest lokalizacja ognisk wstrząsów oraz wyznaczana energia sejsmiczna. Na przykładzie najnowszej wersji Systemu Obserwacji Sejsmologicznej (SOS) zaprojektowanej i stworzonej w Laboratorium Geofizyki Górniczej GIG można stwierdzić, że w chwili obecnej istnieje potencjalna możliwość prostego rozszerzenia rutynowej interpretacji danych sejsmologicznych w kopalniach o powyższe parametry oraz dodatkowo istnieje możliwość dokładniejszego obliczania lokalizacji ognisk wstrząsów oraz energii sejsmicznej.

Z tego punktu widzenia powstała więc poważna luka interpretacyjna danych sejsmologicznych, która uniemożliwia dalszy rozwój sejsmologii górniczej w Polsce.

## 12.2. Aparatura sejsmiczna używana w polskim górnictwie - Stacja Geofizyki Górniczej

Zagrożenie sejsmiczne i tąpnięciami w górnictwie węgla kamiennego występuje od co najmniej kilkudziesięciu lat. Wraz ze wzrostem głębokości prowadzenia robót górniczych, problem ten się zwiększa. Aktualnie w większości kopalń prowadzona jest eksploatacja w pokładach zaliczonych do zagrożonych tąpnięciami. Występowanie zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami wpływa na poziom bezpieczeństwa pracy, wymusza stosowanie dodatkowych rygorów prowadzenia robót górniczych, a przede wszystkim konieczność obserwacji i oceny stanu zagrożenia tąpnięciami oraz stosowania adekwatnej profilaktyki tąpniowej. Na podstawie wieloletnich doświadczeń, badań i analiz z prowadzenia robót górniczych w warunkach zagrożenia tąpnięciami, uwzględniając postęp techniczny i technologiczny, opracowano metody i środki oceny, i zwalczania tego zagrożenia. Powstał system prawny oraz organizacyjne formy kontroli i zwalczania tych zagrożeń. Podstawowymi elementami systemów oceny stanu zagrożenia tąpnięciami są:

- urządzenia stacyjne zainstalowane w Kopalnianych Stacjach Geofizyki Górniczej,
- urządzenia dołowe zainstalowane w wyrobiskach,
- kablowa kopalniana sieć teletransmisyjna.



Rys. 12.1. Przykładowe urządzenia stacyjne zainstalowane w Stacji Geofizyki Górniczej, stojak systemu SOS (z lewej), stojak systemu Ares (z prawej)



Na rysunku 12.1. przedstawiono stojaki urządzeń stacyjnych systemu SOS (stojak z lewej strony) oraz systemu Ares (z prawej) zainstalowane w Stacji Geofizyki Górniczej jednej z kopalń.

Podstawy prawne konieczności stosowania monitoringu sejsmicznego i zwalczania zagrożenia tąpnięciami ujęte są w ustawie Prawo geologiczne i górnicze [PGG, 2023] oraz w odpowiednich aktach wykonawczych do tej ustawy [RME, 2016; RMR, 2016]. Określono w nich między innymi, że przedsiębiorca jest obowiązany rozpoznawać zagrożenia związane z ruchem zakładu górniczego, podejmować środki zmierzające do zapobiegania i usuwania tych zagrożeń oraz posiadać odpowiednie środki materialne, techniczne i służby ruchu zapewniające bezpieczeństwo pracowników.

W zakładzie górniczym, w którym stwierdzono występowanie zagrożenia tąpnięciami i występuje aktywność sejsmiczna, Kierownik Ruchu Zakładu Górniczego (KRZG) zalicza pokład lub jego część do odpowiedniego stopnia zagrożenia tąpnięciami. Następnie jest on zobowiązany do organizacji służby technicznej do spraw tępnięć w kopalni i uruchomienia Stacji Geofizyki Górniczej, w której powinny zostać zabudowane systemy:

- sejsmoakustyczny,
- sejsmologiczny.

Stacja Geofizyki Górniczej jest zaliczana do tzw. obiektów podstawowych zakładu górniczego. Jest to wyodrębnione pomieszczenie zlokalizowane najczęściej w pobliżu dyspozytorni zakładowej, w których zainstalowane są urządzenia stacyjne systemów geofizycznych, systemy dyspozytorskiej łączności telefonicznej i alarmowej, a przede wszystkim monitory dla graficznej prezentacji zjawisk sejsmicznych i bieżącego procesu technologicznego w kopalni, którym szczególnie zainteresowany jest dyspozytor (obserwator) ds. tępnięć. Stacja geofizyki pracuje w ruchu ciągłym w kopalni we wszystkie dni w roku. Kieruje nią geofizyk górniczy. Zgodnie z obowiązującymi przepisami jest on odpowiedzialny między innymi za [RME, 2016]:

- wykonywanie bieżącej rejestracji i analizy aktywności sejsmicznej górotworu w aspekcie możliwości jej oddziaływania na wyrobiska górnicze oraz obiekty powierzchniowe,
- dokonywanie pomiarów:
  - własności geomechanicznych złoża i skał otaczających, w tym pomiarów wykonywanych metodami geofizycznymi w otworach wiertniczych,
  - sejsmicznych w złożu oraz w skałach otaczających dla oceny występującego w nich stanu naprężeń, w aspekcie oceny zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciami,
  - elektrooporowych dla oceny stanu spękania, porowatości i innych cech warstw skalnych,
  - badania z zakresu geofizyki inżynierskiej w aspekcie pomiarów, interpretacji i oceny wpływu wstrząsów na obiekty powierzchniowe, w tym badań stref nadkładu w celu określania współczynników amplifikacji drgań gruntu,

W zakładach górniczych stan zagrożenia tąpnięciami ocenia się na podstawie analizy wyników następujących metod [RME, 2016]:

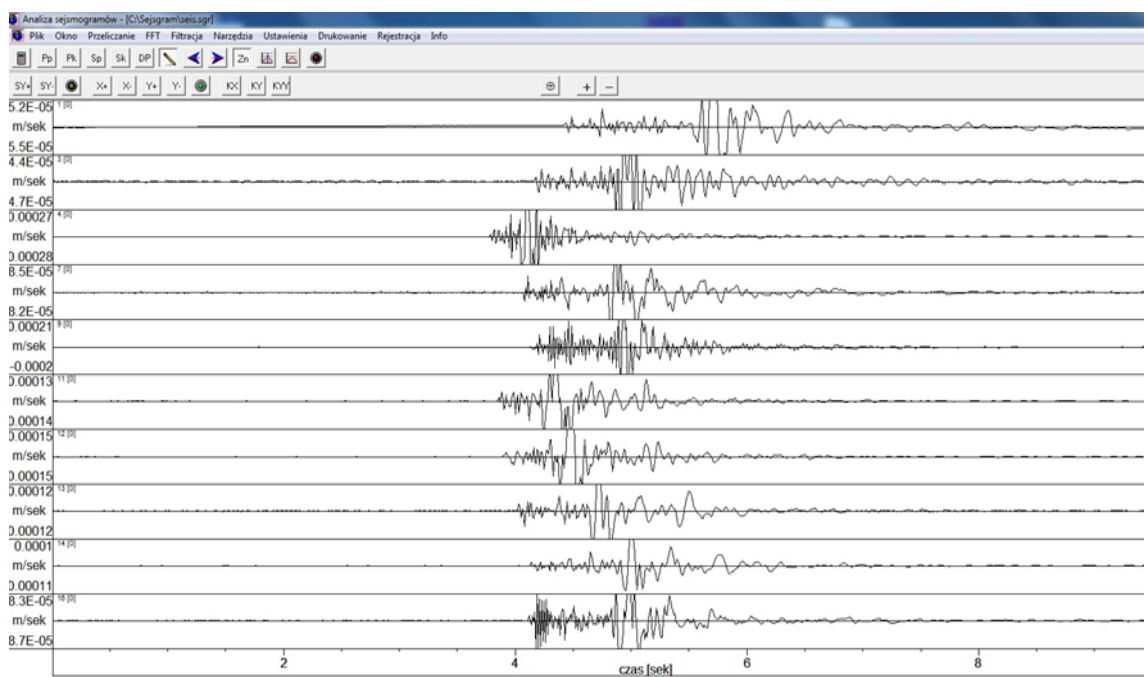
- sejsmologii górniczej,

- rozpoznania możliwości wystąpienia tąpnięcia ze względu na własności pokładów węgla i skał otaczających oraz sytuacji górniczej w rejonie prowadzonych robót,
- obserwacji oraz pomiarów przejawów naprężenia górotworu.

KRZG na podstawie opinii kopalnianego zespołu ds. tupań istniejącego w takiej kopalni może zalecić stosowanie również innych metod oceny stanu zagrożenia tąpnięciami, jak na przykład [RME, 2016]:

- 1) sejsmoakustyczna;
- 2) wzbudzonej aktywności sejsmoakustycznej;
- 3) sejsmoakustyczna w skałach otaczających;
- 4) sejsmiczna, w tym profilowanie, geotomografia sejsmiczna aktywna i pasywna;
- 5) elektrooporowa;
- 6) grawimetryczna;
- 7) tensometryczna;
- 8) konwergencji;
- 9) analityczne.

W każdej Stacji Geofizyki Górniczej jest zabudowany system seismologiczny i system sejsmoakustyczny. W większości polskich kopalń stosowana jest metoda seismologii górniczej w oparciu o instrukcję opracowaną przez GIG w Katowicach pt. **Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego**. Istotą metody seismologii górniczej jest rejestracja, a następnie specjalistyczna analiza wstrząsów górotworu występujących w kopalni. Przykładowe rejestrogramy zaistniałego wstrząsu wykonane aparaturą systemu SOS przedstawiono na rysunku 12.2. Obserwacje seismologiczne powinny obejmować wszystkie zagrożone tąpnięciami i wstrząsami rejonu kopalni i zapewnić możliwość rejestracji wstrząsów od energii rzędu  $10^2$  J.



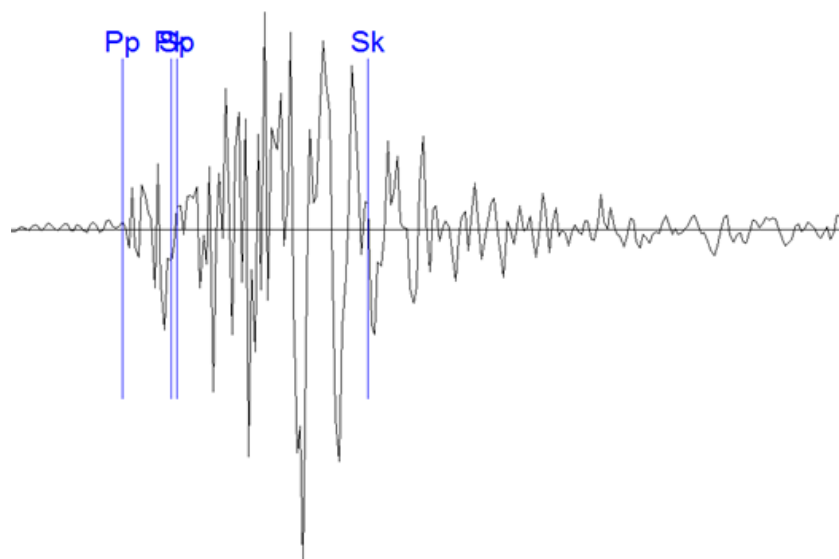
Rys. 12.2. Zapis zarejestrowanego w systemie SOS wstrząsu w kopalni

Zasadniczymi pracami przy interpretacji zarejestrowanych wstrząsów są określenie współrzędnych ogniska wstrząsu, obliczenie energii sejsmicznej oraz korelacja rejestrowanej aktywności sejsmicznej z warunkami geologiczno-górnicznymi, co przedstawiono na rysunkach 12.3 i 12.4. Na rysunku 12.3 a) charakterystyczne punkty tego wykresu to:

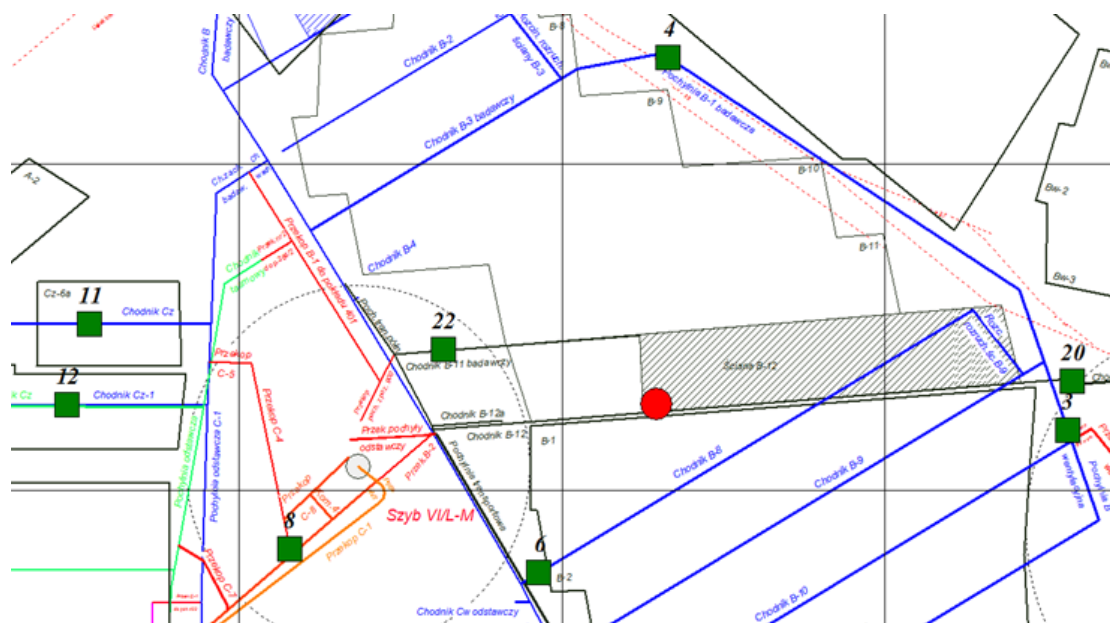
- Pp – znacznik czasu pierwszego wejścia fali P,
- Pk- znacznik czasu końca wejścia fali P,
- Sp – znacznik czasu pierwszego wejścia fali S (punkt ten prawie pokrywa się z Pk),
- Sk – znacznik czasu końca wejścia fali S.

Na rysunku 12.3 b) zielonymi kwadratami oznaczono miejsca lokalizacji poszczególnych czujników, a punktem czerwonym miejsce lokalizacji zarejestrowanego wstrząsu.

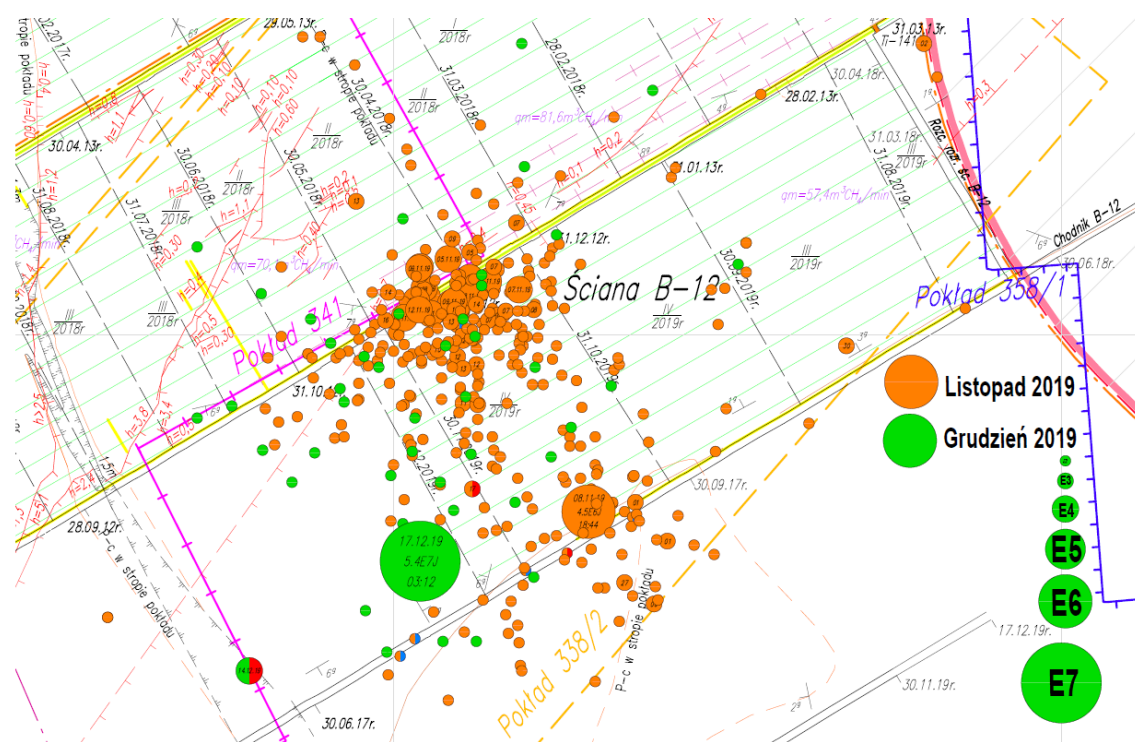
a)



b)



Rys. 12.3. Przykładowa interpretacja i lokalizacja zarejestrowanego wstrząsu z użyciem oprogramowania systemu SOS



Rys. 12.4. Przykładowy wycinek mapy pokładowej z naniesionymi wstrząsami oraz z naniesionymi krawędziami dokonanej eksploatacji

Dla zapewnienia prawidłowej interpretacji rejestrowanych wstrząsów, nie rzadziej niż co dwa lata każdy kanał aparatury sejsmologicznej musi mieć wyznaczone kalibracyjne charakterystyki częstotliwościowe. Dołowe stanowiska sejsmometryczne w miarę możliwości należy budować tak, aby wszystkie zagrożone tapaniami rejony znajdowały się wewnątrz kopalnianej sieci sejsmologicznej i były rozmieszczone zgodnie z dokumentacją optymalizacji sieci sejsmologicznej, w której wyznaczono błędy lokalizacji ognisk wstrząsów dla projektowanej eksploatacji dla różnych wariantów rozmieszczenia stanowisk pomiarowych. Wyniki obserwacji sejsmologicznej dokumentuje się na bieżąco nie rzadziej niż raz na dobę.

Każda Stacja Geofizyki Górniczej posiada zasilanie bezprzerwowe: podstawowe z sieci elektroenergetycznej i rezerwowe z baterii akumulatorów buforowanych spalinowym zespołem prądowoczym.

### 12.3. Systemy sejsmologiczne eksploatowane w polskich kopalniach

Aktualnie w polskich kopalniach instalowane są dwa systemy sejsmologiczne:

- System Obserwacji Sejsmologicznej SOS produkcji GIG w Katowicach,
- System Sejsmiczny ARAMIS M/E produkcji CTT EMAG w Katowicach.

W kopalniach mogą jeszcze być stosowane starsze systemy sejsmologiczne, takie jak: ARAMIS, SYLOK, AS-1, LKZ, Górnik-1 (najczęściej są to nazwy własne producentów tych systemów).

W skład części powierzchniowej systemów wchodzi: stacje odbiorcze, serwer rejestrujący lub rejestrator sejsmologiczny z oprogramowaniem służącym do obsługi systemów, serwer ciągłego zapisu oraz komputery ze specjalistycznym oprogramowaniem służącym do



interpretacji, archiwizacji i analizy zapisów, zegar GPS. Serwer rejestrujący wykrywa (detekcja) zjawiska (wstrząsy i zakłócenia) i je zapisuje. Rejestrator sejsmologiczny pełni też te funkcje, ale jest mniej rozbudowany o inne funkcje np. całkowanie, obliczanie magnitudy. Serwer ciągłego zapisu rejestruje przez cały czas wszystkie zjawiska i zapisuje na dysku a z nich wyodrębnia dyspozytor wstrząsy.

Stacje odbiorcze składają się z kaset odbiorników sejsmicznych (rys. 12.5 oraz rys. 12.6) zainstalowanych w typowych stojakach teleinformatycznych przeznaczonych dla urządzeń stacyjnych. Liczba kaset jest uzależniona od ilości dostępnych kanałów danego systemu sejsmologicznego. Na ogół jest to 8, 16, 32 lub więcej kanałów w zależności od potrzeb kopalni.



Rys. 12.5. Stacja odbiorcza DLM-SO z 16 odbiornikami sejsmicznymi systemu SOS



Rys. 12.6. Stacja odbiorcza z odbiornikami OCGA systemu ARAMIS M/E

Stacje odbiorcze połączone są z serwerem rejestrującym lub rejestratorem sejsmologicznym. Współpracują one, poprzez wewnętrzną, niezależną sieć teleinformatyczną kopalnianej Stacji Geofizyki Górniczej z innymi komputerami służącymi do interpretacji i analizy rejestrowanych wstrząsów w Stacji Geofizyki Górniczej.

Dla przykładu stacja odbiorcza sygnałów sejsmicznych typu SOS zbudowana jest w oparciu o 16 paneli stacyjnych „OS” (odbiorników sejsmicznych) współpracujących z 16 sondami typu DLM 2001. Stacje odbiorcze mogą być łączone panelowo z rejestratorem SOS, co daje możliwość użycia w systemie stanowisk sejsmicznych o dowolnej wielokrotności liczby 16. Zmodulowany prądowo sygnał w sondzie pomiarowej poprzez linię transmisyjną jest przesłany do odbiornika i dalej do układu detekcji prądu linii transmisyjnej. Zbudowany

w oparciu o wzmacniacz operacyjny i dwa transoptory układ detekcji prądu ma za zadanie odtworzenie prądu linii transmisyjnej i jego zamianę na proporcjonalny sygnał napięciowy. Stacja zapewnia również zasilanie dla urządzeń dołowych systemu. Wybrane dane techniczne stacji DLM-SO:

- rodzaj transmisji – modulacja prądowa,
- zakres częstotliwości – 0,1 – 10000 Hz,
- dynamika w odniesieniu do szumu własnego – 92 dB,
- wzmocnienie –  $\times 1$ ,  $\times 2$ ,  $\times 5$ ,  $\times 10$ ,
- stosowane czujniki – DLM 2001, akcelerometry lub inne w zależności od potrzeb.

Część dołowa systemów geofizycznych składa się z czujników do pomiaru prędkości drgań oraz nadajników do transmisji sygnałów sejsmicznych. W systemie SOS są to sondy pomiarowe typu DLM2001 (rys. 12.7). Sonda DLM2001 składa się z czujnika i nadajnika, które zabudowane są w jednej obudowie. Sondy te można montować na kotwach z gwintem M20 w pozycji pionowej w stropie i spągu wyrobiska bądź w pozycji poziomej.



Rys. 12.7. Niskoczęstotliwościowa sonda sejsmologiczna DLM2001 systemu SOS

W systemie sejsmicznym ARAMIS M/E stosowane są sejsmometry typu SPI-70 i SV\*/DTSS lub niskoczęstotliwościowe geofony z nadajnikami NSGA przedstawione na rysunku 12.8.

a)



b)





c)



d)



Rys. 12.8. Czujniki i nadajniki sejsmiczne używane w aparaturze ARAMIS M/E: a) sejsmometr SPI-70, b) sejsmometr SV\*/DTSS, c) nadajnik NSGA, d) geofon niskoczęstotliwościowy

## 12.4. Systemy sejsmoakustyczne

Obecnie dostępna jest aparatura sejsmoakustyczna typu ARES-5/E. Pewną niedogodnością tego rozwiązania, jest możliwość stosowania czujników rejestrujących tylko drgania powyżej 10 Hz. Oznacza to, że aparatura ta nie nadaje się do obliczania energii sejsmicznej wszystkich rodzajów wstrząsów górniczych pomimo wprowadzenia możliwości rejestracji sejsmogramów zjawisk sejsmoakustycznych. W Stacjach Geofizyki Górniczej mogą jeszcze pracować starsze typy tej aparatury ARES-4, ARES-3, które są modyfikacją starszego systemu SAK. System sejsmoakustyczny ARES-5/E składa się z części powierzchniowej i części dołowej.

Część powierzchniowa składa się ze stacji powierzchniowej ARES 5/E (rys. 12.9) oraz komputera stacyjnego ze specjalistycznym oprogramowaniem. Stacja powierzchniowa ARES 5/E zawiera 8 modułów odbiornika OA-5/E, moduł systemowy, moduł rejestracji zjawiska, moduł detekcji zjawiska, moduł odsłuchu linii, moduł ekstendera.



Rys. 12.9. Stacja powierzchniowa systemu ARES 5/E

Część dołowa systemu sejsmoakustycznego ARES-5/E składa się z czujników dołowych (geofonowych sond pomiarowych) oraz z nadajników dołowych przedstawionych na rysunku 12.10. Sondy geofonowe instalowane są na kotwach w wyrobiskach górniczych.

a)



b)



Rys. 12.10. Czujniki i nadajniki sejsmiczne stosowane w systemie ARES:

a) sonda geofonowa, b) nadajnik dołowy

## 12.5. System SOS

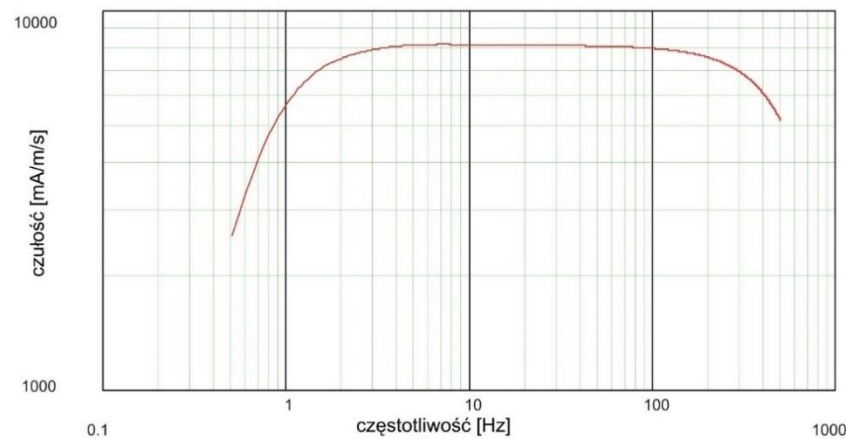
Podstawowy schemat systemu SOS został przedstawiony na rysunku 12.12 a). Część podziemna składa się z czujników prędkościowych (geofonów), w których zastosowano układ elektroniczny obniżający dolną częstotliwość rejestracji do 1 Hz. Jest to niezwykle ważne w seismologii górniczej, gdyż duża część energii sejsmicznej jest zawarta w paśmie niskich częstotliwości do 10 Hz. Ponadto w części podziemnej znajdują się nadajniki linii transmisji, w których realizowana jest modulacja prądowa sygnałów sejsmicznych. W części powierzchniowej można wyróżnić pięć zasadniczych elementów:

- część odbiorcza linii transmisji sygnałów sejsmicznych realizująca demodulację prądową,
- rejestrator drgań sejsmicznych realizujący próbkowanie sygnałów sejsmicznych, ich analizę i detekcję oraz zapis na dysku twardym,
- zegar czasu rzeczywistego GPS pozwalający na synchronizację czasu z dokładnością do mikrosekund,
- sieć LAN, umożliwiająca dostęp (on line) do danych rejestratora,
- komputer do obróbki, analizy i interpretacji danych sejsmicznych.

Standardowo w systemie SOS stosowane są niskoczęstotliwościowe czujniki typu DLM 2001, które mogą być jedno lub trójskładowe. Charakterystyka tego czujnika przedstawiona jest na rysunku 12.11. Dodatkowo czujniki te są iskrobezpieczne i mają wbudowany układ nadajnika transmisji prądowej. Do niewątpliwych ich zalet należy ich łatwość montażu i mobilność. Ma to duże znaczenie przy stosowaniu ich w kopalniach, gdzie istnieje konieczność częstej zmiany miejsca zabudowy czujnika, co w porównaniu ze stosowanymi do tej pory sejsmometrami SPI stanowi istotną ich zaletę. Wybrane parametry techniczne czujnika DLM 2001:

- rodzaj transmisji – prądowa,

- czułość - dobierana od  $50 \div 15000 \text{ mA} \cdot \text{s/m}$ ,
- zakres rejestrowanych częstotliwości  $1 - 600 \text{ Hz}$ ,
- zakres napięć zasilających  $18 \div 40 \text{ V}$ ,
- pobór prądu -  $12 \text{ mA}$ ,
- głębokość modulacji prądowej w linii transmisyjnej  $\pm 5 \text{ mA}$ ,
- zniekształcenia nieliniowe  $\leq 3\%$ .



Rys. 12.11. Charakterystyka czujnika DLM 2001

W konfiguracji systemu możliwe też jest zastosowanie czujników innego typu, jak na przykład akcelerometrów, co powoduje, że system może gromadzić dane rejestrowane w różnych jednostkach fizycznych oraz pozwalać na rejestracje silnych drgań sejsmicznych z użyciem czujników PPV [Lurka 2021; Mutke 2007] bądź drgań rotacyjnych [Mutke, 2020]. Ważną cechą systemu SOS jest przechowywanie informacji takich jak:

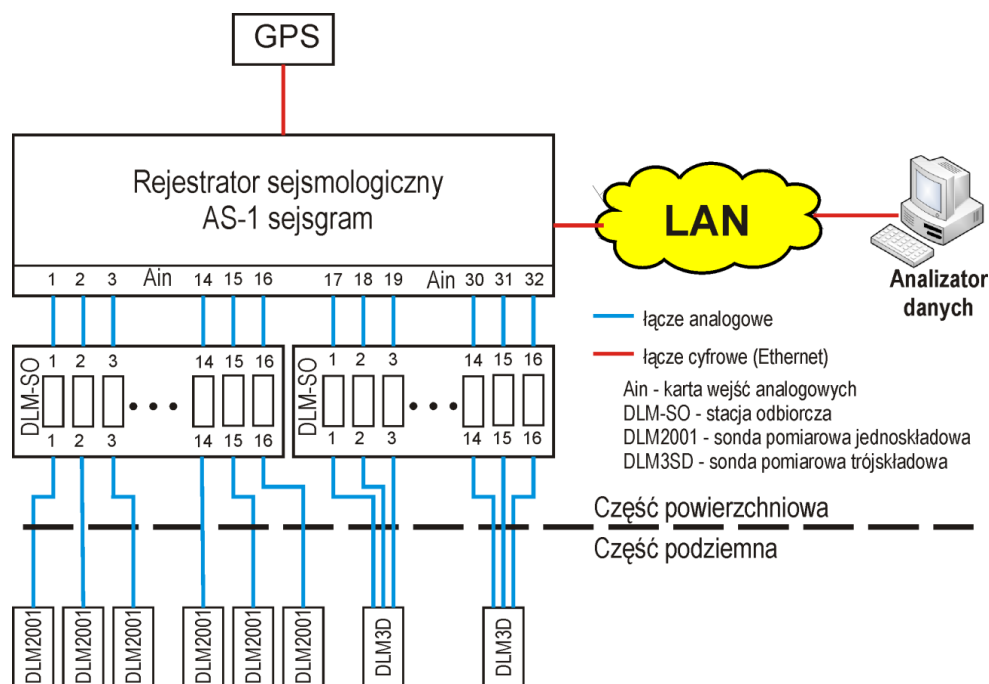
- rodzaj czujnika na danym kanale pomiarowym,
- współrzędne stanowisk sejsmometrów,
- wartości rzeczywistych jednostek fizycznych,

i szereg innych wartości podstawowych jak np. data i czas zjawiska sejsmicznego w jednym pliku z sejsmogramem cyfrowym. Daje to całkowitą elastyczność w analizie danych, gdyż na wypadek zmiany typu czujnika, czy jego charakterystyki lub współrzędnych informacje są przechowywane na bieżąco w każdym cyfrowym zapisie wstrząsu niezależnie. System SOS jest też przystosowany do obróbki danych w trybie jednokanałowym lub wielokanałowym (z uwzględnieniem czujników trójskładowych), gdzie amplitudy z poszczególnych składowych obrazowane są jednocześnie, co między innymi ułatwia analizę fal podłużnych P i poprzecznych S. Tryb jednokanałowy pokazuje sejsmogram z jednego czujnika rejestrującego zazwyczaj tylko składową pionową drgań natomiast wielokanałowy pokazuje zapis z trzech składowych: pionowa, oraz w dwóch płaszczyznach poziomych np. wschód -zachód i północ-południe. Przykładowy obraz w trybie jednokanałowym pokazany jest na rysunku 12.13, a w trybie wielokanałowym na rysunku 12.14. Z uwagi na możliwość konfiguracji systemu SOS w wersji trójskładowej i mieszanej rejestrator w systemie SOS może analizować i zapisywać od 32 do 256 kanałów sejsmicznych. Każdy kanał jest próbkowany 16 bitowym słowem z regulowaną częstotliwością próbkowania od  $1 \text{ Hz}$  do  $10\,000 \text{ Hz}$ , co pozwala na

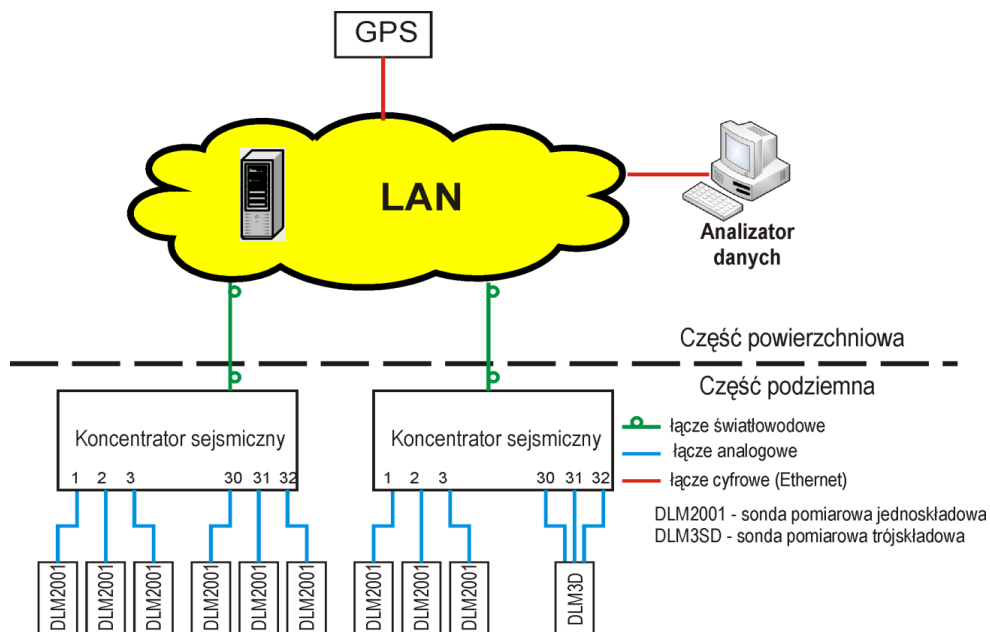
obróbkę i rejestrację danych w paśmie znacznie wyższym niż pasmo przyjęte dla sejsmologii górniczej, czyli znacznie powyżej zakresu  $1 \div 200$  Hz. Stwarza to unikatową możliwość obróbki danych sejsmicznych np. lokalizację ogniska wstrząsu i obliczanie energii sejsmicznej w pasmach uznawanych za sejsmoakustyczne, czyli tak naprawdę pozwala na integrację dwóch typów aparatów tj. sejsmologicznej i sejsmoakustycznej.

Drugi wariant systemu SOS jest znacząco rozwiniętą wersją systemu SOS w wariacie pierwszym i jest to system o rozproszonej architekturze, gdzie zastosowano podziemne koncentraty sejsmiczne (rys. 12.12b), z których każdy samodzielnie analizuje i gromadzi cyfrowe dane sejsmiczne. Do każdego koncentratora można podpiąć 32 lub więcej czujników sejsmicznych, przy czym, z uwagi na pracę pod ziemią kopalni, znacząco skrócono odległość między czujnikami a systemem rejestrującym uzyskując znaczącą poprawę stosunku sygnału sejsmicznego do szumu. Każdy podziemny koncentrator SOS jest połączony poprzez światłowód z siecią LAN części powierzchniowej systemu SOS i jest synchronizowany czasowo z dokładnością lepszą niż  $10^{-6}$  sekundy poprzez protokół PTP (Precision Time Protocol) pozwalając na integrację danych sejsmicznych ze wszystkich koncentratorów. Zadaniem działania części powierzchniowej rozproszonej wersji systemu SOS jest integracja danych sejsmicznych z koncentratorów podziemnych oraz ich dalsza obróbka.

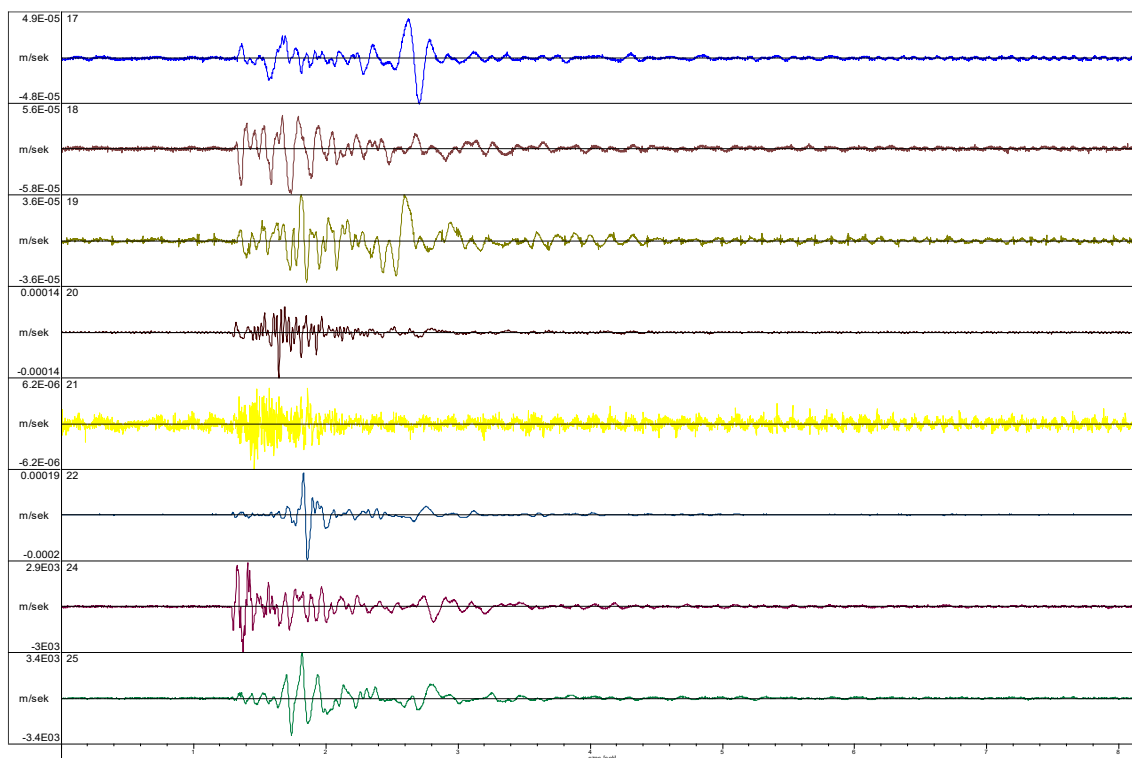
a)



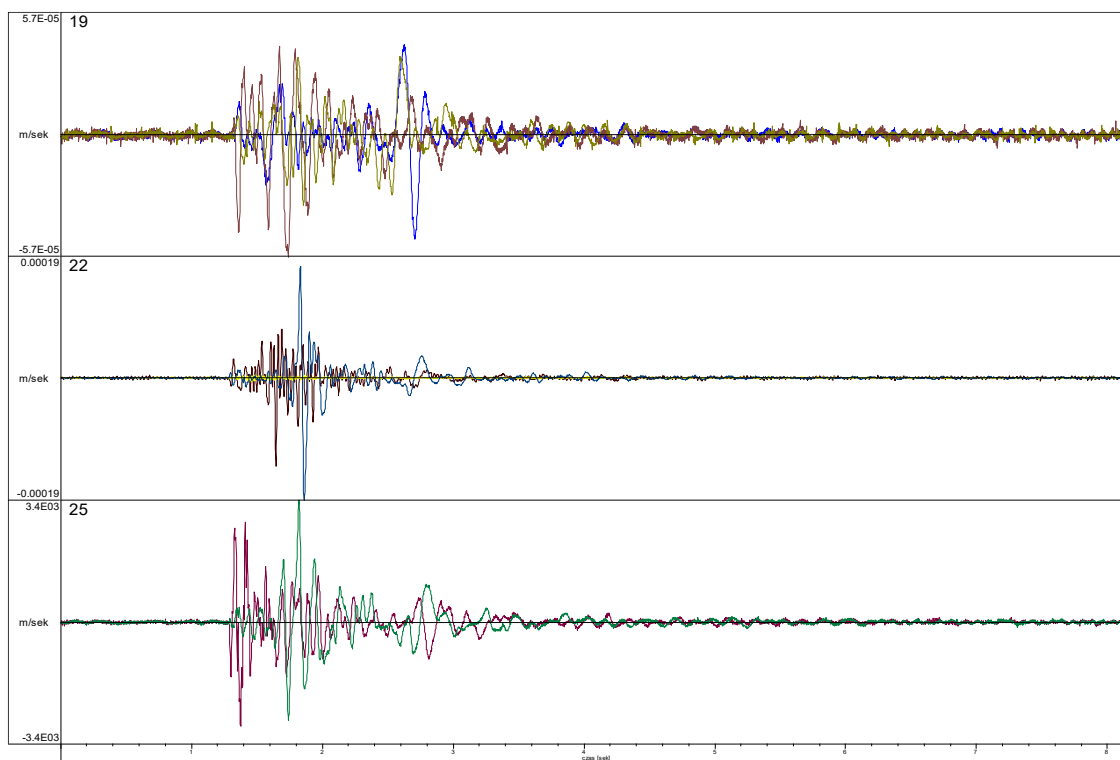
b)



Rys. 12.12. Schemat blokowy systemu SOS: a) system SOS z pojedynczym rejestratorem, b) system SOS w wersji rozproszonej z wieloma koncentratorami podziemnymi



Rys. 12.13. Przykładowy cyfrowy sejsmogram wstrząsu w trybie jednokanałowym



Rys. 12.14. Przykładowy cyfrowy sejsmogram wstrząsu w trybie wielokanałowym

## 12.6. Dynamika rejestracji zjawisk sejsmicznych

Inną ważną kwestią związaną z aparaturami sejsmologicznymi jest dynamika rejestracji zjawisk sejsmicznych (wyrażona w dB) zdefiniowana jako logarytm ze stosunku maksymalnej do minimalnej amplitudy, jaką może zarejestrować system sejsmiczny. Parametr ten, chociaż jest niezwykle ważny w obserwacjach sejsmologicznych często bywa źle rozumiany. Składa się na to szereg czynników, ale głównym w istocie powodem złego rozumienia tego, co mamy na myśli mówiąc o dynamice całego systemu sejsmicznego jest podawanie za całkowitą dynamikę systemu sejsmicznego wartości obliczonych dla poszczególnych elementów rozważanej aparatury. Tak na przykład można mówić o dynamice przetwornika analogowo-cyfrowego, dynamice czujnika, dynamice wzmacniaczy sygnału czy też o dynamice toru transmisyjnego. Każdy z tych elementów ma oczywiście swoją dynamikę, ale za prawdziwą dynamikę systemu sejsmologicznego należy rozumieć dynamikę systemu traktowanego jako całość. Dodatkowo konieczne jest uwzględnienie problemu nierozzerwalnie związanego z dynamiką aparatury sejsmologicznej, mianowicie problemu szumów własnych występujących w warunkach kopalnianych. Na podstawie licznych obserwacji wynika, że szum sejsmiczny na kopalniach jest zawsze większy lub równy  $10^{-7}$  m/s, co w praktyce oznacza, że nie jesteśmy w stanie rejestrować drgań od wstrząsów o amplitudach mniejszych niż ta wartość. Z drugiej strony wzmocnienia na kanałach sejsmicznych powinny pozwalać na nieprzesterowane rejestracje drgań dla wstrząsów z zakresu energii od  $10^2$  J do  $10^8$  J. Obydwa te ograniczenia powodują, że prawdziwa dynamika drgań na rzeczywistych cyfrowych zapisach wstrząsów zmienia się w zakresie od 30 dB do 80 dB, w wielu przypadkach może być nawet mniejsza. Natomiast dynamika układów elektronicznych może być znacznie wyższa. I tak na przykład dla 16 bitowego przetwornika A/C wynosi ok. 96 dB, a dla 24 bitowego ok. 144 dB.

Jest oczywiście korzystniejsze stosowanie przetworników o wyższej dynamice, ale ze względu na wspomniane ograniczenia w zakresie poziomu szumów i wzmocnień na kanałach sejsmicznych nie wpływa to istotnie na dynamikę uzyskiwanych cyfrowych zapisów wstrząsów. Dlatego należy zawsze pamiętać o fizycznym ograniczeniu na dynamice cyfrowych zapisów drgań i nie mylić tego z dynamiką samych układów elektronicznych. Obecnie do systemu SOS opracowano specjalny algorytm kompresji sygnałów, który pozwala na uzyskiwanie rzeczywistej dynamiki cyfrowych zapisów wstrząsów na poziomie 90 dB zarówno dla zjawisk słabszych, jak i silnych. Pozwala to z jednej strony znacznie podwyższać dynamikę zapisów słabych wstrząsów, a z drugiej cyfrowe zapisy silnych zjawisk sejsmicznych nie będą wykaczały poza zakres pomiarowy urządzeń. Zasada działania tego algorytmu jest analogiczna do systemu kompresji Dolby stosowanego w urządzeniach audio.

## 12.7. Interpretacja danych w systemie SOS

Analiza danych sejsmologicznych w systemie SOS realizowana jest w oparciu o dwa podstawowe programy: Seisgram i Multilok. Program Seisgram służy do wstępnej analizy i obróbki cyfrowych zapisów wstrząsów, natomiast Multilok służy do analizy danych sejsmologicznych tzn. obliczania lokalizacji i energii wstrząsów oraz parametrów źródła sejsmicznego i zapisywanie obliczanych parametrów w bazie danych. Obydwa programy potrafią wymieniać się ze sobą danymi poprzez komunikację międzyprocesową systemu Windows (Interprocess Communication), co daje możliwość równoczesnej pracy na obydwu programach jednocześnie. System sejsmiczny SOS gromadzi dane w sposób ułatwiający zastosowanie bardziej zaawansowanych obliczeń, jak na przykład tomografia pasywna [Lurka, 2009, 2005, 1998], co stanowi niewątpliwą atut badawczy i użytkowy systemu.

### 12.7.1. Obróbka i analiza danych w programie Seisgram

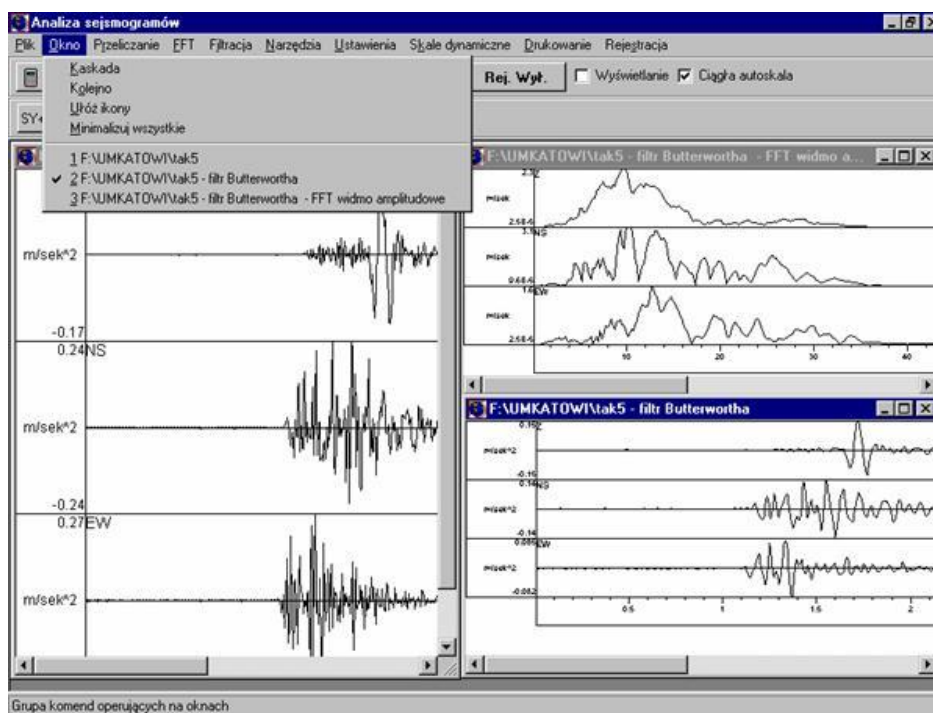
Seisgram operuje głównie na zbiorach danych zapisanych we własnym wewnętrznym formacie i ten format danych jest najlepiej przystosowany do dalszej analizy danych sejsmicznych. W programie wprowadzono możliwość operowania danymi sejsmicznymi ze starszych wersji aparatury AS-1 i ARAMIS oraz umożliwiono import danych z plików ASCII. Wszystkie operacje na danych odbywają się z uwzględnieniem jednostek fizycznych analizowanych sejsmogramów, co oznacza, że po otwarciu konkretnego pliku mamy możliwość odczytu bieżących wartości amplitud prędkości, przyspieszenia, przemieszczeń lub jednostek pochodnych otrzymanych np. z analizy Fouriera. W nowszych wersjach programu można też operować na mieszanych zbiorach danych np. rejestracjach z czujników prędkości i przyspieszeń a także z czujników jedno, dwu i trójskładowych wraz z odpowiednim trybem wyświetlania (rys. 12.13 i 12.14). Ogólną zasadą w programie Seisgram jest praca w tzw. trybie wielookienkowym, co pozwala w sposób wydajny porównywać różnego rodzaju dane sejsmiczne, na przykład „dane pierwotne” z przetworzonymi w procesie filtracji, rysunek 12.15.

Do ważniejszych operacji dostępnych w Seisgramie należą:

- analiza widma Fouriera z możliwością obliczania widma amplitudowego oraz fazowego, zarówno dla całego sejsmogramu, jak i dla wybranych grup falowych,



- filtracja częstotliwościowa z możliwością wyboru typu filtru (dolnoprzepustowy, górnoprzepustowy, pasmowy), rzędu filtru oraz jego granic częstotliwościowych,
- różniczkowanie i całkowanie sejsmogramów z uwzględnieniem korekty linii bazowej, co pozwala między innymi uzyskiwać zapisy przyspieszeń z rejestracji prędkościowych i odwrotnie,
- automatyczne obliczanie znaczników wejścia fali P i/lub S z uwzględnieniem lokalizacji ogniska wstrząsu,
- wielopoziomowe skalowanie sejsmogramów z możliwością skalowania amplitud do wybranego kanału,
- różnorodne operacje pozwalające na wycinanie i wybór odpowiednich kanałów,
- wymiana danych z programem Multilok poprzez tzw. Interprocess Communication,
- możliwość zapisu okna graficznego do grafiki wektorowej typu windows metafile (opcja bardzo przydatna w przypadku opracowywania raportów np. w programie MS Word),
- zabezpieczenie najważniejszych opcji konfiguracji programu hasłem dostępu.



Rys. 12.15. Przykładowy obraz uzyskany podczas analizy danych w programie Seisgram

### 12.7.2. Analiza danych w programie Multilok

Program Multilok pozwala na analizę danych w dwóch trybach. W pierwszym dane pobierane są pośrednio z programu Seisgram poprzez tzw. mechanizm wspólnej pamięci dzielonej oraz w drugim trybie poprzez bezpośredni odczyt z wybranego pliku na dysku. Za najbardziej wydajny jest uznawany tryb pierwszy, który pozwala na wyznaczenie znaczników i wstępną obróbkę cyfrowych zapisów wstrząsów w programie Seisgram. Praca z programem odbywa się na tle okna graficznego z naniesionymi najważniejszymi obiektami, takimi jak obrysy ścian, uskoki, stanowiska. Wszystkie obiekty graficzne można modyfikować lub dodawać nowe w trybie mapy wektorowej, gdzie dane wprowadza się pracując w rzeczywistym

układzie współrzędnych obranym przez daną kopalnię. Do podstawowych właściwości programu należy obliczanie lokalizacji ognisk wstrząsów oraz energii sejsmicznej. W jego najnowszej wersji Multilok pozwala także na automatyczne obliczanie parametrów źródła sejsmicznego. Wszystkie obliczane parametry są na bieżąco zapisywane do bazy danych, tak aby można było wykonywać późniejsze analizy na grupach wstrząsów. Multilok jest programem, w którym zastosowano szereg zaawansowanych algorytmów numerycznych, ale dla użytkownika programu jest łatwy w obsłudze i większość obliczeń może być wykonywana automatycznie. Możliwa jest także ingerencja w wewnętrzną konfigurację parametrów obliczeniowych, które podobnie jak w programie Seisgram mogą być chronione hasłem dostępu. Do ważnych cech programu należy możliwość zastosowania do lokalizacji ognisk wstrząsów prędkości stanowiskowych oraz edycja współczynników tłumienia dla fal sejsmicznych podłużnych i poprzecznych. Do najważniejszych operacji dostępnych w Multilok należą:

- uwzględnienie zjawiska wieloznaczności lokalizacji ognisk wstrząsów,
- obliczanie lokalizacji i energii sejsmicznej na oddzielnej grupie kanałów sejsmicznych w obrębie tego samego zjawiska sejsmicznego,
- lokalizacja dla różnych norm minimalizowanej funkcji celu, (m.in. norma L2, L1) lub z użyciem różnych algorytmów optymalizacji (m.in. algorytm Simplex),
- lokalizacja z równoczesnym użyciem czasów wejść fali podłużnej i poprzecznej, co jest wariantem metod lokalizacji uwzględniających kierunek przyścia fali,
- lokalizacja z narzuconą wartością współrzędnej pionowej Z,
- obliczanie energii wstrząsów metodą całkową i pomocniczo z maksymalnej amplitudy,
- automatyczne obliczanie parametrów źródła sejsmicznego: moment sejsmiczny, promień ogniska, przesunięcie w ognisku, spadek naprężeń, objętość, naprężenia pozorne, energia spektralna,
- wyświetlanie siatki współrzędnych na ekranie graficznym.

## 12.8. Parametry źródła sejsmicznego

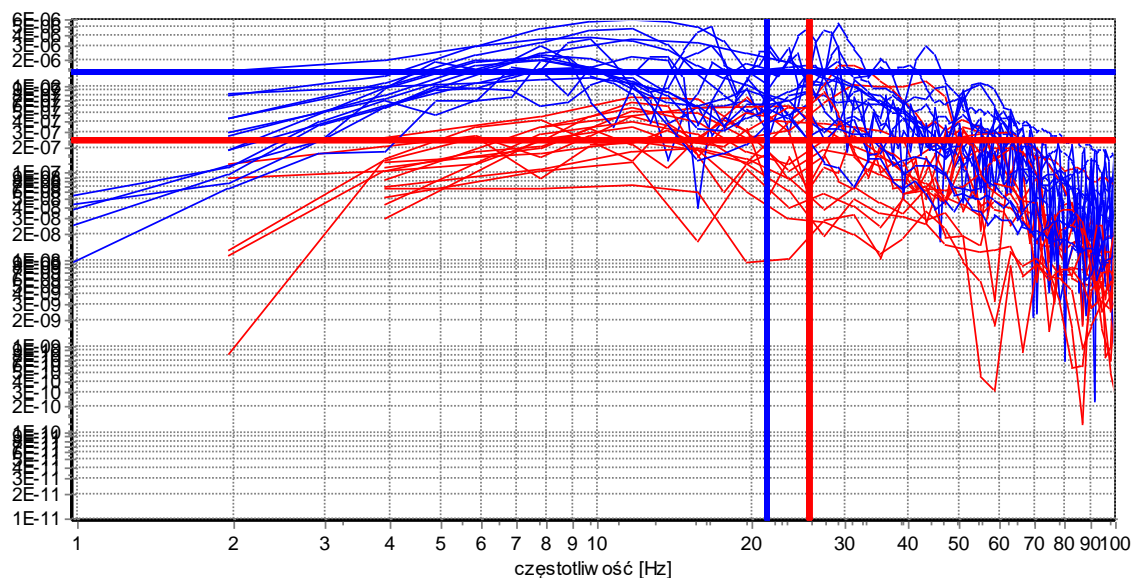
Parametry źródła sejsmicznego wyznacza się poprzez analizą spektralną zarejestrowanego wstrząsu [Snoke, 1987; Aki, 1980; Gibowicz, 1994]. W ośrodku niesprężystym następuje tłumienie amplitudy drgań cząstek w czasie propagacji fali. Miarą tłumienia może być liniowy współczynnik tłumienia, dekrement tłumienia lub współczynnik dobroci Q. Tłumienie dla fal bezpośrednich, może być wyznaczone z płaskiej części widma przemieszczenia. Przyjmuje się, że tłumienie jest niezależne od częstotliwości poniżej częstotliwości narożnej.

Widmo przemieszczenia to w uproszczeniu droga fali. W widmie przemieszczeniowym wstrząsu określa się jego wartość dla niskoczęstotliwościowej, płaskiej części widma oraz wartość częstotliwości narożnej. Zarejestrowane przebiegi prędkościowe są poddawane całkowaniu by uzyskać przebiegi przemieszczeniowe. Następnie z przebiegów przemieszczeniowych jest liczone widmo, które jest przedstawiane w skali logarytmicznej. Procedurę obliczeniową poszczególnych parametrów źródła wykonuje się w programie MULTILOK. W programie tym do wyznaczania parametrów źródła sejsmicznego wykorzystano analityczny sposób polegający na obliczaniu całki z kwadratu prędkości drgań

( $J$ ) oraz z całki kwadratów przemieszczenia drgań ( $K$ ). Dzięki temu jest możliwe wyznaczenie wartości dla niskoczęstotliwościowej, płaskiej części widma oraz częstotliwości narożnej, w sposób bardziej wiarygodny i stabilny niż dotychczas.

Przy obliczaniu parametrów źródła sejsmicznego należy uwzględnić tłumienie fal sejsmicznych. W praktyce oznacza to wprowadzenie poprawek związanych z rozprzestrzenianiem się frontu falowego na drodze ognisko wstrząsu–czujnik. W ośrodku niejednorodnym i niesprężystym następuje tłumienie amplitudy drgań cząstek w czasie propagacji fali jako wynik pochłaniania i rozpraszania energii niezależnie od geometrii frontu. Tłumienie fal sejsmicznych zależy w dużym stopniu od niesprężystych właściwości górotworu.

Jak już wspomniano wcześniej oprogramowanie systemu SOS pozwala na obliczanie parametrów źródła sejsmicznego w sposób zautomatyzowany. Wymagane informacje, jakie muszą zostać wprowadzone przez użytkownika systemu są identyczne jak dla obliczenia energii sejsmicznej tzn. lokalizacja ogniska wstrząsu oraz wyznaczone znaczniki określające czasy trwania i pierwsze wejścia fal sejsmicznych podłużnych P i poprzecznych S.



Rys. 12.16. Przykładowe widmo przemieszczeniowe dla wstrząsu górniczego z zaznaczonymi poziomami niskoczęstotliwościowymi i częstotliwościami narożnymi dla fal podłużnych P i poprzecznych S wyznaczone w programie MULTILOK

Po obliczeniu przez program MULTILOK widma przemieszczeniowego, takiego jak na rysunku 12.16 automatycznie pokazywane są wyniki obliczeń parametrów źródła sejsmicznego. Na rysunku tym linie niebieskie to widmo przemieszczenia dla składowych drgań fali poprzecznej, a linie czerwone to widmo przemieszczenia dla składowych drgań fali podłużnej. W dalszej kolejności wyniki te zapisywane są do bazy danych. Gromadzenie informacji o zaistniałych wstrząsach w bazach danych pozwala na zastosowanie nowych metod i analiz opartych nie tylko o energię sejsmiczną, ale także o parametry źródła [Mendecki, 1997]. W ten sposób nowa wersja oprogramowania systemu SOS staje się narzędziem do nowej analizy danych sejsmologicznych w górnictwie podziemnym.

Współczesne sejsmogramy cyfrowe zawierają więcej informacji niż tylko energia wstrząsu i pierwsze wejścia fal sejsmicznych na podstawie których wyznacza się lokalizację wstrząsów. Można wyznaczyć parametry źródła. Dla konkretnej ściany eksploatacyjnej można obserwować trend zmian od średniej wartości, np. wartość momentu sejsmicznego. Średnią można wyznaczyć na podstawie zapisów z sąsiednich rejonów, gdzie prowadzono roboty górnicze w podobnych warunkach geologicznych.

## 12.9. Podsumowanie

Przedstawione właściwości systemu SOS, na tle istniejących już rozwiązań aparaturowych i przepisów górniczych w Polsce, pozwalają na dalszy, istotny rozwój metody sejsmologii górniczej w kopalniach. Do najważniejszych innowacji w systemie SOS należy zaliczyć możliwość jego stosowania w wersji rozproszonej i mieszanej tzn. systemów sejsmologicznych składających się z różnych typów czujników, jak akcelerometry i geofony oraz stosowania równoległe czujników jedno, dwu i trójskładowych w zależności od potrzeb konkretnej kopalni. System SOS pozwala obecnie na zwiększenie dynamiki zapisów drgań zjawisk sejsmicznych, jak również na zwiększenie pasma rejestrowanych częstotliwości. Najnowsza wersja systemu SOS pozwala nie tylko na wyznaczanie dwóch podstawowych parametrów zjawisk sejsmicznych, mianowicie lokalizacji ogniska wstrząsu oraz obliczenia energii sejsmicznej, lecz również na obliczenia parametrów źródła sejsmicznego i automatyczne zapisywanie tej informacji w bazie danych o wstrząsach. Dzięki temu Stacje Geofizyki Górniczej w kopalniach stają przed szansą integracji w najbliższej przyszłości metod sejsmologii i sejsmoakustyki górniczej. Oprócz wprowadzenia nowych metod analizy danych sejsmologicznych udoskonalono także algorytmy lokalizacyjne poprzez zastosowanie modelu prędkości stanowiskowych do poszczególnych rejonów sejsmiczności na kopalni i zastosowanie w ten sposób wyników obliczeń tomografii pasywnej. Na przykładzie właściwości systemu SOS pokazano, że rozwój sprzętowy każdej aparatury sejsmologicznej powinien iść w parze z rozwojem oprogramowania i odpowiedniej metodyki interpretacyjnej, gdyż samo doskonalenie sprzętu nie jest wystarczającym warunkiem na spełnienie coraz to bardziej rosnących wymagań dla poprawy bezpieczeństwa w kopalniach podziemnych.

### **13. Cyberbezpieczeństwo Systemów IT/OT w kluczowych obszarach funkcjonalnych zakładu górniczego działającego w oparciu o ideę PRZEMYSŁU 4.0**

*Artur Dyczko*

Druga dekada XXI wieku przyniosła ze sobą wydarzenia, które doprowadziły do przewartościowania dotychczasowego myślenia o zarządzaniu bezpieczeństwem w wielu domenach, brutalnie zweryfikowanego dodatkowo przez pandemię COVID-19 oraz wybuch wojny na Ukrainie.

Oba te wydarzenia są równie istotne, zważywszy, że konflikt zbrojny na Ukrainie nadal negatywnie wpływa na poziom bezpieczeństwa w krajach ościennych, które automatycznie stały się areną działań hybrydowych. Dotyczy to w szczególności państw bałtyckich i Polski. Jak pokazują raporty Microsoft, we współczesnym modelu wojny hybrydowej szczególnego znaczenia nabierają informacyjne operacje wpływu, oparte na technikach inżynierii społecznej, wspierane technologią cyfrową. Różne wydarzenia, w tym mające także miejsce w kraju, pokazują, że operacje informacyjne mogą być równie efektywne jak złożone ataki na infrastrukturę przemysłową, będąc przy tym znacznie tańsze. Obecnie, by wywołać zakłócenia w funkcjonowaniu sektora, istotnego z punktu widzenia bezpieczeństwa organizacji, społeczności czy państwa można posłużyć się fałszywymi informacjami wprowadzanymi w przestrzeń publiczną. Przykładowo skuteczne wywołanie zaburzeń w sektorze paliwowym można uzyskać doprowadzając do społecznej hysterii, poprzez wprowadzenie do przestrzeni medialnej fałszywej informacji o istotnej podwyżce cen paliwa lub o jego ograniczonych zapasach. Społeczeństwo podatne na dezinformację, podlegając panice, zdestabilizuje sytuację na rynku paliw. Taka operacja będzie znacznie tańsza niż wyrafinowane działania wysoko ceniących się hakerów. Przykłady tego rodzaju działań każą spojrzeć w szerszym kontekście na kwestię bezpieczeństwa komputerów biurowych, urządzeń mobilnych, jak również automatyki przemysłowej.

Pandemia wymusiła na administratorach systemów teleinformatycznych stosowanie rozwiązań umożliwiających pracę i naukę zdalną, w tych obszarach, gdzie było to możliwe. Efektem ubocznym tych, wówczas pożądaných działań, było pojawienie się nowych rodzajów ryzyka, powiązanych z poziomem umiejętności cyfrowych użytkownika, znajdującego się poza bezpieczną siecią firmową, a wykorzystującego w ramach swojej działalności zawodowej ważne dane przedsiębiorstwa. W tych okolicznościach szczególnego znaczenia nabierają zagadnienie ochrony tożsamości oraz filozofia uwierzytelniania użytkowników systemów informatycznych. W okresie stanu epidemicznego analogiczną sytuację obserwowano w przemyśle. Pandemiczne ograniczenia w przemieszczaniu się personelu, w tym serwisantów, wymusiły na wielu firmach kompromis w obszarze bezpieczeństwa OT, polegający na dopuszczeniu do prowadzenia zdalnych czynności serwisowych i konserwacyjnych. Niestety, oznaczało to powstanie dodatkowych podatności systemów i potencjalne zagrożenie dla ciągłości działania danej infrastruktury. Wskutek tych zmian pewne ryzyka zeszyły z warstwy biznesowej do warstw niższych, narażając OT w większym stopniu niż dotychczas.

Ochrona cyberprzestrzeni stała się jednym z najczęściej poruszanych tematów związanych z bezpieczeństwem. Państwa, organizacje międzynarodowe i inne podmioty niepaństwowe rozumieją, że stabilne funkcjonowanie i rozwój globalnego społeczeństwa informacyjnego zależy od otwartej, niezawodnej i przede wszystkim bezpiecznej cyberprzestrzeni. Rosnąca świadomość w tym zakresie idzie w parze z gwałtownym wzrostem liczby incydentów komputerowych i pojawianiem się nowych rodzajów zagrożeń.

Polska stoi przed technologicznymi, środowiskowymi, ale także społecznymi wyzwaniami związanymi z zaopatrzeniem w surowce, które leżą u podstaw naszej przemysłowej działalności. Transformacja cywilizacyjna naszej gospodarki nie może dokonać się bez zapewnienia monitoringu i bezpieczeństwa procesów przemysłowych, procesów tych nie da się nadzorować bez sprawnej wymiany informacji oraz dostępu do najnowszych technologii, systemów teleinformatyki, automatyki i sterowania, których budowa i funkcjonowanie jest już przedmiotem rutynowych działań wyspecjalizowanych służb.

Analizy zdarzeń i podatności – zarówno zgłaszanych przez sektor energetyczny do właściwego organu, jak i zawarte w kolejnych raportach firm doradczych i audytorskich, pokazują, że potrzebne jest nowe podejście do zarządzania bezpieczeństwem, odpornością i ciągłością działania. Wyrazem tego są m. in. ostatnie prace legislacyjne na forum Unii Europejskiej, w ramach których 27.12.2022 roku opublikowane zostały nowelizacje dwóch kluczowych dyrektyw, dotyczących odporności podmiotów krytycznych oraz środków na rzecz wspólnego poziomu cyberbezpieczeństwa na terytorium Unii Europejskiej.

Europejska ofensywa legislacyjna, której kumulacja nastąpiła pod koniec 2022 roku, doprowadziła do powstania pakietu nowych dyrektyw i rozporządzeń niezwykle istotnych dla regulowanego rynku, wykorzystującego w szerokim zakresie technologię cyfrową. Jest to szczególnie istotne w przypadku dyrektywy NIS 2 (Dyrektywa w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu cyberbezpieczeństwa na terytorium UE) oraz dyrektywy CER (dyrektywa o odporności podmiotów krytycznych). Obie dyrektywy powstały w odpowiedzi na nowe rodzaje ryzyka w cyberprzestrzeni, u podstaw których znajdują się nie tylko takie zdarzenia, jak pandemia czy wojna na Ukrainie, ale w szczególności modele funkcjonowania współczesnych łańcuchów dostaw. Obecnie proste ciągi procesów biznesowych występują coraz rzadziej. Współczesne łańcuchy dostaw to niejednokrotnie skomplikowane powiązania mniejszych bądź większych podprocesów, których przerwanie może doprowadzić do efektu kaskadowego i nieznanych z góry negatywnych konsekwencji. To skłania do powtórnego przeanalizowania obszarów, które powinny podlegać ochronie, jakiego modelu ochrony należy użyć i czy zastosować należy podejście obiektowe czy procesowe.

W odróżnieniu od dotychczasowych rozwiązań prawnych, konieczność objęcia podmiotów dyrektywą NIS 2 nie będzie sygnalizowana powiadomieniem ani wydaniem decyzji administracyjnej – to sam zainteresowany przedsiębiorca powinien sprawdzić, czy dotyczy go podmiotowy zakres regulacji. Obowiązki, które będą się wiązać z implementacją dyrektyw do krajowego prawa, będą dotyczyć głównie stosowania podejścia do bezpieczeństwa opartego na analizie ryzyka oraz projektowania środków mitygujących ryzyko w oparciu o regułę zerowego zaufania. W praktyce oznaczać to będzie odejście od dotychczasowej zasady, w myśl której wszystkie zasoby powinny być zamknięte w bezpiecznej sieci na rzecz ochrony tychże zasobów



w ramach jednej centralnej polityki. Takie podejście znacząco utrudnia typową dla dzisiejszych wektorów ataku penetrację zasobów firmy poprzez zdobywanie kolejnych poświadczeń w ramach tzw. ruchów poprzecznych (lateral movements). Same zaś zasoby, które powinny być nieustannie chronione, to tożsamość, dane, aplikacje, sieci, urządzenia i infrastruktura cyfrowa. Skuteczne wzmocnienie odporności w tym obszarze jest możliwe tylko przy zaangażowaniu wszystkich możliwych interesariuszy – począwszy od zarządu i administratorów, a skończywszy na szeregowych użytkownikach urządzeń końcowych.

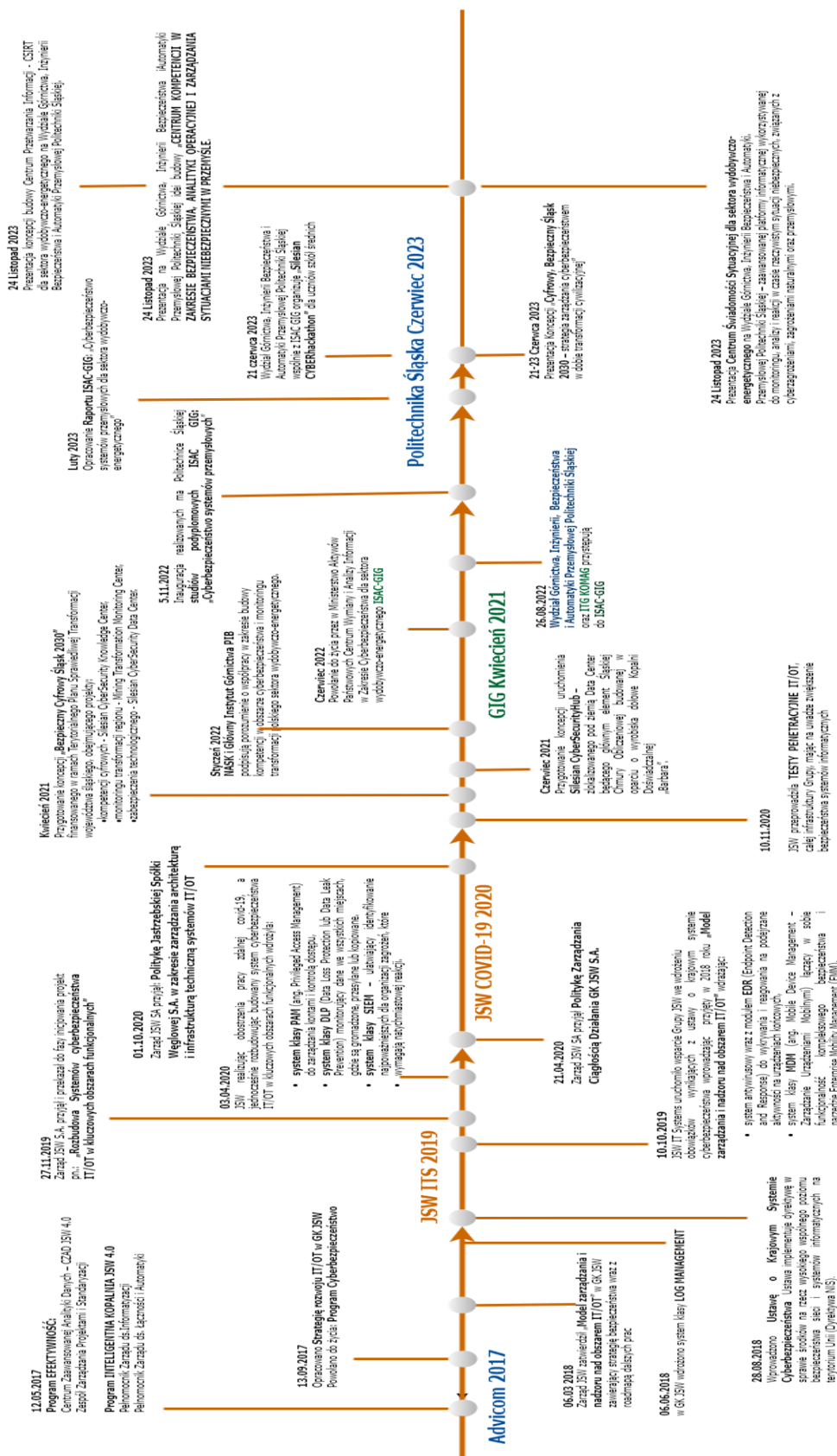
### **13.1. System cyberbezpieczeństwa IT/OT w kluczowych obszarach funkcjonalnych GK JSW środkiem do zapewnienia ciągłości funkcjonowania przedsiębiorstwa**

W Grupie Kapitałowej JSW systemowe podejście do zarządzania bezpieczeństwem systemów IT/OT rozpoczęto tworzyć od połowy 2017 roku, kiedy to opracowano „Strategię rozwoju systemów IT/OT GK JSW”, w której powołano do życia „Program Cyberbezpieczeństwo”. Kolejnym etapem wzmocnienia budowanego systemu cyberbezpieczeństwa było przyjęcie 6.03.2018 przez Zarząd JSW S.A. „Modelu zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT” w Grupie zawierającego strategię bezpieczeństwa wraz z roadmapą dalszych prac. Działania te zintensyfikowano jeszcze wraz z uznaniem GK JSW za Operatora Usługi Kluczowej w myśl zapisów z ustawą z dnia 5.07.2018 (Dz.U. 2018 poz. 1560) o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, co doprowadziło do uruchomienia 10.10.2019 przez JSW IT Systems wsparcia Grupy JSW we wdrożeniu obowiązków wynikających z ustawy o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa wprowadzając przyjęty w 2018 roku „Model zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT” i wdrażając:

- system antywirusowy wraz z modułem EDR (Endpoint Detection and Response) do wykrywania i reagowania na podejrzane aktywności na urządzeniach końcowych; dzięki zaawansowanej technologii wykrywającej cyberataki już we wczesnej fazie jest skuteczną bronią przeciwko hakerom, wykrywając podejrzane aktywności w ich początkowym stadium,
- system klasy MDM (*ang. Mobile Device Management* – Zarządzanie Urządzeniami Mobilnymi) łączący w sobie funkcjonalność kompleksowego bezpieczeństwa i narzędzie Enterprise Mobility Management (EMM), w tym tradycyjne mobilne zarządzanie aplikacjami (MAM) i mobilne narzędzie do zarządzania treścią (MCM),
- system klasy Log Management, służący do scentralizowanego przechowywania, monitorowania, wizualizacji i analizy logów serwerów / aplikacji / maszyn.

Działania te poprzedziły podjęcie 27.11.2019 przez GK JSW decyzji o uruchomieniu strategicznego projektu pn.: „Rozbudowa Systemów cyberbezpieczeństwa IT/OT w kluczowych obszarach funkcjonalnych.”

Kontekst historyczny tworzenia i nadzoru przez autora systemowego zarządzania bezpieczeństwem systemów IT/OT wraz z budową idei powołania do życia Centrum Wymiany i Analizy Informacji w Zakresie Cyberbezpieczeństwa dla sektora wydobywczego, na przestrzeni lat 2017÷2023 przedstawiono na rysunku 13.1.



Rys. 13.1. Kontekst historyczny tworzenia i nadzoru przez autora systemowego zarządzania bezpieczeństwem systemów IT/OT w GK JSW wraz z budową idei powołania do życia Centrum Wymiany i Analizy Informacji w Zakresie Cyberbezpieczeństwa dla sektora wydobywczego, na przestrzeni lat 2017÷2023

Wspomniana powyżej ustawa z dnia 5.07.2018, o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, narzuciła na operatorów usługi kluczowej, obowiązki:

- systematycznego szacowania ryzyka wystąpienia incydentów oraz zarządzanie tym ryzykiem,
- wdrożenie odpowiednich i proporcjonalnych do oszacowanego ryzyka środków technicznych i organizacyjnych, uwzględniających najnowszy stan wiedzy,
- zbieranie informacji o zagrożeniach cyberbezpieczeństwa i podatnościach na incydenty systemu informacyjnego,
- zarządzanie incydentami,
- stosowanie środków zapobiegających i ograniczających wpływ incydentów na bezpieczeństwo systemu informacyjnego,
- stosowanie środków łączności umożliwiających prawidłową i bezpieczną komunikację w ramach krajowego systemu cyberbezpieczeństwa.

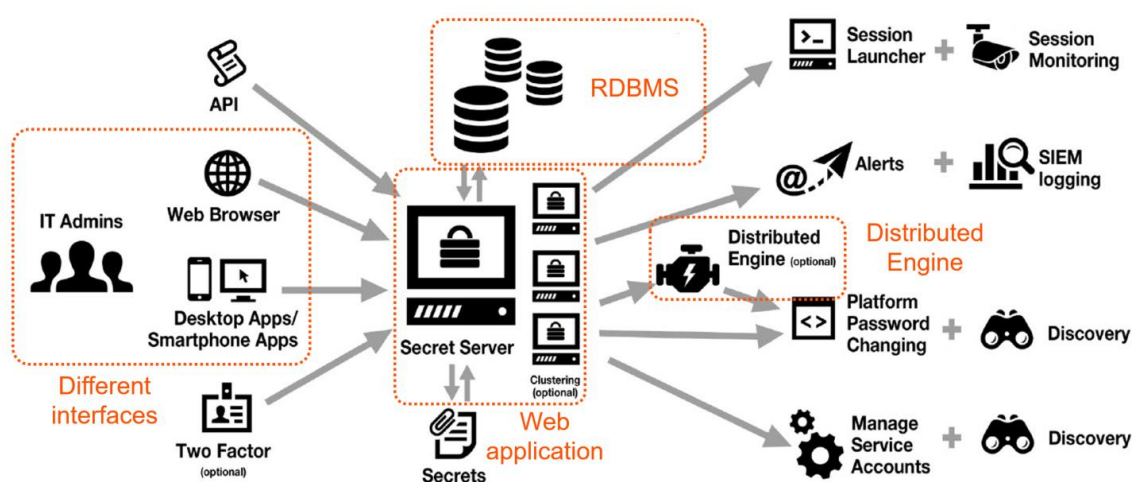
Mając powyższe na uwadze, Spółka w listopadzie 2020 roku wykonała audyt bezpieczeństwa systemów informacyjnych wykorzystywanych do świadczenia Usługi Kluczowej – wydobywania kopalin. Miał on na celu potwierdzenie zgodności bezpieczeństwa systemu informacyjnego wykorzystywanego do świadczenia Usług Kluczowych z wymaganiami Ustawy o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa.

Audyt polegał na badaniu metodą próbkowania realizacji procesów utrzymania systemów przy wsparciu zewnętrznych dostawców (w tym aktualizacji oprogramowania, zarządzania zmianą, badania podatności, monitorowania systemów, zapewnieniu ciągłości działania systemów, wykonywania kopii bezpieczeństwa oraz testowania ich poprawności, kontroli dostępu do systemów, dokumentowania czynności serwisowych, itp.). Zakres prac obejmował:

- zrozumienie kontekstu działania organizacji, w tym wpływ Systemów IT i OT (SI\_OUK) na Usługi Kluczowe;
- potwierdzenie realizacji obowiązków Operatora Usługi Kluczowej zgodnie z artykułami 8-16 Ustawy o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa;
- analizę dokumentacji dotyczącą cyberbezpieczeństwa systemu informacyjnego wykorzystywanego do świadczenia Usług Kluczowych;
- testy skuteczności funkcjonowania mechanizmów kontrolnych;
- opracowanie sprawozdania zawierającego opis zidentyfikowanych niezgodności wraz z rekomendacjami;
- przedstawienie wyników Audytu dla Najwyższego Kierownictwa.

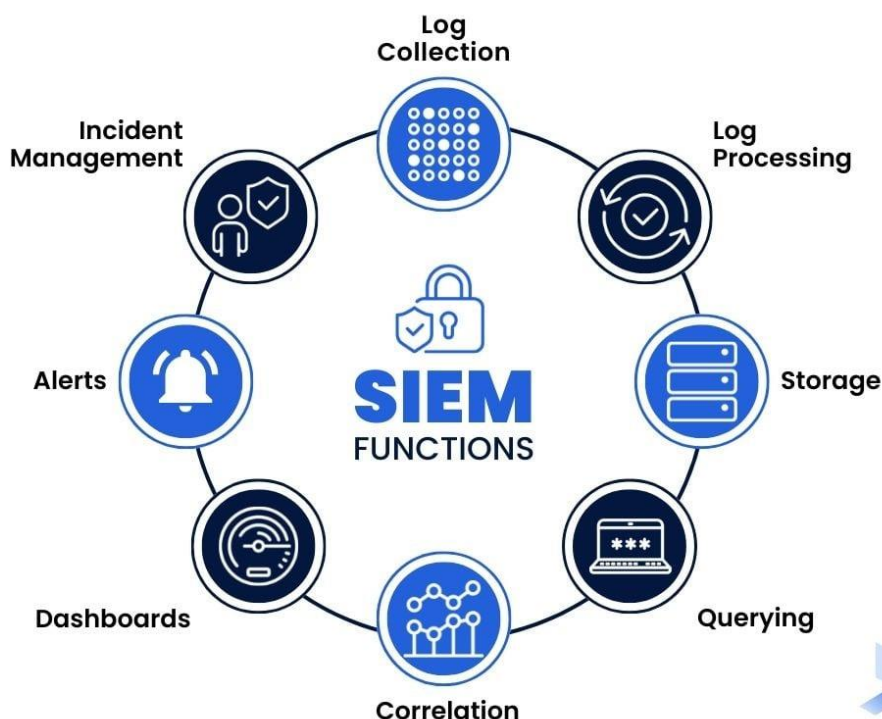
Wyniki przeprowadzonego audytu pozwoliły na wydanie pozytywnej opinii i określenia szeregu zaleceń, z których najważniejsze obejmowały wdrożenie w Spółce narzędzi:

- klasy PAM (*ang. Privileged Access Management*) do zarządzania kontami uprzywilejowanymi, które pozwalają na efektywne monitorowanie działań prowadzonych z wykorzystaniem kont mających uprawnienia "super użytkowników", np. admin, root, kont z podniesionymi uprawnieniami w bazach danych, serwerach itp. (rys.13.2).



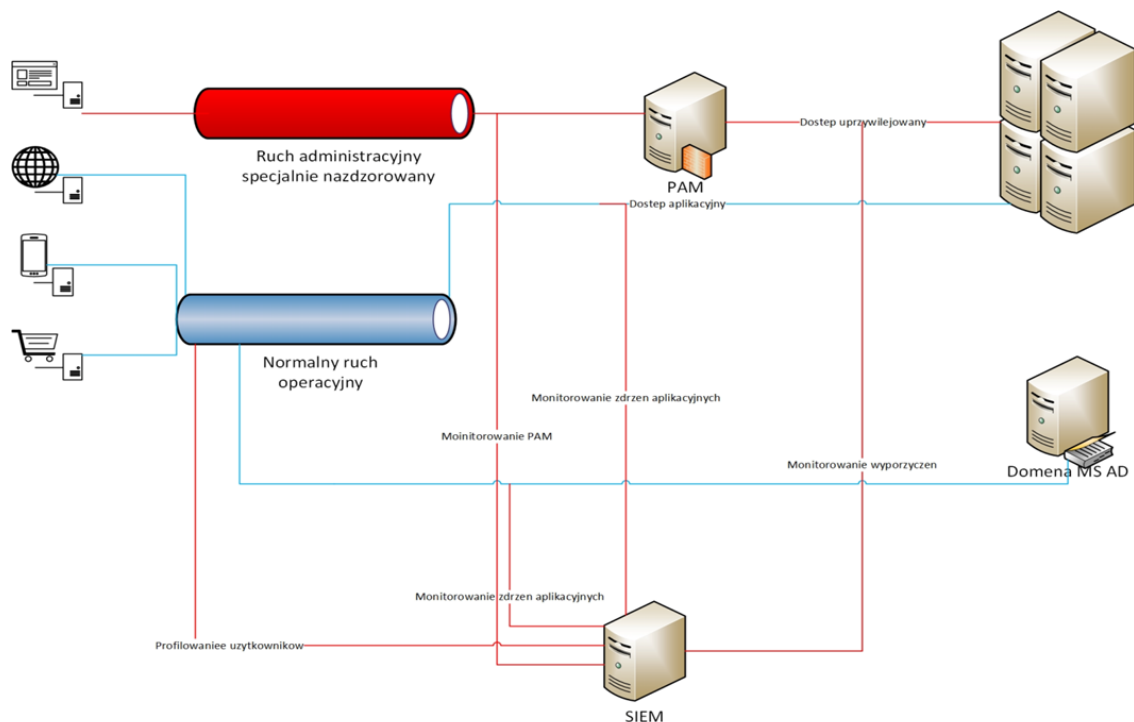
Rys. 13.2. Przykładowa Architektura systemu Privileged Access Management (PAM)  
[IBM Redbooks, 2021]

- Systemu SIEM (*ang. Security Information and Event Management*) zapewniają całościowy wgląd w to, co dzieje się w sieci w czasie rzeczywistym i pomaga zespołom IT w aktywny sposób w walce z zagrożeniami. Wyjątkowość rozwiązań SIEM polega na połączeniu zarządzania incydentami bezpieczeństwa z zarządzaniem informacjami o monitorowanym środowisku (rys.13.3).

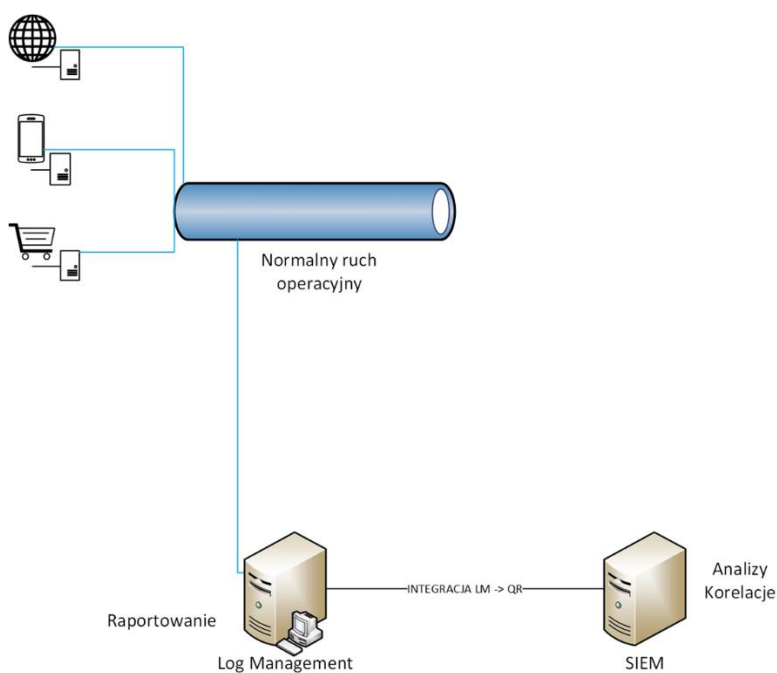


Rys. 13.3. Funkcje systemów bezpieczeństwa informacji i zarządzania zdarzeniami (SIEM) będącymi platformami zapewniającymi wgląd w środowisko informatyczne firmy oraz pomagającymi wykrywać zagrożenia i na nie reagować [Miller, 2021]

Zastosowane w wyniku realizacji rekomendacji z audytu narzędzia pozwoliły zapewnić Spółce poziom bezpieczeństwa adekwatny do wymagań oraz ryzyka, dając gwarancję, że ochrona przetwarzanych danych jest utrzymywana na jak najwyższym poziomie. Pozwoliły również wypracować optymalny model współpracy pomiędzy systemami Privileged Access Management i Security Information and Event Management (rys.13.4. i rys.13.5).

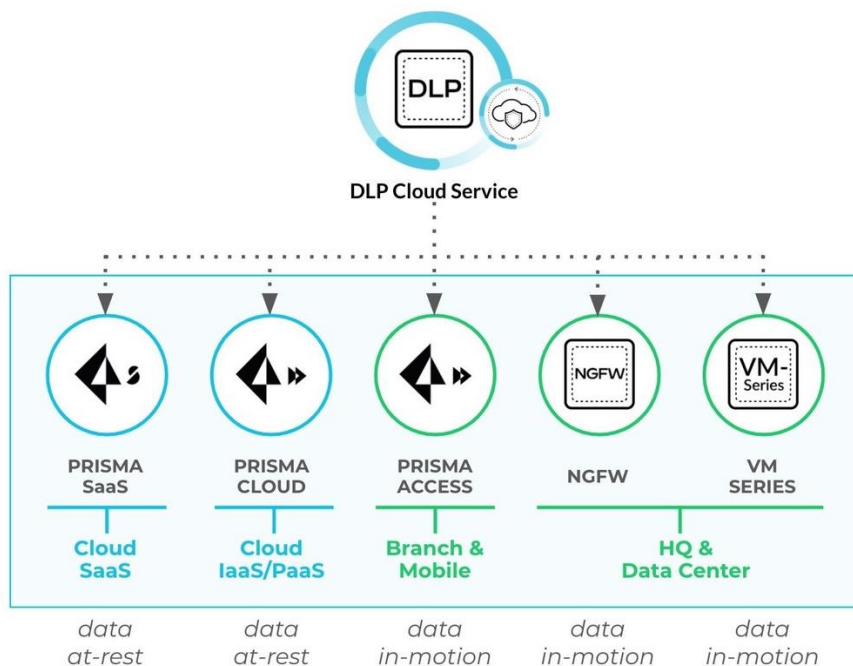


Rys. 13.4. Podejście modelowe współpracy systemów klasy SIEM i PAM



Rys. 13.5. Podejście modelowe Log Management SIEM

- System klasy DLP (*ang. Data Loss Protection lub Data Leak Prevention*) – monitorującego dane, przeszukującego wzorce danych, a w przypadku próby wysłania bądź skopiowania dokumentów zawierających dane wrażliwe (zdefiniowane przez Administratora systemu DLP) blokującego to działanie i powiadamiającego administratora o nieprawidłowości. Jest to narzędzie, które zostało stworzone aby uszczelnić procesy przetwarzania informacji w firmie. Skutecznie wspomagają działy biznesu i bezpieczeństwa w zrozumieniu jak, gdzie i przez kogo dane krytyczne są przetwarzane – rys.13.6.



Rys. 13.6. Przykładowa architektura systemu klasy Data Loss Protection DLP wg Palo Alto Networks [Palo Alto Networks, 2020]

Zbudowany w latach 2017÷2020 system cyberbezpieczeństwa IT/OT w kluczowych obszarach funkcjonalnych GK JSW pozwolił tylko w roku 2020 r. zablokować około 900 domen regularnie nękających sieć informatyczną Spółki atakami typu Phishing, jednocześnie farmy systemów antyspamowych JSW S.A., antyphishingowych, przeskanowały i odrzuciły w tym czasie około 1,3 mln wiadomości. Phishing stanowi aktualnie około 49% wszystkich cyberataków i jest czasami trudny do zidentyfikowania przez pracownika. Dlatego tak ważne jest podnoszenie świadomości i ciągle szkolenie pracowników.

Rok 2020 już zawsze będzie kojarzyć się z pandemią COVID-19. Powołany w marcu tegoż roku Sztab Kryzysowy w Jastrzębskiej Spółce Węglowej, podjął decyzje o uruchomieniu pracy zdalnej dla znacznej liczby pracowników, co postawiło nowe wyzwania przed służbami IT i OT w Spółce, wymuszając wzmoczoną ochronę infrastruktury informatycznej Spółki i blokowanie mnóstwa prób infekcji stacji roboczych. Dość powiedzieć, że tylko w drugim półroczu 2020 roku w JSW S.A. odnotowało około 8 tys. domen wykazujących "Malware behavior" oraz ponad 10 tys. prób wstrzyknięcia złośliwego kodu na stacje robocze. Ataki te traktowano bardzo poważnie mając na uwadze doświadczenia z grudnia 2019 roku, kiedy to kopalnie Ostrawsko-Karwińskie (OKD) zostały zaatakowane przez hakerów, w wyniku czego ze względów bezpieczeństwa w całej Spółce OKD przerwano na blisko miesiąc wydobywanie.



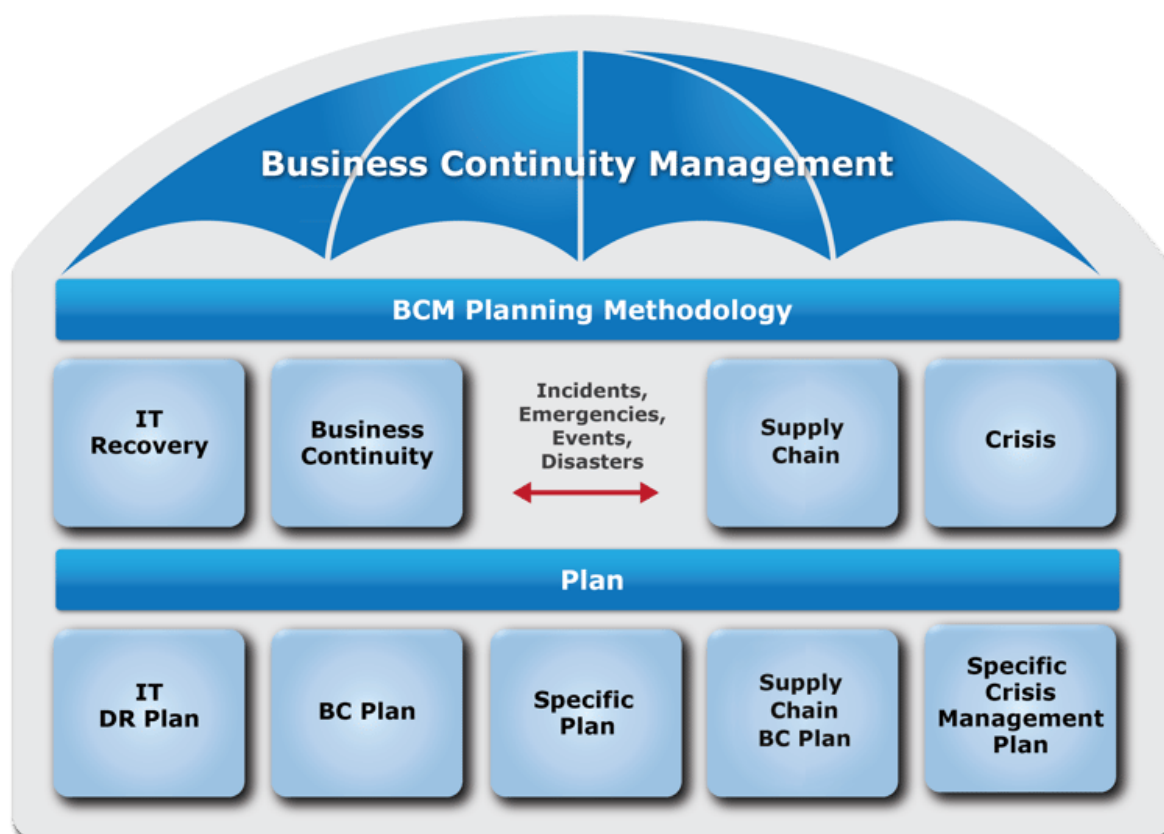
Jak się okazało hakerzy w sposób umiejętny przeniknęli z sieci biurowej do sieci OT czeskich kopalń, wykorzystując do tego celu niezabezpieczone i zainfekowane stacje robocze użytkowników końcowych. Doświadczenia czeskich kopalń OKD wpłynęły na zdecydowanie o przygotowanie polskich kopalń na stawienie czoła atakom związanymi z obszarem CYBER. Istotnym działaniem stało się prowadzenie ciągłej inwentaryzacji zasobów, architektury IT/OT, określanie obszarów podatnych na zagrożenia i odpowiednie jego zabezpieczanie. Elementem niezbędnym stało się prowadzenie szkoleń z cyberbezpieczeństwa, co pozwoliło szerokiemu gronu pracowników uświadomić z jednej strony zagrożenia, a z drugiej pozwolić działać zgodnie z przyjętymi normami i Politykami Bezpieczeństwa.

Obecnie JSW S.A. wraz z JSW IT Systems prowadzi szereg projektów oraz wdrożeń systemów zwiększających bezpieczeństwo podczas pracy. Fundamentem tych projektów jest podniesienie poziomu bezpieczeństwa załóg oraz procesów i technologii IT/OT. Wypracowana przez JSW IT Systems w latach 2016÷2020 strategia cyberbezpieczeństwa, opiera się na powstrzymaniu ataków (prewencja), monitoringu oraz określaniu zdarzeń niepożądanych (detekcja), a także implementacji czynności naprawczych (reakcja). Rozpatrywane jest to w odniesieniu do zasobów identyfikowanych w ramach ochrony rozbudowanego modelu dojrzałości, rozszerzającego wymagania ISO 27001. Projekty są realizowane przy współpracy z liderami technologicznymi w dziedzinie bezpieczeństwa IT/OT na rynku. Prowadzone działania wzmacniają techniczny obszar zapobiegania przez lepsze utwardzenie środowiska, kontrolę zadań wykonywanych przez pracowników oraz ograniczenie propagacji podatności w sieci wewnętrznej. W celu odpowiedniego zarządzania tą infrastrukturą w Centrali Spółki utworzono podległe bezpośrednio Prezesowi Zarządu ds. Technicznych i Operacyjnych, Biuro Automatyki i Informatyki JSW S.A., w skład którego weszły Zespół Automatyki i Teletransmisji wraz z Zespołem Zaawansowanej Analityki Danych, ściśle współpracujące z JSW IT Systems. Pozwoliło to opracować i przekazać do stosowania 21.04.2020 roku „Politykę Zarządzania Ciągłością Działania JSW S.A.” oraz 01.10.2020 „Politykę Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. w zakresie zarządzania architekturą i infrastrukturą techniczną systemów IT/OT”, obejmującą: „Warunki dostępu do sieci wydzielonych w zakładach JSW S.A.” oraz „Wytyczne w zakresie rozwiązań IT/OT dla tworzonych Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówień w JSW S.A.”.

### **13.2. Zapewnienie ciągłości funkcjonowania przedsiębiorstwa**

Z punktu widzenia spółek wydobywczych krytyczne jest zachowanie ciągłości działania i odbudowa ciągłości działania usług po wystąpieniu awarii. Dlatego też zalecane jest postępowanie zgodnie z Rekomendacjami dotyczącymi działań mających na celu wzmocnienie cyberbezpieczeństwa w sektorze energii oraz wytycznymi sektorowymi dotyczącymi zgłaszania incydentów przygotowanymi przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska w zakresie cyberbezpieczeństwa dla polskiego sektora energii. Zarządzanie ciągłością działania przedsiębiorstwa jest czynnością, której celem jest m.in. zapewnienie działania danego podmiotu poprzez ochronę krytycznych, kluczowych procesów przed skutkami incydentów w obszarze procesu technologicznego, jak i ochrony aktywów informacyjnych niezbędnych do realizacji tych procesów. Samą ciągłość działania można zdefiniować jako zdolność przedsiębiorstwa do przewidywania i reagowania na zakłócenia procesu biznesowego w celu

utrzymania prowadzonej działalności na akceptowalnym, ustalonym poziomie. Zarządzanie ciągłością działania powinno być priorytetem każdego przedsiębiorstwa. W związku z tym zaleca się, aby organizacja opracowała metodyki zachowania ciągłości działania, z uwzględnieniem aspektów, które zgodnie ze specyfiką organizacyjną danego przedsiębiorstwa mogą mieć wpływ na tę ciągłość, rozumianą jako podtrzymanie kluczowych procesów pozwalających na świadczenie usługi kluczowej. Zaleca się, aby plan ciągłości działania był opracowany dla każdego rodzaju zagrożenia, które zgodnie z analizą ryzyka może wystąpić, co pokazano na rysunku 13.7.



Rys. 13.7. Metodologia planowania i zarządzania ciągłością działania w przedsiębiorstwie wg Business Continuity Management Institute [Moh Heng Goh, 2018]

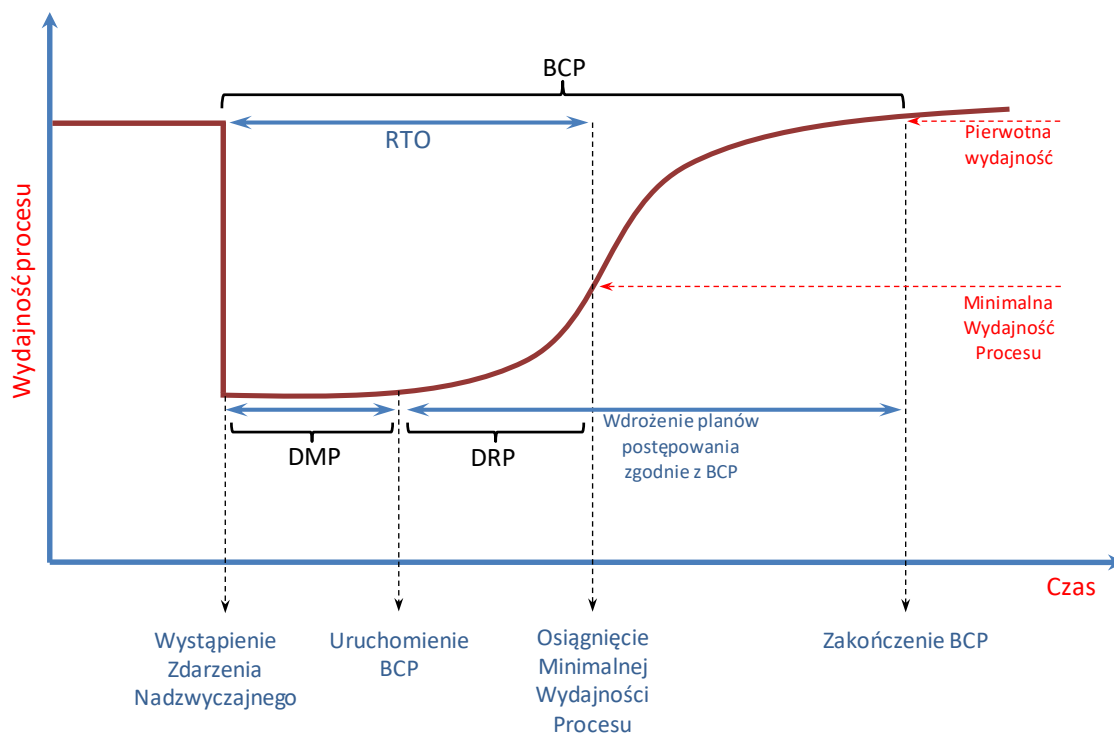
Zarządzanie ciągłością działania, to holistyczny proces zarządzania mający na celu identyfikację potencjalnych skutków zagrożeń i opracowywanie planów reagowania. Kluczowym celem jest tu zwiększenie odporności organizacji na zakłócenia biznesowe i minimalizacja ich skutków. Definicja zarządzania ciągłością działania obejmuje nie tylko ciągłość działania (Business Continuity BC), ale także zarządzanie kryzysowe (CM), komunikację kryzysową (CC), planowanie odtwarzania po awarii IT (DRP) i odporność operacyjną (OR).

W jastrzębskich kopalniach „Politykę Zarządzania Ciągłością Działania JSW S.A.” przyjęto 21.04.2020 roku. Stanowi ona generalnie zbiór procedur i informacji, opracowanych w celu oceny ryzyka oraz planowania ciągłości działania w sytuacjach wystąpienia wszelkich zakłóceń biznesowych i minimalizacji ich skutków na akceptowalnym poziomie.

Nadrzędnym celem zarządzania ciągłością działania w GK JSW jest możliwie najefektywniejsze zabezpieczenie Spółki przed negatywnymi konsekwencjami wystąpienia zdarzeń o krytycznym charakterze oraz umożliwienie przywrócenia pierwotnej sprawności w możliwie najkrótszym czasie. Wdrażając do stosowania zasady opisane w Polityce, Zarząd Spółki oczekiwał osiągnąć następujące cele:

- integrację i uspojnienie planów awaryjnych na okoliczność wystąpienia katastrofalnych zakłóceń w Krytycznych Procesach Biznesowych,
- zapewnienie nadzoru nad skutecznością i adekwatnością utrzymywanych planów awaryjnych,
- dostarczenie zasad i narzędzi wspomagających Właścicieli planów BCP w zakresie ich opracowania i utrzymania.

Polityka znajduje zastosowanie do wszelkich kwestii związanych z identyfikacją, analizą oraz opracowywaniem zasad postępowania w sytuacji wystąpienia zdarzeń silnie oddziałujących na przebieg Krytycznych Procesów Biznesowych. Zarządzanie ciągłością działania ujęte jest w dwóch perspektywach: wydajności Krytycznych Procesów Biznesowych Spółki oraz upływu czasu liczonego od wystąpienia zdarzeń, które skutkują krytycznym spadkiem tej wydajności. Przyjęte w Polityce zasady postępowania umożliwiają opracowanie skutecznych planów reakcji na wystąpienie Zdarzenia Nadzwyczajnego. Model zarządzania ciągłością działania w GK JSW S.A. zaprezentowano na rysunku 13.8.



Rys. 13.8. Schemat postępowania oraz główne elementy systemu zarządzania ciągłością działania w GK JSW [Hereźniak, 2020]

Wystąpienie zdarzenia, które rozpatrywane jest w kontekście utraty ciągłości działania powoduje gwałtowny spadek wydajności całego procesu. Aby możliwe było przywrócenie utraconej sprawności w optymalnym czasie, konieczne jest zaplanowanie działań, które zostaną

podjęte niezwłocznie po wystąpieniu Zdarzenia Nadzwyczajnego. Proces postępowania podzielony jest na trzy etapy:

- czynności od momentu wystąpienia Zdarzenia Nadzwyczajnego do momentu formalnego ustanowienia planu ciągłości działania (DMP),
- czynności podejmowane w ramach ogłoszonego i obowiązującego planu ciągłości działania i prowadzące do odtworzenia minimalnej oczekiwanej sprawności przerwanych Krytycznych Procesów Biznesowych (DRP), bądź wprowadzenia trybu podtrzymania,
- czynności podejmowane w ramach ogłoszonego i obowiązującego planu ciągłości działania prowadzące do przywrócenia utraconej sprawności (BCP).

Pierwszym krokiem po wystąpieniu Zdarzenia Nadzwyczajnego jest wykonanie czynności prowadzących do formalnego ogłoszenia i wprowadzenia w życie planu BCP. Tryb postępowania określony jako DMP opisany jest bezpośrednio w planie BCP. Istotą DMP jest zastosowanie możliwie najkrótszej ścieżki komunikacji i decyzji, tak aby możliwe było skuteczne przystąpienie do działań zmierzających do podtrzymania Krytycznych Procesów Biznesowych.

Po ustanowieniu BCP, który zawiera ścieżkę postępowania, uwzględniającą przypisane role oraz uprawnienia i odpowiedzialności, Spółka zaczyna funkcjonować w trybie awaryjnym. Pierwsze działania są ukierunkowane na osiągnięcie minimalnej sprawności przerwanych procesów, która umożliwi jej przetrwanie, bądź ustanowienia trybu podtrzymania. Czynności, które są wykonywane na tym etapie opisuje DRP, stanowiący część planu BCP. DRP jest konstruowane przy uwzględnieniu krytycznego czasu, w którym musi nastąpić częściowe odtworzenie utraconej sprawności, umożliwiając w ten sposób utrzymanie działalności przedsiębiorstwa. Czas liczony od momentu wystąpienia Zdarzenia Nadzwyczajnego do momentu uzyskania minimalnej sprawności znaczącej przetrwanie, określony jest jako RTO.

Po uzyskaniu przez Spółkę sprawności na poziomie, który gwarantuje wznowienie Krytycznych Procesów Biznesowych, bądź wprowadzenia trybu podtrzymania, realizowane są działania związane z przywróceniem stanu sprzed Zdarzenia Nadzwyczajnego. W szczególnych przypadkach, charakter zakłócenia bądź efektywność dotychczas stosowanych rozwiązań uzasadniają przeprowadzenie zmian i odtworzenie utraconej funkcjonalności poprzez zastosowanie innych metod.

Po uzyskaniu utraconej sprawności następuje zakończenie funkcjonowania BCP, co jest równoznaczne z odwołaniem trybu awaryjnego. Podobnie jak w przypadku wprowadzania BCP, zgodnie z opisaną procedurą postępowania DMP, tak również tryb jego odwołania musi wynikać z określonych i opisanych reguł. Zasady odwołania BCP są opisane w każdym ze sporządzonych i przyjętych do stosowania planów BCP.

W latach 2020÷2023 Ministerstwo Klimatu i Środowiska RP rekomendowało przedsiębiorcom górniczym opracowanie procedur postępowania w sytuacjach awaryjnych zawierających m.in.:

- plany działania na wypadek nagłej utraty możliwości operacyjnych spowodowanych niedostępnością dużej liczby pracowników w jednym czasie,
- ustalenia sposobów komunikacji pomiędzy osobami zaangażowanymi,

- opracowanie procedur doszkalania pracowników o zbliżonych kompetencjach i przenoszenia ich w razie potrzeby do realizowania usług o wyższym priorytecie, czego celem powinno być utrzymanie świadczenia usługi kluczowej.
- opracowanie mechanizmów pracy w trybie zmianowym, zachowanie ciągłego monitorowania systemów kluczowych,
- wypracowanie mechanizmów powiadamiania kluczowych pracowników na wypadek wystąpienia poważnej awarii czy zdarzenia związanego ze stopniami alarmowymi CRP,
- opracowanie mechanizmów pracy zdalnej, zakup sprzętu umożliwiającego pracę zdalną i oddelegowanie pracowników (którzy mogą taki rodzaj pracy wykonywać) do jej świadczenia w miejscu zamieszkania,
- ograniczenia dostępu osobom trzecim do siedziby organizacji, z uwzględnieniem wyjątków, takich jak np. osób z zespołów typu CSIRT,
- kontrolowanie oraz monitorowanie firm trzecich wspomagających obsługę systemów kluczowych.

Nieodłączną częścią zdolności organizacji do utrzymania ciągłości jej działania jest opracowanie planu odbudowy po katastrofie (*ang. Disaster Recovery Plan – DRP*). Opracowanie takiego planu jest procesem, w którym formułuje się strategię uszczegóławiającą kluczowe działania wymagane do przywrócenia usług informatycznych w ramach przyjętych celów odbudowy, które mają zostać osiągnięte po przerwaniu działalności biznesowej w wyniku katastrofy.

Dla świadczonej usługi kluczowej, zależnej od systemów informacyjnych, niezwykle istotne jest objęcie planem odbudowy po katastrofie właśnie tych systemów. Mając powyższe na uwadze, wśród możliwych zagrożeń prowadzących do katastrofy w ich kontekście, należy wymienić między innymi:

- działalność przestępczą/cyberatak/nadużycie,
- podsłuchanie/przechwycenie sesji,
- atak fizyczny,
- nieumyślne uszkodzenie (wypadek),
- wadliwe działanie/awaria,
- przerwa w dostawie (np. energii elektrycznej),
- zagrożenia od strony prawnej,
- katastrofy naturalne.

Istotną rekomendacją jest również uświadamianie pracowników z zakresu cyberbezpieczeństwa, ciągłe szkolenia oraz kształcenie w zakresie ciągłości działania usług, a przede wszystkim cyberbezpieczeństwa OT/IT ze szczególnym uwzględnieniem warstwowości zabezpieczeń oraz wdrożonych systemów. Jednym z najlepszych środków ochrony majątku organizacji są pracownicy, którzy są świadomi zagrożeń i wagi przetwarzanych informacji. Pracownik, który nie jest w pełni świadomy konsekwencji, takich jak ujawnienie pewnych informacji, może nieumyślnie podjąć działania, które negatywnie wpłyną na organizację. Proces cyklicznego uświadamiania i szkolenia może być środkiem

tworzącym prewencyjną ochronę przed takimi zdarzeniami. Szkolenia dla nowych i obecnych pracowników powinny zawierać przynajmniej odpowiednie informacje z bezpieczeństwem informacji w organizacji, jak również informacji specyficznych dla konkretnego stanowiska pracy. Wskazane jest zorganizowanie samego szkolenia w formie interesującej dla słuchacza, która nie tylko umożliwi bierne zdobywanie wiedzy z danego obszaru, ale także zapewni okazję do dyskusji. Dodatkowo, tam, gdzie to możliwe, należy podać przykłady naruszeń wraz ze wskazaniem konsekwencji, które wystąpiły lub mogły wystąpić.

### 13.3. Reagowanie na incydenty

W obliczu rosnącego prawdopodobieństwa wystąpienia incydentów oraz ataków na małe i większe organizacje sektora wydobywczego i energetycznego, niezbędne jest przygotowanie zdolności organizacji do reagowania na incydenty w celu zabezpieczenia świadczenia przez nie usług mających kluczowe znaczenie dla utrzymania krytycznej działalności społecznej lub gospodarczej. Przepisy dotyczące cyberbezpieczeństwa, m.in. Ustawa o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa, egzekwują wymóg zdolności reagowania na incydenty.

Reagowanie na incydenty wymaga dokładnego przygotowania, a także umiejętności identyfikowania, powstrzymywania i odzyskiwania danych po cyberatakach. Istnieją standardy i wytyczne dotyczące reagowania na incydenty, np. norma ISO 27035:2016, SANS Incident Response in a Security Operation Center oraz NIST 800-61 Rev. 2 Computer Security Incident Handling Guide. Norma ISO 27035 proponuje pięć faz procesu zarządzania incydentami. Są to:

1. Planowanie i przygotowanie.
2. Wykrywanie i raportowanie.
3. Ocena i decyzja.
4. Reakcja.
5. Wyciąganie wniosków.

Wytyczne NIST 800-61 Rev. 2, są jednym z najbardziej szczegółowych standardów publicznie dostępnych, które szczegółowo opisują proces reagowania na incydenty w zakresie bezpieczeństwa teleinformatycznego. Zgodnie z dokumentem NIST istnieją cztery główne etapy postępowania w przypadku reagowania na incydenty:

1. Przygotowanie.
2. Wykrywanie i analiza.
3. Ograniczanie, eliminacja i odbudowa.
4. Działania po incydencie.

W roku 2022 w Raporcie „Cyberbezpieczeństwo w górnictwie – rok 2022” przygotowanym przez Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej, Centrum Wymiany i Analizy Informacji ISAC-GIG dla sektora wydobywczo-energetycznego zaproponowano niezbędne wytyczne i uzupełnienia mające wpłynąć na poprawę warunków cyberbezpieczeństwa w roku 2023 (rys. 13.9).





Rys. 13.9. Zasady wpływające na poprawę warunków cyberbezpieczeństwa przedsiębiorstw opracowanie na bazie doświadczeń GK JSW IT Systems Sp. z o.o. [Raport ISAC-GIG, 2022]

Reakcja na incydenty wymaga holistycznego podejścia do analizy sytuacji i łagodzenia wrogich działań podejmowanych przeciwko aktywom organizacji. Analiza zagrożeń pomaga uświadomić sobie, jak ważne jest prowadzenie stałego dialogu i współpracy pomiędzy działami IT i OT, ekspertami ds. cyberbezpieczeństwa i bezpieczeństwa fizycznego, jednostkami rynkowymi i audytorami. W związku z tym, w celu wspierania aktywnego, wczesnego ostrzegania i szybkiego reagowania na zdarzenia krytyczne, zaleca się utworzenie stałej i multidyscyplinarnej grupy zadaniowej w organizacji, która musi być w stanie wybrać odpowiednią strategię łagodzenia skutków zaistniałych incydentów, w celu zminimalizowania wpływu na ciągłość świadczenia usługi kluczowej.

Aby osiągnąć ten cel, multidyscyplinarna grupa zadaniowa powinna uwzględniać:

- ekspertów ds. operacyjnych linii biznesowych znających konsekwencje wyłączenia systemu bądź kanału komunikacyjnego,
- ekspertów IT/OT znających specyfikację ciągłości działania infrastruktury organizacji, którzy są w kontakcie z dostawcami i innymi partnerami podczas poważnych incydentów,
- ekspertów ds. reagowania na incydenty, którzy zobowiązani są do podejmowania decyzji dotyczących działań określających poziom dotkliwości,
- analityków potrafiących zrozumieć schematy ataków i zachowania złośliwego oprogramowania, którzy powinni wskazać możliwe środki zaradcze.

Z dotychczasowej praktyki wynika, że incydemtem mogą być różne zdarzenia, jednakże, aby można je było uznać za incydent poważny bądź incydent krytyczny, to muszą spełnić odpowiednie przesłanki. Rada Ministrów RP uregulowała kwestię uznania danego incydentu za poważny poprzez określenie tych przesłanek w drodze rozporządzenia w sprawie progów uznania incydentu za poważny, odpowiednio do rodzajów zdarzenia w poszczególnych

sektorach i podsektorach określonych z załączniku nr 1 do Ustawy o KSC. Na podstawie wskazanych w tym dokumencie progów odnoszących się do skutków, jakie dany incydent może spowodować, wymieniono:

- liczbę użytkowników, których dotyczy zakłócenie świadczenia usługi kluczowej,
- czas oddziaływania incydentu na świadczoną usługę kluczową,
- zasięg geograficzny obszaru, którego dotyczy incydent, innych czynników charakterystycznych dla danego podsektora, czyli takich okoliczności jak: śmierć człowieka, ciężki uszczerbek na zdrowiu, inny ciężki uszczerbek na zdrowiu więcej niż jednej osoby, straty finansowe przekraczające 250 tys. zł.

Operator usługi kluczowej klasyfikuje incydent jako poważny, a następnie nie później niż w ciągu 24 godzin od momentu jego wykrycia, zgłasza jego wystąpienie do właściwego CSIRT MON, CSIRT NASK lub CSIRT GOV. W momencie wystąpienia incydentu, odpowiedzialność za odpowiednią klasyfikację incydentu jako poważny spoczywa na operatorze usługi kluczowej. Powinien on odpowiednio przeanalizować progi zawarte w stosownym rozporządzeniu, dotyczące danej usługi kluczowej i na tej podstawie przekazać zgłoszenie do właściwego CSIRT poziomu krajowego.

#### **13.4. Centrum Wymiany i Analizy w zakresie Cyberbezpieczeństwa (Information Sharing and Analysis Centre ISAC) w sektorze wydobywczo-energetycznym**

Information Sharing and Analysis Center (ISAC) to organizacje non-profit, które zapewniają możliwość wymiany informacji o zagrożeniach w obszarze CYBER. Umożliwiają wymianę informacji na temat zagrożeń i podatności systemów informatycznych oraz automatyki pomiędzy przedsiębiorstwami, instytucjami naukowymi czy też jednostkami samorządowymi. Jest to szczególnie ważne, teraz gdy za granicami naszego kraju trwa konflikt zbrojny, a w przedsiębiorstwach i urzędach w wyniku pandemii COVID-19 znacząco zwiększyło się wykorzystanie systemów informatycznych i Internetu. To właśnie większe wykorzystanie informatyki w prowadzeniu działalności przedsiębiorstw przemysłowych przełożyło się na bardzo duży wzrost zagrożeń z tym związanych.

W przeciwdziałaniu CYBER zagrożeniom kluczową kwestią jest dostęp do wiedzy eksperckiej. Dlatego też umożliwienie wymiany doświadczeń pomiędzy osobami zajmującymi się cyberbezpieczeństwem w różnych przedsiębiorstwach jest szczególnie ważne i cenne, zwłaszcza dziś, gdy tak bardzo brakuje specjalistów w tej dziedzinie. Współdziałanie w ramach ISAC daje tę możliwość oraz umożliwia kształcenie nowych specjalistów przyczyniając się do podniesienia odporności na wszelkiego rodzaju zagrożenia związane z systemami informatyki i automatyki.

Pierwsze Centrum wymiany wiedzy i doświadczeń dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa (ISAC) powstały w latach 90-tych po atakach terrorystycznych w Nowym Jorku i Oklahoma City, wtedy to prezydent Bill Clinton powołał Prezydencką Komisję do spraw Zabezpieczania Infrastruktury Krytycznej. Zadaniem Komisji było przygotowanie raportu rekomendującego działania zabezpieczające amerykańską infrastrukturę krytyczną w przyszłości. W raporcie jako jedno z największych zagrożeń, komisja wskazała Internet

i systemy teleinformatyczne. Eksperti zalecali przede wszystkim wzmocnienie współpracy pomiędzy agencjami rządowymi i operatorami infrastruktury krytycznej oraz dzielenie się informacjami na temat potencjalnych zagrożeń. Zalecenie to miało być realizowane właśnie poprzez powołanie Centrum wymiany wiedzy i doświadczeń dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa ISAC. Komisja podkreśliła także konieczność inwestowania w badania i rozwój nowoczesnych technologii. W odpowiedzi na rekomendacje Komisji stworzono pierwsze centra ISAC, a dwa lata później, zgodnie z prezydencką rekomendacją, uchwalono obowiązek utworzenia ISAC w każdym z sektorów infrastruktury krytycznej. Organizacją zrzeszającą w USA zespoły ISAC ze wszystkich sektorów jest Narodowa Rada ISAC (*ang. National Council of ISACs*). Do jej obowiązków należy wzmacnianie współpracy i wymiana informacji międzysektorowych.

Obecnie w Stanach Zjednoczonych działa ponad 20 organizacji ISAC. W Europie pierwsze ISACs powstały w sektorze finansowym i energetycznym. Warto podkreślić, że organizacje europejskie mają odmienną specyfikę w stosunku do ich amerykańskich odpowiedników. Powstały one później, zostały zbudowane na innym gruncie kulturowym i są znacznie bardziej nakierowane na wsparcie rządowe, a nie tylko współpracę sektorową. Wynika to z głęboko zakorzonego w kulturze europejskiej przekonania, że państwo powinno zapewniać bezpieczeństwo zarówno sektora publicznego, jak i prywatnego.

Europejskie ISAC, w porównaniu do amerykańskich odpowiedników, są zdecydowanie bardziej sformalizowane, głównie za sprawą większego wpływu organów rządowych na ich funkcjonowanie. Koncentrują się przede wszystkim na budowaniu partnerstwa i zaufania. Zgodnie z nomenklaturą przyjętą przez Europejską Agencję Bezpieczeństwa Sieci i Informacji (ENISA) w Europie wyróżnia się 3 modele ISAC: krajowe, sektorowe i międzynarodowe. Każdy z tych modeli ma swoją charakterystykę i specyfikę. Obecnie w Europie działa ponad 20 ISACs, m.in. w Hiszpanii, Portugalii, Polsce, Holandii, Litwie, Węgrzech, Grecji, Irlandii, Francji, Estonii, Austrii, Belgii. ISAC-GIG to pierwsze centrum wymiany informacji, doświadczeń i wiedzy w zakresie cyberbezpieczeństwa w obszarze wydobywczo-energetycznym w Polsce, a nawet w Europie.

Szybki rozwój technologii stosowanych w przemyśle energetycznym i wydobywczym sprawił, że podniosła się liczba niebezpieczeństw, które mogą zakłócić jego sprawne funkcjonowanie. Efektywna współpraca, oparta na wzajemnym zaufaniu między sektorem publicznym i prywatnym, jest konieczna dla zapewnienia skutecznej ochrony przed nowymi zagrożeniami.

Idea budowy Centrum Wymiany Wiedzy i Doświadczeń dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa ISAC dla sektora wydobywczo-energetycznego po raz pierwszy pojawiła się w marcu 2020 roku podczas konsultacji szefów sztabów kryzysowych JSW S.A. piszącego te słowa Artura Dyczko i KGHM Polska Miedź S.A. Radosława Stacha, wiceprezesa odpowiedzialnego za produkcję miedziowego koncernu z Lubina. Sztaby kryzysowe powołano w związku z zapobieganiem, przeciwdziałaniem i zwalczaniem zagrożenia wirusem SARS-CoV-2. Redaktor niniejszej monografii, organizując prace sztabu kryzysowego, którym następnie kierował do marca 2021 roku, powołał w jego skład poza dyrektorami kluczowych zakładów produkcyjnych GK JSW również Prezesa JSW IT SYSTEMS Sp. z o.o.,

zapewniającej kompleksową obsługę informatyczną jastrzębskich kopalń. To właśnie ten fakt spowodował, iż prowadzone intensywnie do czerwca 2020 roku na szczeblu sztabów kryzysowych JSW S.A. i KGHM Polska Miedź S.A. dyskusje na temat niezbędnych procedur mających zapewnić Ciągłość Działania Zakładów Górniczych, wymagają również budowy Centrum Wymiany Wiedzy i Doświadczeń dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa ISAC.

Podkreślenia wymaga fakt, iż sformułowana w marcu 2020 roku, podczas prac Sztabu Kryzysowego JSW S.A., idea utworzenia ISAC'a dla sektora wydobywczo-energetycznego zrodziła się z potrzeby wymiany wiedzy, informacji, doświadczeń, ale przede wszystkim dobrych praktyk w zakresie zabezpieczenia Ciągłości Działania Zakładów Górniczych. Minione trzy lata dobitnie pokazały aktualność i sensowność naszego pomysłu. Dziś już nikt nie dyskutuje z tezą, że Cyberbezpieczeństwo całego sektora wydobywczo-energetycznego jest zależne od bezpieczeństwa poszczególnych podmiotów, a zwłaszcza tych najmniejszych.

Obecnie ISAC'i stają się coraz popularniejszym modelem współpracy, ponieważ pomagają podnosić kompetencje operatorów w sektorach kluczowych oraz budują zaufanie pomiędzy interesariuszami systemu cyberbezpieczeństwa. Uczenie się od siebie nawzajem, zmniejszenie kosztów oraz poprawa poziomu cyberbezpieczeństwa – to tylko niektóre korzyści, które płyną z uruchomienia ISAC. Takie centra wymiany wiedzy budowane są wokół różnych sektorów gospodarki (np. finansowego, lotniczego czy też energetycznego). Ich głównym zadaniem jest zrzeszanie instytucji oraz umożliwianie im wymiany doświadczeń o zagrożeniach. ISAC jest formą partnerstwa publiczno-prywatnego (PPP), która sprawdza się w szczególności w obszarze cyberbezpieczeństwa. Operatorzy usług kluczowych to prywatne lub publiczne przedsiębiorstwa, a zagrożenia teleinformatyczne rzadko dotyczą wyłącznie jednej instytucji, a nawet jednego sektora. Dlatego też, dobra współpraca oraz właściwa wymiana wiedzy mogą znacznie podnieść poziom cyberbezpieczeństwa. Z danych zebranych przez ENISA wynika, że powstanie ISAC znacznie przyczyniło się do podniesienia poziomu wiedzy w tematyce zagrożeń w danym państwie oraz do wzrostu kompetencji firm i instytucji w przeciwdziałaniu tym zagrożeniom.

Jak pokazało życie, mimo kilku prób i interwencji Ministerstwa Klimatu, zawiązanie Centrum Wymiany Wiedzy i Doświadczeń dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa ISAC przez same Spółki Skarbu Państwa było niezwykle trudne oraz obarczone ryzykiem wystąpienia rozbieżnych celów strategicznych – co w konsekwencji powoduje, że silne ekonomicznie Spółki działają w pojedynkę, nie wykorzystując możliwości, jakie stwarza działanie w grupie generując przy okazji koszty utraconych szans rozwojowych, jakie można by osiągnąć efektywniej wykorzystując posiadane zasoby. Niezniechęcając się tymi problemami autor niniejszej monografii po blisko roku obiektywnych trudności w kwietniu 2021 roku z kilkoma entuzjastami tematu zaproponował organizację Centrum Wymiany Wiedzy i Doświadczeń dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa ISAC dla sektora wydobywczo-energetycznego przy Głównym Instytucie Górnictwa, gdzie dyrekcja Instytutu z dużym entuzjazmem i pomysłowością zabrała się do tworzenia niezbędnych formalnych struktur ISAC'a.

Formalnie umowy pomiędzy Głównym Instytutem Górnictwa a większością przedstawicieli Spółek Skarbu Państwa, pełniących kluczową rolę dla polskiego sektora wydobywczego, podpisano już w styczniu 2022 roku, natomiast uroczyste podpisanie deklaracji uruchomienia ISAC-GIG miało miejsce 03.06.2022 r. w Ministerstwie Aktywów Państwowych (rys. 13.10).



Rys. 13.10. Podpisanie umowy pomiędzy Głównym Instytutem Górnictwa, a przedstawicielami większości Spółek Skarbu Państwa, pełniących kluczową rolę dla polskiego sektora wydobywczego na pierwszego Dyrektora zarządzającego ISAC-GIG powołany została Piotr Toś z JSW SA. – Warszawa 3 czerwca 2022 r.

Sygnatariuszami porozumienia w sprawie współdziałania w ramach ISAC-GIG obecnie są:

- Główny Instytut Górnictwa,
- Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.,
- JSW IT Systems Sp. z o.o.,
- KGHM Polska Miedź S.A.,
- TAURON Polska Energia S.A.,
- TAURON Wydobycie S.A.,
- Polska Grupa Górnicza S.A.,
- Lubelski Węgiel „Bogdanka” S.A.,
- Węglokoks Kraj S.A.,
- ITG KOMAG,
- Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej.



W sierpniu 2022 roku w obecności podsekretarza stanu w Ministerstwie Aktywów Państwowych Pana Ministra Piotra Pyzika, Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej oraz ITG KOMAG uroczyście podpisały porozumienie o wstąpieniu do Centrum Wymiany i Analizy Informacji w zakresie cyberbezpieczeństwa dla sektora wydobywczo-energetycznego ISAC-GiG. Wstąpienie ITG KOMAG oraz Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej do ISAC GIG jest kolejnym krokiem, po uruchomieniu na Wydziale Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej od października 2022 roku wspólnie z ITG KOMAG elitarnych studiów podyplomowych pt.: „Cyberbezpieczeństwo systemów przemysłowych” (rys. 13.11).



Rys. 13.11. Przystąpienie Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej oraz ITG KOMAG do ISAC-GiG – Gliwice sierpień 2022 r.

ISAC-GIG to jedno z pierwszych tego typu przedsięwzięć w kraju, pierwsze skupiające spółki pełniące kluczową rolę w zakresie bezpieczeństwa energetycznego. Dotychczas w Polsce zostały uruchomione tylko dwa takie centra, tj. ISAC-Kolej w sektorze kolejowym oraz Centrum Reputacyjne Komunikacji Elektronicznej (ISAC-UKE) w sektorze telekomunikacyjnym. Idea utworzenia ISAC-GIG zrodziła się z potrzeby wymiany wiedzy, informacji, doświadczeń oraz dobrych praktyk w zakresie stosowania zabezpieczeń systemów teleinformatycznych. Centrum ISAC-GIG ma, w myśl przyjętych pryncypiów, opracowywać oraz promować standardy i rekomendacje dla sektora wydobywczo-energetycznego, a także współpracować przy obsłudze incydentów bezpieczeństwa i cyberataków dotyczących jednostki tego sektora.

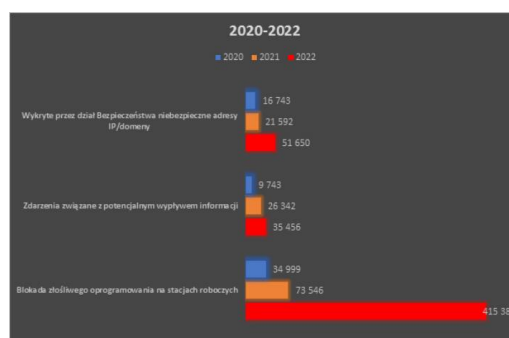
Wspólny wysiłek każdego z uczestników polega na nieustannej analizie i dzieleniu się informacjami o zagrożeniach i incydentach, które mają miejsce w cyberprzestrzeni. Do głównych zadań ISAC-GIG należy:

- wymiana i analiza danych o zagrożeniach w czasie rzeczywistym,
- tworzenie raportów na temat incydentów bezpieczeństwa,
- wymiana doświadczeń technicznych i operacyjnych wraz z zastosowanymi rozwiązaniami,
- dzielenie się wnioskami i doświadczeniami z incydentów oraz zagrożeń.

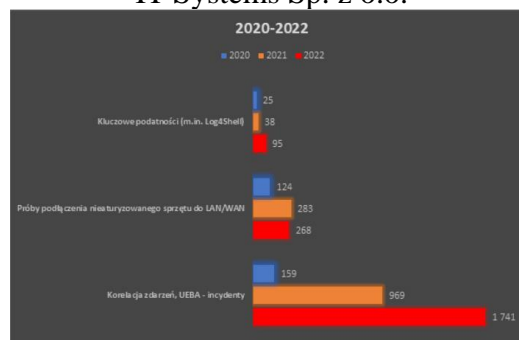
Jedną z cyklicznych inicjatyw ISAC-GIG stało się przygotowanie Raportu „Cyberbezpieczeństwo systemów przemysłowych dla sektora wydobywczo-energetycznego za rok 2022”. Dokument ten stanowi element większej strategii Centrum związanej z prowadzeniem studiów podyplomowych pt.: „Cyberbezpieczeństwo systemów przemysłowych” w murach Politechniki Śląskiej przez Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej wraz z Instytutem Techniki Górniczej KOMAG (rys. 13.12).



Rys. 13.12. Architekci powołania do życia studiów podyplomowych pt.: „Cyberbezpieczeństwo systemów przemysłowych” w murach Politechniki Śląskiej, Dziekan Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej prof. dr hab. inż. Franciszek Plewa i kierujący ISAC GIG Prezes JSW ITS Sp. z.o.o Piotr Toś – Gliwice, październik 2022



Wzrost zagrożeń cyberatakami - źródło: JSW IT Systems Sp. z o.o.



Rys. 13.13. Raport „Cyberbezpieczeństwo systemów przemysłowych dla sektora wydobywczo-energetycznego za rok 2022” [Raport ISAC-GIG, 2022]



Raport (rys. 13.13) stanowić ma docelowo ważny element działań ISAC-GIG w zakresie promowania i rozwijania współpracy w obszarze cyberbezpieczeństwa pomiędzy nauką, a biznesem stanowiąc swoisty alians innowacyjnych projektów i programów badawczych, upowszechniających ich rezultaty w celu podnoszenia świadomości zarządzania całym ekosystemem cyberbezpieczeństwa dla sektora wydobywczo-energetycznego.

Uczenie się od siebie nawzajem, zmniejszenie kosztów oraz poprawa poziomu cyberbezpieczeństwa – to tylko niektóre korzyści, które płyną z lektury dokumentu, który pozwoli, zawarte w nim dane, spostrzeżenia oraz zalecenia, zamienić w czyny mogące docelowo wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa między innymi poprzez budowanie nowego potencjału i zdolności w obszarze krajowego systemu cyberbezpieczeństwa. Raport, przedstawiając zrealizowane cele oraz udoskonalenia, jakie zostały wypracowane w ramach rozwijania wyższego poziomu dojrzałości i odporności cyberbezpieczeństwa w sektorze wydobywczo-energetycznym zawiera również skutki nowelizacji ustawy o KSC, a także propozycje Dyrektywy NIS 2 wprowadzające szereg wyzwań dla podmiotów krajowego systemu cyberbezpieczeństwa we wszystkich sektorach.

### **13.5. Silesian CyberSecurity Hub - nowy sposób na budowanie świadomości cyfrowej oraz rozwój kompetencji w zakresie cyberbezpieczeństwa**

Jak wspomniano powyżej idea budowy Centrum Wymiany Wiedzy i Doświadczeń dotyczących incydentów cyberbezpieczeństwa ISAC dla sektora wydobywczo-energetycznego po raz pierwszy pojawiła się w marcu 2020 roku podczas konsultacji szefów sztabów kryzysowych JSW SA i KGHM Polska Miedź S.A. Nieco później, bo w kwietniu 2021 roku, w wyniku rozwinięcia tej idei opracowano główne założenia strategicznego programu badawczego pt.: „Bezpieczny Cyfrowy Śląsk 2030”, niezwykle ambitnej inicjatywy, która ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa cyfrowego mieszkańcom Śląska w dobie transformacji cywilizacyjnej.

Całość koncepcji oparta została na założeniu, że nadrzędnym celem stworzonego programu „Bezpieczny Cyfrowy Śląsk 2030” będzie budowa, w należącej do Głównego Instytutu Górnictwa Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w Mikołowie, Ośrodka Rozwoju Innowacyjnych Kompetencji Cyfrowych, którego zadaniem w perspektywie najbliższych lat będzie:

- utworzenie Centrum Wymiany i Analizy Informacji na temat podatności, zagrożeń i incydentów w celu wspierania podmiotów krajowego systemu cyberbezpieczeństwa obecnie jest to ISAC GIG,
- rozwój kompetencji cyfrowych, zwłaszcza w zakresie cyberbezpieczeństwa jednostek samorządu terytorialnego, dużych, małych i średnich przedsiębiorstw, budowa bazy szkoleniowej w zakresie cyberbezpieczeństwa, wraz z uruchomieniem programu wyszukiwania i szkolenia najzdolniejszych studentów Cybersecurity Talent Identification and Assessment Program – CTIAP
- tworzenie zabezpieczeń technologicznych zapewniających ciągłość działania systemów przemysłowych IT/OT, umożliwiających koordynowanie i aktywne reagowanie na incydenty w cyberprzestrzeni, stworzenie Centrum Monitoringu Transformacji Regionu

bazującego na pozyskaniu źródłowych danych produkcyjnych i środowiskowych z kopalń objętych procesem transformacji.

Wszystko po to, aby ISAC GIG dzięki publikowanym raportom, analizom i szkoleniom stał się liderem opinii i twórcą ekosystemów podnoszących odporność na cyberataki.

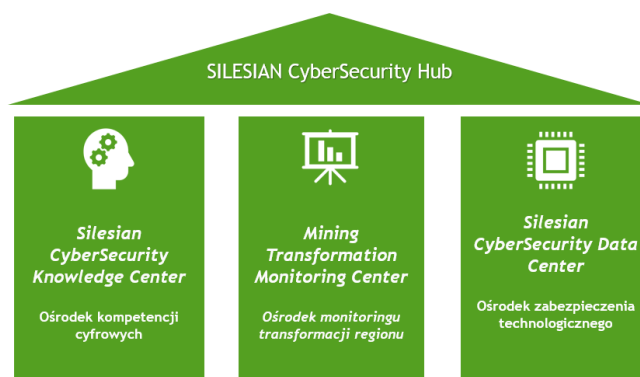
Wszystkie pomysły autora mocno skonfrontowano z prozą życia, a zwłaszcza z rzeczywistością finansową polskiej nauki, aby ostatecznie przedyskutować założenia programu z Urzędem Marszałkowskim, który po zapoznaniu się z proponowaną koncepcją, włączył je do Terytorialnego Planu Sprawiedliwej Transformacji Województwa Śląskiego do roku 2030 wspierającego działania ukierunkowane na podnoszenie poziomu innowacyjności gospodarki, rozwój nowych kompetencji związanych z koniecznością dostosowania zatrudnionych w branży górniczej i okołogórniczej do zachodzących zmian oraz efektywny i społecznie odpowiedzialny system zarządzania transformacją.

Ostatecznie przygotowane projekty składające się na program badawczy „Bezpieczny Cyfrowy Śląsk 2030” wkomponowano w Terytorialny Plan Sprawiedliwej Transformacji województwa śląskiego formując trzy główne filary Rys. 13.14. tj.:

- Ośrodek kompetencji cyfrowych – Silesian CyberSecurity Knowledge Center,
- Ośrodek monitoringu transformacji regionu – Mining Transformation Monitoring Center,
- Ośrodek zabezpieczenia technologicznego – Silesian CyberSecurity Data Center.



**ISACGIG**



FILARY PROGRAMU: CYFROWY BEZPIECZNY ŚLĄSK 2030

Rys. 13.14. Idea przekształcenia Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w Silesian CyberSecurity Hub

Proces przekształcania Kopalni Doświadczalnej „Barbara”, prowadzącej w przeszłości normalną działalność wydobywczą, w nowoczesny ośrodek informatyczny ze zlokalizowanym pod ziemią nowoczesnym centrum przetwarzania danych (Data Center), który stanie się dobrym przykładem transformacji cyfrowej nie tylko Śląska, ale całej branży surowcowej, jest już zaplanowany i znalazł finansowanie w Krajowym Planie Odbudowy województwa Śląskiego.

Podstawową zaletą lokalizacji Data Center w wyrobiskach podziemnych jest utrzymanie dużego stopnia bezpieczeństwa przechowywanych danych w łatwiejszy sposób niż przy korzystaniu z tradycyjnych serwerowni. Klienci centrów przetwarzania danych wymagają niezawodności serwerów i pełnej dostępności. Wszelkie urządzenia IT oraz wspomagające, zlokalizowane pod ziemią nie są narażone na złe warunki atmosferyczne oraz inne sytuacje losowe, o wojnie nie wspomnimy.

Na świecie dostawcy usług internetowych od lat współpracują z podziemnymi centrami przetwarzania danych. Najbardziej energooszczędna serwerownia w Europie znajduje się w norweskim Lefdal. Jest ona zlokalizowana 150 m pod ziemią, w wyrobiskach dawnej kopalni oliwinu i działa od 2017 r. (rys. 13.15).



Rys. 13.15. Najbardziej energooszczędna serwerownia w Europie znajdująca się w norweskiej kopalni oliwinu Lefdal 150 m pod ziemią [Digital Report, 2022]

W amerykańskim Springfield w stanie Missouri w starej podziemnej kopalni wapienia, około 25 m pod ziemią, zlokalizowano centrum przetwarzania danych o powierzchni ponad 7,5 tys. m<sup>2</sup>. Podobne serwerownie podziemne funkcjonują w Pensylwanii i Kansas City. Centrum w Kansas City zlokalizowane jest 34 m pod powierzchnią terenu a centrum w Pensylwanii znajduje się 70 m pod ziemią (rys 13.16).

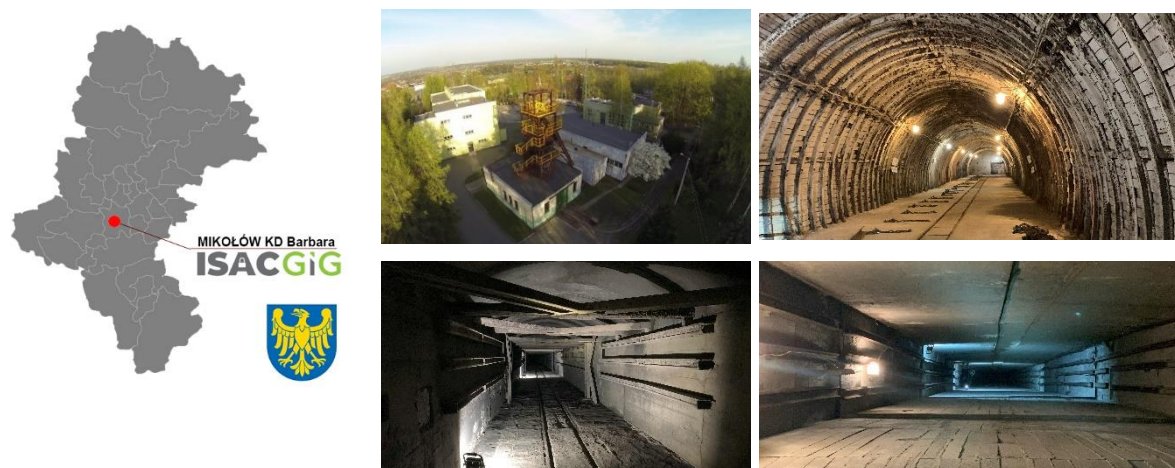




Rys. 13.16. Centrum przetwarzania danych w amerykańskim Springfield w stanie Missouri w starej podziemnej kopalni wapienia – DATA CENTER COMPANY EXPANDS UNDERGROUND IN MISSOURI [Missouri Partnership, 2018]

Data Center KD Barbara poprzez wykorzystanie istniejących wyrobisk podziemnych pozwoli ograniczyć koszty operatorów centrum przetwarzania danych, gdyż nie będzie wymagane budowanie całego budynku serwerowni czy wynajmowanie drogich powierzchni. Nie będą ponoszone również olbrzymie koszty związane z chłodzeniem urządzeń, gdyż pod ziemią nie ma światła słonecznego i panuje tam stała temperatura oraz wilgotność powietrza.

Zdaniem Autora niniejszego rozdziału monografii, który jest jednym z twórców koncepcji „Bezpiecznego Cyfrowego Śląska 2030”, Silesian CyberSecurity Hub nie tylko może stanowić element Śląskiej Chmury Obliczeniowej budowanej m.in. w oparciu o Data Center KD „Barbara”, ale docelowo winien stać się ważnym elementem Rządowej Chmury Obliczeniowej w obszarze monitoringu transformacji krajowego sektora wydobywczo-energetycznego.



Rys. 13.17. Nowoczesny ośrodek informatyczny w Kopalni Doświadczalnej „Barbara”

Jak pokazuje otaczająca nas rzeczywistość przygotowany w kwietniu 2021 roku program „Bezpieczny Cyfrowy Śląsk 2030” nie stracił nic na swojej atrakcyjności i aktualności, a wojna w Ukrainie tylko potwierdziła zasadność, formułowanych przez autorów rok przed jej wybuchem, tez, nadając im dodatkowego znaczenia.

Przeszłość jest w naszych głowach, a przyszłość w naszych rękach – jak głosi mądrość ludowa, prawdziwość tych słów potwierdził dobitnie miniony 2022 rok. Był to pierwszy rok funkcjonowania Centrum Wymiany i Analizy Informacji dla sektora wydobywco-energetycznego (ISAC GIG).

ISAC GIG działa aktywnie, integrując całe środowisko polskiego sektora surowcowego do podnoszenia świadomości i odpowiedzialności cyfrowej będącej fundamentem nowego oblicza przemysłu wydobywco-energetycznego w naszym kraju.

Szczególnie mocno cieszy piszącego te słowa, że obecnie Silesian CyberSecurity Hub to nie tylko GIG i idea budowy Ośrodka Rozwoju Innowacyjnych Kompetencji Cyfrowych w Kopalni Doświadczalnej „Barbara” z jedyną w Polsce nowoczesną serwerownią ulokowaną w wyrobiskach podziemnych. Dziś po roku funkcjonowania ISAC GIG, Silesian CyberSecurity Hub to przede wszystkim SOJUSZ pomiędzy Wydziałem Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej, a Głównym Instytutem Górnictwa oraz Instytutem Techniki Górniczej KOMAG na rzecz Spółek Skarbu Państwa pełniących kluczową rolę dla Polskiego sektora wydobywco-energetycznego.

Dziś Silesian CyberSecurity Hub to również, a może przede wszystkim porozumienie świata nauki i przemysłu – branży wyjątkowo ważnej dla bezpieczeństwa funkcjonowania naszego państwa, na rzecz trwałego zabezpieczenia na wielu polach elementarnego węzła koncentracji głównych strumieni danych naszej infrastruktury krytycznej. Jak powiedział Piotr Toś, Przewodniczący Komitetu Zarządzającego Centrum Wymiany i Analizy Informacji ISAC-GIG: „... *dziś Silesian CyberSecurity Hub pracuje nad stworzeniem bazy szkoleniowej dla wsparcia wszystkich funkcjonujących i powstających nowych ISAC’ów w całej Polsce. Mamy doświadczenie i duże osiągnięcia w budowaniu sprawnie działających Centrów Wymiany i Analizy Informacji z zakresu cyberbezpieczeństwa, chcemy stać się ważnym elementem Rządowej Chmury Obliczeniowej w obszarze monitoringu transformacji polskiej energetyki, chcemy wspólnie z Politechniką Śląską uruchomić program wyszukiwania i szkolenia najzdolniejszych studentów Cybersecurity Talent Identification and Assessment Program – CTIAP, chcemy wspólnie z Instytutem KOMAG zbudować szybką ścieżkę certyfikacji w zakresie cyberbezpieczeństwa produktów IT/OT, które będą uznawane w Europie. Wierzę, że nasza współpraca na Śląsku da nową jakość. Bez wątplenia gramy w jednej drużynie, a nasz zespół nie jest grupą ludzi, którzy tylko pracują razem! Nasz zespół to grupa ludzi, którzy sobie ufają w kontekście nauki, nowych i innowacyjnych pomysłów, projektów badawczych i inicjatyw, które mają na celu rozwijanie i unowocześnianie polskiego sektora naukowego...*”.

SOJUSZ Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej, Głównego Instytutu Górnictwa oraz Instytutu Techniki Górniczej KOMAG tchnął życie w idee budowy Silesian CyberSecurity Hub! Umożliwił poprzez organizowane studia podyplomowe, szkolenia i wymianę informacji oraz zapewnienie odpowiedniej reakcji na pojawiające się zagrożenia – budowanie i rozwijanie nowych kompetencji z zakresu cyberbezpieczeństwa tak na rzecz Spółek Skarbu Państwa, Jednostek Samorządu Terytorialnego jak i innych uczestników Krajowego Systemu Cyberbezpieczeństwa.

Sojusz ten zogniskował również wysiłki Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej wokół zaproponowanej przez Autora idei uruchomienia na Wydziale do 2025 roku sześciu laboratoriów składających się na CENTRUM KOMPETENCJI W ZAKRESIE BEZPIECZEŃSTWA, ANALITYKI OPERACYJNEJ I ZARZĄDZANIA SYTUACJAMI NIEBEZPIECZNYMI W PRZEMYŚLE.

Sojusz na rzecz budowy GOSPODARKI CYFROWEJ jako czynnik rozwoju technologicznego sektora surowców mineralnych i sprawiedliwej transformacji energetycznej Śląska, zawiązano 11.12.2023 roku w Gliwicach.

Politechnika Śląska oraz Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk z Krakowa zawarły porozumienie o współpracy w zakresie realizacji programów badawczych, inicjatyw projektowych i prac zleconych zmierzających do poprawy innowacyjności, efektywności technicznej i ekonomicznej gospodarki surowcami mineralnymi Europy.

Porozumienie uroczyście podpisali ze strony Politechniki Śląskiej – Prorektor ds. Nauki i Rozwoju, prof. dr hab. inż. Marek Pawełczyk, a ze strony Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk – Pan prof. dr hab. inż. Krzysztof Galos, Dyrektor Instytutu (rys. 13.18).



Rys. 13.18. Podpisanie porozumienie o współpracy Politechniki Śląskiej i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk z Krakowa przez Prorektor ds. Nauki i Rozwoju prof. dr hab. inż. Marek Pawełczyk oraz prof. dr hab. inż. Krzysztof Galos, Dyrektor Instytutu

CENTRUM, bazując na najnowszych osiągnięciach automatyki i informatyki z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, będzie pozwalało na symulacje procesów przemysłowych, technologicznych oraz sytuacji kryzysowych, a także łączenie rozproszonych systemów monitoringu, sterowania i bezpieczeństwa, odpowiedzialnych za działanie przedsiębiorstwa.

Laboratorium AI, ANALITYKI OPERACYJNEJ I PRZETWARZANIA INFORMACJI – stanowić będzie serce budowanego CENTRUM, pełniąc funkcję poligonu badawczego w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa i cyberbezpieczeństwa systemów automatyki przemysłowej sektora wydobywczo-energetycznego. Pozwoli to na wypełnienie luki



w zakresie testowania cyberodporności systemów i urządzeń automatyki wykorzystywanych w przemyśle. Uzupełnieniem prezentowanej przez Autora, pomysłodawcę i inicjatora działań na rzecz zaangażowania Wydziału Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej wokół idei: Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector, będzie stworzenie SYSTEMU ŚWIADOMOŚCI SYTUACYJNEJ – stanowiącego niejako mózg budowanego CENTRUM. System świadomości sytuacyjnej dla przemysłu to zaawansowana platforma monitoringu, analizy i reakcji w czasie rzeczywistym w środowisku przemysłowym. Główne założenia tego systemu obejmują między innymi integrację danych z różnych źródeł, takich jak czujniki, systemy monitorowania, bazy danych i urządzenia pomiarowe, co pozwoli uzyskać kompleksowy obraz sytuacji. Wiedza ta daje możliwość przeciwdziałania oraz właściwej reakcji na sytuacje nadzwyczajne.



Rys.13.19. Budowę CENTRUM kierować będą Dziekan, prof. dr hab. inż. Franciszek Plewa i dr inż. Artur Dyczko

Auto niniejszego rozdziału monografii uważa, iż budowane na Wydziale Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej CENTRUM KOMPETENCJI W ZAKRESIE BEZPIECZEŃSTWA, ANALITYKI OPERACYJNEJ I ZARZĄDZANIA SYTUACJAMI NIEBEZPIECZNYMI W PRZEMYŚLE będzie stanowiło doskonałe rozwinięcie i uzupełnienie koncepcji Silesian CyberSecurity Hub, stając się jednocześnie nową jakością w skali europejskiej w zakresie badań i szkoleń, przy wykorzystaniu symulacji i wirtualizacji w warunkach laboratoryjnych sytuacji niebezpiecznych, związanych z cyberzagrożeniami, zagrożeniami naturalnymi oraz przemysłowymi.



Cyberprzestrzeń w ostatnich latach stała się nowym środowiskiem bezpieczeństwa, do którego wprowadzono znaczne zmiany zarówno w praktycznych, jak i prawno-organizacyjnych aspektach działania globalnych systemów bezpieczeństwa. W tym kontekście szczególnie ważne jest zrozumienie dynamiki tej zmiany środowiskowej (zarówno w zapisach dyrektywy NIS 2 jak i Ustawy o KSC). Budowa systemu prawnego jako narodowej odpowiedzi na szanse i wyzwania związane z jego obecnością w cyberprzestrzeni była zadaniem niezwykle złożonym. Wynika to nie tylko z tempa zmian technologicznych, ale także ze specyfiki środowiska i jego „interaktywności”. Trend w prawie międzynarodowym, który pojawił się podczas COVID-19, jak i podczas aktualnej sytuacji geopolitycznej, zmierza do traktowania organizacji z sektora wydobywczo-energetycznego jako jednego z istotnych aktorów w stosunkach krajowych i międzynarodowych.

Nowe regulacje wprowadzają oraz rozszerzają współpracę międzynarodową między poszczególnymi jednostkami oraz regulują strategię i politykę bezpieczeństwa, które powinny uwzględniać rekomendacje Ministerstwa Klimatu i Środowiska przy szczególnym uwzględnieniu m.in. zapewnienia ciągłości działania systemów, obsługi incydentów bezpieczeństwa oraz ciągłego wzrostu świadomości z zakresu cyberbezpieczeństwa oraz cyberzagrożeń. Nie należy zapominać, że zagrożenia w cyberprzestrzeni to inna klasa wyzwań organizacyjnych, w dużej mierze podobna do tych, jakie stwarzają inne zagrożenia asymetryczne, takie jak terroryzm. Ich wspólną cechą jest wymuszanie na strukturach państwowych rozwiązań mniej zhierarchizowanych i bardziej elastycznych. Cyberbezpieczeństwo, zarówno społecznie, jak i technologicznie, ze wszystkimi jego konsekwencjami, jawi się jako jedna z najważniejszych koncepcji paradygmatu bezpieczeństwa na poziomie krajowym i międzynarodowym.

## 14. Podsumowanie

*Artur Dyczko*

Prezentowana na kartach tej monografii CYFROWA TRANSFORMACJA GK JSW dokonywała się w latach 2016÷2020. Swoim zakresem objęła digitalizację procesów związanych z dołową łącznością radiową, monitorowaniem warunków bezpieczeństwa pracy, automatyzacją całych ciągów produkcyjnych i wykorzystaniem do zarządzania firmą zaawansowanej analityki danych. Działania te realizowano przede wszystkim z myślą o zwiększeniu efektywności, a tym samym konkurencyjności funkcjonowania GK JSW na dynamicznie zmieniającym się światowym rynku surowców mineralnych.

W roku 2017 Zarząd JSW S.A. analizując przesłanki do weryfikacji przygotowywanej właśnie Strategii biznesowej GK do roku 2030 dostrzegł grupę uwarunkowań i ograniczeń – ze szczególnym uwzględnieniem bazy zasobowej – mogących zagrozić bezpieczeństwu funkcjonowania Spółki w przyszłości. Jak stwierdzono na podstawie prowadzonych analiz, potencjalnie największym ograniczeniem realizacji zakładanych celów strategicznych będą pogarszające się wraz ze wzrostem głębokości eksploatacji warunki geologiczno-górnice oraz towarzyszące im ryzyka i zagrożenia. Sytuacja była na tyle poważna, iż mogła wpłynąć na nieutrzymanie w niedalekiej przyszłości przez GK JSW statusu największego producenta wysokiej jakości węgla koksowego hard w Europie. Mając świadomość powagi sytuacji Zarząd Spółki postanowił w latach 2017÷2020 rozwój Spółki oprzeć o dywersyfikację techniczną i technologiczną realizowanego procesu produkcyjnego opartą na wiedzy, innowacjach, projektach badawczych i współpracy z branżowymi liderami nie tylko w kraju, ale i za granicą. W niezwykle determinacji towarzyszącej realizacji programów: **JSW 4.0** i **Inteligentna kopalnia JSW 4.0** upatrywano niepowtarzalnej szansy szybkiej przemiany polskiej spółki węglowej z siedzibą w Jastrzębiu Zdroju w nowoczesny Europejski koncern surowcowy z ambicjami 4.0.

Opisana w tej monografii rewolucja cyfrowa GK JSW tłumaczy, opisuje i dokumentuje transformację cyfrową jaka dokonała się w jastrzębskich kopalniach w latach 2016÷2020. Książka swoim zakresem objęła procesy związane z dołową informatyzacją, łącznością radiową, monitorowaniem warunków bezpieczeństwa pracy, automatyzacją i wykorzystaniem zaawansowanej analityki danych do podejmowania decyzji zarządczych. Prezentuje ona zdobyte doświadczenia całych zespołów badawczych podczas realizowanych przez blisko cztery lata strategicznych projektów, dokumentując największy przełom technologiczny w polskim górnictwie od lat.

Jak się okazało kluczowym elementem prowadzonej transformacji cyfrowej Spółki była **centralizacja i konsolidacja działalności informatycznej** tak w zakresie IT jak i OT całej Grupy Kapitałowej JSW. Prowadzone od roku 2010 działania centralizujące funkcje IT i OT w JSW S.A. w dedykowanej informatycznej spółce celowej w latach 2017÷2020, zostały zdynamizowane, prowadząc ostatecznie do pełnej obsługi całych procesów biznesowych w zakresie IT i OT kolejnych spółek GK JSW. Przełomowym etapem cyfrowej rewolucji w JSW S.A. było wdrożenie w Spółce jednolitej infrastruktury IT/OT. Proces był skomplikowany i długotrwały, ale dzięki pełnej determinacji całych zespołów projektowych, konsekwentnie pracowano nad usunięciem luki technologicznej oraz ujednoczeniem i standaryzacją warstwy infrastruktury i danych.

W pierwszej kolejności prace objęły obszar IT, a następnie również OT. Główne projekty związane z budową infrastruktury sieci LAN i WAN, budową podstawowego i rezerwowego Centrum Przetwarzania Danych, wdrażaniem Hurtowni Danych IT oraz narzędzi Business Intelligence wraz z budową platformy konsolidacji danych ze spółek GK JSW na poziomie Biura Zarządu i Centrum Usług Wspólnych powstały do roku 2017. Od tego roku rozpoczęto rozbudowywać infrastrukturę sieciową pod ziemią i w obszarach bezpośrednio związanych z produkcją jastrzębskich kopalń. Zbudowano własną techniczną hurtownię danych OT, wdrożono narzędzia do zaawansowanej analityki danych, a na szczeblu Zarządu Spółki powołano do życia **Zespół Zarządzania Projektami i Standaryzacji GK JSW** oraz Programy: **Inteligentna Kopalnia JSW 4.0 i JSW 4.0** wraz z **Pełnomocnikami Zarządu JSW S.A. ds. Informatyzacji, Łączności i Automatyki** oraz **CZAD**.

Opracowano standardy w zakresie łączności dołowej, transmisji i bezpieczeństwa danych. Rozpoczęto proces digitalizacji kluczowych procesów IT/OT w GK JSW.

Od roku 2018 transformacja cyfrowa Spółki objęła digitalizację kluczowych obszarów funkcjonalnych, wspierających podstawowe procesy biznesowe oraz działania w zakresie podniesienia poziomu bezpieczeństwa. Główne projekty realizowane w tym okresie to: modelowanie złoża i harmonogramowanie produkcji wdrażane we wszystkich kopalniach JSW S.A. i Biurze Zarządu (największe na świecie w latach 2018÷2019 wdrożenie tego typu narzędzi informatycznych w górnictwie), Elektroniczny Obieg Dokumentów, rozbudowa CZAD, uruchomienie systemów ERP, uruchomienie narzędzi wspierających zarządzanie projektami i programami, standaryzacja systemów SCADA, Model Planowania w GK JSW, Bezpieczeństwo Załóg Górniczych, rozbudowa systemów cyberbezpieczeństwa.

Na lata 2021÷2025 założono realizację projektów w zakresie integracji poszczególnych obszarów funkcjonalnych w celu umożliwienia optymalizacji procesowej i finansowej oraz automatyzacji procesów prowadzącej do zwiększania wartości firmy. Projekty realizowane w tym etapie założono, że będą ukierunkowane na zintegrowanie zarządzania bezpieczeństwem oraz integracją i monitorowaniem procesów produkcyjnych całej GK JSW, co powinno umożliwić w przyszłości uruchomienie projektów prowadzących do wdrożenia systemów optymalizujących oraz automatyzujących całe procesy biznesowe w kluczowych obszarach strategicznych koncernu.

Realizacja opisanych powyżej działań składających się na rzeczywiste przeprowadzenie w latach 2016÷2020 swoistej cyfrowej rewolucji GK JSW nie była by możliwa bez przejęcia 100% kontroli nad obszarem informatyki w GK JSW. Decyzja o przejęciu pełnej kontroli właścicielskiej nad spółką Advicom w roku 2018, a następnie przemianowanie jej na JSW ITS została podjęta w celu ochrony – prezentowanych szeroko na stronach niniejszej książki – inwestycji w teleinformatykę i automatykę GK JSW, które składały się na przyjętą w 2017 roku i aktualizowaną w 2019 Strategią IT/OT JSW S.A.

To właśnie powołanie do życia JSW ITS w roku 2018 wraz ze znacznym zwiększeniem finansowania obszaru IT/OT w całej GK, pozwoliło przeprowadzić szereg inwestycji tak w infrastrukturę teleinformatyczną, jak i rozwój systemów IT/OT pozwalając:

- zwiększyć bezpieczeństwo, załóg górniczych jak i danych w systemach, m.in. poprzez budowę nowych standardów w zakresie cyberbezpieczeństwa wykorzystywanych systemów

przemysłowych, opracowanie nowej polityki i wybór technologii lokalizacji pracowników w strefach szczególnego zagrożenia pod ziemią,

- realizować strategicznie ważne dla jastrzębskich kopalń programy: **Inteligentna Kopalnia JSW 4.0 i JSW 4.0**,
- zbudować własne zasoby w zakresie cyberbezpieczeństwa i ochrony inwestycji w rozwój IT/OT.

Opisana w monografii CYFROWA TRANSFORMACJA GK JSW dokonana w latach 2016÷2020 z jednej strony pozwoliła na realizację strategicznych programów efektywnościowych, takich jak JAKOŚĆ czy EFEKTYWNOŚĆ, ale, co równie istotne, pozwoliła na zniwelowanie olbrzymiego **długu technologicznego**, z którym mieliśmy do czynienia w zasadzie od początku powstania Spółki w roku 1993 i kolejnych latach jej funkcjonowania. Dług ten, powiększając się z roku na rok dusił innowacyjność technologiczną JSW S.A. zwłaszcza w latach 2000÷2015, paraliżując realizację zaawansowanych nielicznych projektów IT oraz nie dostrzegając w ogóle obszaru OT, których realizacja mogła znacząco poprawić procesy monitorowania i sterowania produkcją w jastrzębskich kopalniach.

Dopiero uruchomione w roku 2016 działania mające na celu zmianę modelu zarządzania i nadzoru nad obszarem IT/OT w Spółce, generalnie centralizujące funkcje IT i OT w całej GK JSW, zdynamizowały proces **niwelowania długu technologicznego w zakresie infrastruktury technicznej oraz łączności**, umożliwiając zastosowanie w kopalniach JSW S.A. najnowocześniejszych technologii na świecie. To właśnie w tym okresie dokonano:

- rozbudowy infrastruktury sieciowej poprzez zabudowę w kopalniach:
  - 170 km kabli światłowodowych,
  - 165 km kabla promieniującego i uruchomienia cyfrowej łączności radiowej w wyrobiskach dołowych kopalń JSW S.A. (przekazanie blisko 400 radiotelefonów służbom utrzymania ruchu zakładów górniczych i centrali),
  - systemów termowizyjnego (bezdotykowego) pomiaru temperatury pracowników,
  - monitoringu wizyjnego (zwłaszcza dołowego) CCTV, umożliwiającego obserwację miejsc szczególnie zagrożonych oraz strategicznych punktów ciągów technologicznych kopalń JSW S.A.,
- opracowania założeń iskrobezpiecznego systemu lokalizacji pracowników w wyrobiskach podziemnych,
- uruchomienia ciągłego monitoringu parametrów gazu w rurociągach odmetanowania, a także odbudowy, po blisko 30 latach funkcjonowania JSW S.A., własnych służby odmetanowania i przejęcia realnej kontroli nad własną infrastrukturą odmetanowania,
- zmodernizowania sieci LAN i WAN, we wszystkich kopalniach JSW S.A.,
- zmodernizowania posiadanych serwerowni oraz uruchomienia możliwości świadczenia usług chmury prywatnej,
- opracowania własnych standardów komunikacji i narzędzi zbierania danych technologicznych oraz uruchomienia Technicznej Hurtowni Danych IT i OT oraz systemów analityczno-raportowych; opracowano także projekt wymiany centralnego systemu kopii bezpieczeństwa danych i systemów IT/OT,

- zbudowania własnych zasobów i standardów w zakresie cyberbezpieczeństwa i ochrony danych zgodnie z przyjętym modelem architektury bezpieczeństwa technologicznego GK JSW.

Podobną transformację cyfrową przeprowadzono w zakresie aplikacji wspierających obszary biznesowe GK JSW. To właśnie na latach 2017÷2020 przypada kulminacyjny okres zmian techniczno-organizacyjnych i towarzyszących im inwestycji, dzięki którym **zniwelowano dług technologiczny w zakresie aplikacji wspierających obszary biznesowe i przetwarzania danych**. To właśnie w tym okresie uruchomione zostały działania umożliwiające m.in.:

- konsolidację i analizę danych finansowych całej GK JSW,
  - integrację danych z systemów akwizycji procesowych (SCADA) z systemami biznesowymi (ERP); wdrożono m.in.:
    - Centrum Zaawansowanej Analityki Danych produkcyjnych (CZAD),
    - jednolitą Mapę Cyfrową Złoza – cyfrowy model złoza wraz z zintegrowanym planowaniem i harmonogramowaniem produkcji górniczej (największe na świecie w latach 2018÷2019 wdrożenie tego typu narzędzi informatycznych w górnictwie),
    - System Ewidencji Urządzeń Budowy Przeciwwybuchowej „Ewidencja EWEX” (baza urządzeń systemu EWEX obecnie to blisko 70 mln urządzeń),
    - optymalizację procesu zarządzania zasobami i logistyką materiałową w JSW S.A.; uruchomiono nową wersję systemu oprogramowania „Wozy” wspierającego obszar logistyki materiałowej w kopalniach (po raz pierwszy dołowe dyspozytornie przewozowe wyposażono w komputery przemysłowe),
    - System Zarządzania Portfelem Projektów – Microsoft Enterprise Project Management,
    - Elektroniczny Obieg Dokumentów (EOD) – w pierwszej kolejności wdrożenie objęło obszar inwestycji i kancelarię główną GK JSW,
    - system analityczno-raportowy informowania kierownictwa (dashboards MIS),
    - standaryzację i akwizycję danych technologicznych w centralnym serwerze danych technologicznych (wykorzystując go jako platformę bazową spełniającą wymagania do budowy CSDT PISystem<sup>1</sup> firmy OSIssoft),
    - własne oprogramowanie systemu typu SCADA o nazwie HADES służące wspomaganie dyspozytorskiemu procesów produkcji,
- oraz rozpoczęto:
- budowę Centralnego Układu Kompensacji Mocy Biernej,
  - wdrożenie w spółce CLP-B systemu wspierającego prace laboratoryjne w celu optymalizacji procesu badania jakości węgla i koks (LIMS). Uruchomiono w ramach programu JAKOŚĆ JSW 4.0. – system wspierający kompleksowo zarządzanie jakością i automatyzację w zakresie ciągłego pomiaru parametrów jakościowych urobku w GK JSW.

---

<sup>1</sup> CSDT (*Common Submission Dossier Template*) – tzw. wspólny szablon przedkładanych dokumentacji, a PI Systems to [oprogramowania aplikacyjne](#) do zarządzania danymi w czasie rzeczywistym

Dopiero z perspektywy czasu widać jak prezentowana w tej monografii CYFROWA TRANSFORMACJA GK JSW prowadzona w latach 2016÷2020 przyczyniła się do zmiany starego modelu funkcjonowania Spółki, jak zdynamizowała proces budowy nowego, efektywnego modelu działania całej GK JSW, jak zabezpieczyła wreszcie Spółkę przed nowymi zagrożeniami gospodarki cyfrowej, aktywnie wpływając na wzrost wartości, efektywności i bezpieczeństwa pracowników GK JSW.

To właśnie dzięki nowej strategii zarządzania i nadzoru nad obszarem produkcyjnym w GK JSW, zakładającym zwiększoną integrację i automatyzację całych procesów produkcyjnych oraz innowacyjne rozwiązania IT/OT w całym cyklu produkcyjnym i handlowym zniwelowano kilkudziesięcioletni dług technologiczny w zakresie infrastruktury technicznej, łączności, aplikacji wspierających obszary biznesowe oraz przetwarzaniu danych.

Fundamentem zmian w zakresie cyfryzacji w GK JSW było powołane do koordynacji współpracy pomiędzy spółkami GK a JSW S.A. (Spółką matką) i JSW ITS nowego **Biura Automatyki i Informatyki JSW S.A. (TA)** w centrali Spółki oraz **Oddziałów Automatyki (EDA)** podlegających Nadsztygarowi Urzędzeń Teletechnicznych Metanometrii i Geofizyki w zakładach górniczych JSW S.A. Powołane Biuro Automatyki i Informatyki (TA) w centrali Spółki do roku 2021 zajmowało się koordynacją wszystkich działań związanych z toczącą się w GK transformacją cyfrową. Do jego zadań należało m.in.:

- nadzór realizacji przyjętej w 2018 roku strategii IT/OT,
- opracowanie, aktualizacja i utrzymanie standardów IT/OT GK JSA,
- tworzenie w zakładach JSW S.A. struktur Oddziałów automatyki (EDA),
- nadzór i rozszerzanie zakresu analiz danych telekomunikacyjnych CZAD,
- koordynacja prac Koordynatorów ds. Informatyki i Cyberbezpieczeństwa na zakładach górniczych,
- całodobowy monitoring pracy zakładów JSW S.A. przez CZAD (w latach 2020÷2021 pracownicy CZAD, w kooperacji z Dyspozytorami Ruchu kopalń JSW S.A., monitorowali na bieżąco sytuację operacyjną w Spółce, w tym informowali o nadzwyczajnych zdarzeniach, takich jak wypadki czy zagrożenie epidemiologiczne),
- opracowanie i nadzór (wspólnie ze służbami JSW ITS) kluczowych dla Zarządu informacji prezentowanych na dashboardach (panelach) zarządczych w przejrzysty sposób agregujących dobowo kluczowe informacje nt. działalności operacyjnej Spółki,
- nadzór systemu monitoringu wizyjnego CCTV (w marcu 2021 roku w systemie Milestone uruchomionych było na zakładach 397 kamer),
- uruchomienie i nadzór systemów do pomiaru parametrów gazu w rurociągach odmetanowania kopalń JSW S.A.,
- modernizacja i nadzór nad funkcjonowaniem systemów transmisji wielokrotnej FOD-900 (system FOD-900 jest przeznaczony do zbierania i przesyłania informacji – najczęściej dwustanowych, o procesie technologicznym kopalń do punktu nadzoru – dyspozytora ruchu),
- nadzór i rozwój Centralnego Serwera Danych Technologicznych (CSDT), który służy do tworzenia raportów opartych o parametry pracy maszyn,



- standaryzacja transmisji danych, cyberbezpieczeństwa, monitorowania procesów raportowania głównych ciągów produkcyjnych i bezpieczeństwa załóg górniczych,
- koordynacja kluczowych projektów efektywnościowych realizowanych na zakładach górniczych,
- optymalizacja kosztów usług w ramach umów serwisowych SLA,
- pozyskiwanie środków na realizację finansowania projektów efektywnościowych z funduszy NFOŚiGW oraz WFOŚiGW.

Konsekwencją powołania Biura Automatyki i Informatyki (TA) było zorganizowanie od podstaw we wszystkich zakładach górniczych JSW S.A. Oddziałów Automatyki (EDA) i zatrudnienia w nich po 13 pracowników do utrzymania w pełnej sprawności systemów nadzoru pracy maszyn i urządzeń, w tym sieci teletransmisyjnych i systemów informatycznych pracy maszyn i urządzeń. W sumie do końca 2018 roku w Oddziałach EDA wszystkich kopalń pracowało blisko sto osób, których zadaniem było:

- współpraca z podmiotami zewnętrznymi – dostawcami sprzętu i aparatury kontrolno-pomiarowej (AKP),
- koordynacja, współpraca i nadzór nad firmami odpowiedzialnymi za obsługę serwisową systemów nadzoru procesów produkcyjnych i sieci teletransmisyjnych,
- wdrażanie nowych rozwiązań w celu udoskonalania funkcjonowania szeroko pojętej automatyki górniczej,
- tworzenie specyfikacji istotnych warunków zamówienia w zakresie inwestycji związanych z wdrażaniem nowych i rozbudową istniejących systemów teleinformatycznych,
- koordynacja zadań związanych z zapewnieniem właściwego poziomu bezpieczeństwa teleinformatycznego zakładów JSW S.A.

Utworzenie Oddziałów Automatyki (EDA) pozwoliło doskonale zapanować nad dynamicznym rozwojem infrastruktury sprzętowej i oprogramowaniem w obszarze automatyki przemysłowej stosowanej w procesach produkcyjnych kopalń JSW S.A.

Wprowadzone zmiany w strukturze organizacyjnej kopalń polegającej na utworzeniu nowej komórki organizacyjnej w Dziale Energomechanicznym (Dział Elektryczny) podległej Nadsztygarowi Urządzeń Teletechnicznych Manometrii i Geofizyki, zatrudniającej pracowników do utrzymania ruchu systemów monitoringu parametrów pracy maszyn i urządzeń w pełnej sprawności, wymusiły zbudowanie CSDT zapewniającego stały, centralny dostęp do uporządkowanych danych generowanych w procesie produkcyjnym, co stało się jednym z głównych kamieni milowych procesu cyfrowej transformacji w zakładach górniczych JSW S.A.

Mając świadomość zachodzących zmian, a zwłaszcza tempo transformującej się gospodarki Zarząd JSW S.A. w Strategii Spółki na lata 2018÷2030 zauważył, iż cyfryzacja sektora wydobywczego, jako element rewolucji przemysłowej w górnictwie, stanowi wyjątkową okazję dla GK JSW aby zwiększyć odporność krajowych łańcuchów dostaw przemysłowych, poprawić efektywność środowiskową sektora surowców mineralnych oraz

zwiększyć przejrzystość i dialog z obywatelami i społecznościami, którzy odczuwają skutki działalności wydobywczej.

Uwierzyliśmy, w to, że informatyzacja, digitalizacja i integracja kluczowych procesów gospodarczych może pozwolić na rozpoczęcie budowy efektywnego i nowoczesnego modelu działania całej GK JSW. Pozwoli odważnie myśleć o wykorzystaniu niepowtarzalnej szansy szybkiej przemiany polskiej spółki węglowej z siedzibą w Jastrzębiu Zdroju w nowoczesny, efektywny i konkurencyjny Europejski koncern surowcowy z ambicjami 4.0. Uwierzyliśmy, że możemy z JSW S.A. uczynić organizację ucząca się, a więc w usystematyzowany i aktywny sposób korzystając z własnych doświadczeń i dostępnych zasobów informacyjnych, optymalizując swój model biznesowy dający odpór rosnącym potrzebom i wymaganiom dynamicznie zmieniającego się rynku. Uwierzyliśmy wreszcie, że możemy wyznaczyć nowe ambitne kierunki rozwoju, możemy stać się częścią inteligentnej wizji funkcjonowania polskiego sektora górniczego 4.0.

Automatyzacja górnictwa to dyscyplina charakteryzująca się ogromnym potencjałem. Jednak w pełni zautomatyzowana kopalnia z maszynami obdarzonymi hipotetyczną inteligencją to wizja raczej odległa. W dłuższej perspektywie czasu warto więc zadbać o realne wsparcie procesów, które są i z dużą pewnością będą w przyszłości nadal realizowane przez ludzi. Sytuacja na rynku surowców energetycznych, coraz większa głębokość zalegania złóż, sprawiają, że umiejętności zastosowania prawidłowych metod do rozwiązania niejednorodnych, złożonych problemów planistycznych i optymalizacyjnych stanowi zasadniczą kwestię.

Zmieniające się nieustannie otoczenie powoduje, że procesy wymiany oraz przetwarzania informacji stanowią coraz bardziej istotny element działalności biznesowej i mają znaczący wpływ na pozycję rynkową przedsiębiorstwa górniczego. GK JSW w swojej Strategii na lata 2018÷2030 określiła strategiczne kierunki rozwoju, zgodnie z teorią „twórczej destrukcji”. Spółka wypracowała własne standardy komunikacji w zakładach górniczych, uporządkowała procedury i wytyczne dotyczące transmisji, przechowywania i ochronnych danych OT, zaproponowała zupełnie nowy model rozwoju IT wewnątrz GK JSW, angażując w jego realizację całe zespoły inżynierów w kopalniach. Słowem rozpoczęła zmianę postrzegania automatyki i informatyki Organizacji.

Za wdrożenie procesu cyfrowej transformacji GK JSW do roku 2030 w Zarządzie odpowiedzialnym uczyniono Zastępcę Prezesa Zarządu JSW S.A. ds. Strategii, Inwestycji i Rozwoju, którego zadaniem było przygotowanie Strategii, stworzenie warunków organizacyjnych jej wdrożenia oraz budowa całych Zespołów projektowych w myśl zasady: „Zespół nie jest grupą ludzi, którzy pracują razem. Zespół to grupa ludzi, którzy sobie ufają”. To właśnie wiedza tych ludzi, ich determinacja i pracowitość pozwoliły uzyskać efekty stawiające obecnie Jastrzębską Spółkę Węglową w gronie europejskich pionierów w automatyzacji i monitorowaniu procesu produkcyjnego w kopalniach podziemnych, w zgodzie z paradygmatem PRZEMYSŁ 4.0.

Oceniając prowadzone wdrożenia w warunkach jastrzębskich głębokich kopalniach węgla kamiennego z dzisiejszej perspektywy, należy potwierdzić zasadność i skuteczność realizacji procesu Cyfrowej Transformacji GK JSW. Prezentowana w tej monografii Cyfrowa

Transformacja GK JSW była i wierzę, że jest nadal odpowiedzią jastrzębskich górników na wyzwania czekające całe polskie górnictwo w najbliższych latach i stanowić winna cenną inspirację w zakresie dalszej jego transformacji.

## 15. Literatura

- Aki K., Richards P.G.: Quantitative Seismology. Theory and Methods, Freeman, San Francisco, 1980.
- ATEX (RMR, 2016). Dyrektywa 2014/34/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L96 z 29.03.2014, str. 309. (RMR 2016). Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej Dz.U. 2016 poz. 817. Do 19 kwietnia 2016 r. obowiązywała poprzednia Dyrektywa ATEX nr 1994/9/WE w sprawie ujednoczenia przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.
- ATUT. Specyfikacja produktów i wyrobów. <https://www.atutnet.com/pl/platforma-oprogramowania-at-visio2-system-wspomagania-procesow-produkcji>. [Dostęp: 11.07.2022].
- Barański A., Dubiński J., Lurka A., Mutke G., Stec K.: Metoda sejsmologii górniczej oceny stanu zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami. Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tąpniętami w kopalniach węgla kamiennego. Wydawnictwo GIG, Seria Instrukcje Katowice 2012, nr. 22.
- Bazan Ł., Diederichs R., Gajda W., Lubryka J., Ptak K.: Monitorowanie podporności elementów obudowy zmechanizowanej - system EH-PressCater. Monografia pod redakcją A. Wojaczka i A. Dyczko: Monitoring wybranych procesów technologicznych w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Katedry Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2015.
- BECKER. Materiały firmy BECKER (<http://www.becker-mining.com.pl/>) dotyczące informacji o produktach firmy BECKER – Becker Mining Systems: [https://www.becker-mining.com.pl/do\\_pobrania/WALLTECH.pdf](https://www.becker-mining.com.pl/do_pobrania/WALLTECH.pdf) [Dostęp: 11.07.2022].
- Bentley T: Information Systems Strategy for Business, 1998.
- Berger J., Markiewicz J., Badyłak A., Olszewska M, Berger-Kirsch J.: Doświadczenia zakładu odmetanowania kopalń „ZOK” Sp. z o.o. w Jastrzębiu-Zdroju, w projektowaniu i budowie powierzchniowych i podziemnych stacji odmetanowania. Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji, 2016.
- Biernacki Z.: Sensory i systemy termooanemometryczne. WKŁ. Warszawa, 1997.
- Bieszczad P., Lasek M.: Wizualizacja pracy kopalni, monitoring i telekomunikacja w JSW S.A. KWK „Pniówek” – wczoraj, dziś i jutro. International Mining Forum, Jastrzębie, kwiecień 2019.
- Blaschke W.: Przeróbka węgla kamiennego – wzbogacanie grawitacyjne. Wydawnictwo IGSMiE PAN. Kraków, 2009.

- Borowicz A., Duczmal M., Ślusarczyk G., Frankowski R.: Wykorzystanie Jednolitej Bazy Danych Geologicznych do tworzenia cyfrowego modelu geologicznego złoża węgla brunatnego Złoczew, [w:] *Górnictwo Odkrywkowe* 2–3, 2014, p. 111–115
- Brzywczy, 2006.** Brzywczy E.: Metoda modelowania i optymalizacji robót górniczych w kopalni węgla kamiennego z wykorzystaniem sieci stochastycznych. Część 3. Model matematyczny. *Inst. Gospod. Surowcami Miner. Energią PAN Kom. Zrównoważonej Gospod. Surowcami Miner. PAN*, t. 22, nr 3, Art. nr 3, 2006.
- Brzywczy, 2008.** Brzywczy E.: Tradycyjne metody optymalizacji a nowoczesna heurystyka w wybranych zagadnieniach modelowania robót górniczych w kopalniach węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi.*, t. 24, nr 2/1, Art. nr 2/1, 2008.
- Brzywczy, 2009.** Brzywczy, E.: Analiza wyposażenie przodków ścianowych na podstawie reguł asocjacyjnych. *Wiadomości Górnicze* 2009, nr 3.
- Brzywczy, 2012.** Brzywczy E.: Pozyskiwanie wiedzy w przedsiębiorstwie z wykorzystaniem technik inteligentnych. *Wiadomości Górnicze* 2012, nr 10.
- Burczyk A., Marcisz J.: Zarządzanie jakością złoża i produktu w GK JSW S.A. w oparciu o nowoczesne narzędzia informatyczne. *Geomatyka Górnicza 2021 – rola geoinformatyki w cyfrowej transformacji górniczych danych przestrzennych*. Konferencja online, 24-25 lutego 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=ttBX5zyfsJU> [Dostęp: 11.07.2022].
- Campbell. G., *Geophysical contributions to mine development planning: A risk reduction approach in Anhauser*. C.R.EC1.15th CMMI Congress, vol. 3 Geology, 1994.
- CARBO. Materiały firmy CARBOAUTOMATYKA S.A. Katalog wyrobów dla górnictwa oraz strony internetowe dotyczące informacji o produktach tej firmy. Tychy.
- Cichy T., Sekta A.: Monitorowanie ciśnienia w stojakach obudowy zmechanizowanej w wybranych ścianach w Jastrzębskiej Spółce Węglowej. *Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering*. No 4 (540) 2019.
- Cierpisz S., Miśkiewicz K., Musioł K., Wojacek A.: *Systemy gazometryczne w górnictwie*. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2007.
- Cook M. A.: *„Building Enterprise Information Architectures. Reengineering Information Systems*. Englewood Clif”, Prentice Hall, 1996.
- Cortada J. W.: *„Best Practices in Information Technology.”* 1998. Dostęp: 9 wrzesień 2022. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/272978>. [Dostęp: 22.07.2022].
- Danihelka P., Schreiberova L., Jurasek J.: Kyberneticky utok jako hrozba pro BOZP v podnicich. *Cyber attack as OHS threat in enterprices. Casopis vyzkumu a aplikaci v profesionalni bezpecnosti (JOSRA) JOSRA 4 – 2020 roc* 13.
- De Wet. J.A.J., Hall. D.A., Campbell. G., *Interpretation of the Oryx 3D seismic survey*, in Anhauser. C.R.Ed. 15th CMMI Congress, Vol3 Geology, 1994, p. 259-270.

- Digital Report Norwegian Datacenter Industry, 2022.  
<https://static1.squarespace.com/static/6129463e215bea534c574c7f/t/6290ae900166be6bbfdc03db/1653649062074/Report-NorwegianDataCentre-June2022.pdf> [Dostęp: 24.03.2023].
- Dorman A.: Franken SOA. Network Computing, Innovations in Information Systems Modeling: Methods and Best Practices. 2007.
- Dubiński, 1989.** Dubiński J.: Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny zagrożenia wstrząsami górnictwymi w kopalniach węgla kamiennego. Prace GIG, Katowice seria dodatkowa.
- Dubiński, 2000.** Dubiński J., Konopko W.: Tapania. Ocena. Prognoza. Zwalczenie. Prace GIG. Katowice, 2000.
- Dyczko, 2014.** Dyczko A., Galica D., Kudlak Ł., Wybrane aspekty zastosowania narzędzi informatycznych w projektowaniu i harmonogramowaniu produkcji górniczej. Wiadomości Górnicze, 9, 2014.
- Dyczko, 2013.** Dyczko A., Galica D., Sypniewski S., Szot M. (2013): „Planowanie i harmonogramowanie produkcji górniczej w LW „Bogdanka” SA, Wiadomości Górnicze 2013, nr 7-8; s. 422-426.
- Dyczko, 2020.** Dyczko A., Malec M., Prostański D.: The efficiency of longwall systems in the case of using different cutting technologies in the LW Bogdanka. Acta Montanistica Slovaca, 2020, 25(4), str. 504–516.
- Dyczko, 2021.** Dyczko A.: Construction of a heuristic architecture of a production line management system in the JSW S.A. Mining Group in the context of output stabilization, quality improvement and the maximization of economic effects. Mineral Resources Management 37(4), 219–238. Kraków, Poland. doi: 10.24425/gsm.2021.139746.
- Dyczko, 2009.** Dyczko A.: Інформаційні технології у польському гірництві – від ідей до практичної реалізації, Школа підземної розробки - 2009
- Dyczko, 2022a.** Dyczko A.: Methodology for Run-of-Mine Quality Management in a Hard Coal Mine. KOMAG Institute of Mining Technology, Gliwice 2022. ISBN 978-83-65593-24-5 <https://doi.org/10.32056/KOMAG/MONOGRAPH2022.1>.
- Dyczko, 2022b.** Dyczko A.: Modeling of quality parameters of the coking coal as a process of adapting the output to the contracted parameters. Acta Montanistica Slovaca, Volume 27 (1), 11-26 ISSN 1335-1788. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i1.02>.
- Dyczko, 2023.** Dyczko A.: Production management system in a modern coal and coke company based on the demand and quality of the exploited raw material in the aspect of building a service-oriented architecture. Journal of Sustainable Mining: Vol. 22: Iss. 1, Article 1. <https://doi.org/10.46873/2300-3960.1371>.
- Dylong A.: Monitorowanie i prognozowanie wydzielania metanu w ścianie a możliwości sterowania kompleksem ścianowym. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2016, nr 1.
- Dzedzej, 2013.** Dzedzej C., Nowicki K.: Komputerowe wspomaganie zarządzania w przedsiębiorstwie górnictwem. Część 2. Wspomaganie informatyczne procesu planowania



i harmonogramowania produkcji górniczej. Wiadomości Górnicze, Tom R. 64, nr 1, 2013, p. 34-40.

**Dzedzej, 2008.** Dzedzej C., Nowicki K.: System planowania i harmonogramowania w kopalniach węgla kamiennego. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Wydawnictwo IGSMiE PAN. Sympozja i Konferencje nr 72, Kraków, 2008.

Dziemdziora M, Skirtun Sz.: Monitoring maszyn i urządzeń, automatyzacja procesów technologicznych kompleksów ścianowych i chodnikowych – prezentacja. International Mining Forum JSW S.A. kwiecień 2019.

Dziurzyński W., Krach A., Pałka T., Krawczyk J., Wasilewski S.: Podstawy budowy i regulacji rozplywu sieci odmetanowania. Przegląd Górniczy 2015 nr 7.

E+H. Materiały firmy Elgór+Hansen S.A. Chorzów.

E2V. Infrared Sensor Application Note 1, A Background to Gas Sensing by Non-Dispersive Infrared (NDIR).

ELEKTROMETAL S.A Cieszyn. Katalog produktów i wyrobów; np. DTR System lokalizacji i ewidencji pracowników EMLOK-16; DTR Stacja lokalna RSS-1.

ELSTA ELEKTRONIKA Sp. z o.o. Katalog produktów i wyrobów. Wieliczka, 2022.

EMAGS Materiały firmy EMAG SERWIS Katowice.

EMC. (Ustawa EMC). Dyrektywa 2014/30/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (wersja przekształcona). Dz. Urz. UE z 29.03.2014 (L96) USTAWA z dnia 13 kwietnia 2007 r. o kompatybilności elektromagnetycznej. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 lutego 2018 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o kompatybilności elektromagnetycznej. Dz.U. 2018 poz. 397.

Endrei M. (red.): Patterns: service-oriented architecture and Web services, 1st ed. United States: IBM, International Technical Support Organization, 2004.

Engineers Edge: [https://www.engineersedge.com/heat\\_transfer/thermal-conductivity-gases.htm](https://www.engineersedge.com/heat_transfer/thermal-conductivity-gases.htm) [Dostęp: 22.07.2022].

Erickson J., Siau K.: Service Oriented Architecture: A Research Review from the Software and Applications Perspective. Innovations in Information Systems Modeling: Methods and Best Practices, 2009, pp. 190-203.

Erl T., Tost A., Plunkett T., Roy S., Thomas P.: SOA with Java: Realizing Service-orientation with Java Technologies. Pearson Education. 2014.

ETSI 102361-1 ..do.. ETSI 102361-4. Technical Specification 102398. Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (EMR); Digital Mobile radio (DMR) Systems. Part 1: DMR Air Interface (AI) Protocol. Part 2: DMR Voice and Generic Services and Facilities. Part 3: DMR Data Protocol. Part 4: DMR Trunking Protocol.

- FAMUR S.A. Katowice. <https://www.slideserve.com/elia/grupa-famur-nowe-kierunki-modernizacji-podziemnej-eksploatacji-węglą> [Dostęp: 22.07.2022].
- Farjow W. F.: Leaky Feeder System Optimisation in Underground Mines ana Tunnels. Teses and dissertations. Ryerson University 2009.
- Finkenzeller K.: RFID Handbook. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Second Edition. John Wiley & Sons Ltd.
- Firganek B., Gralewski K.: System VENTURON – doświadczenia eksploatacyjne, dalszy rozwój. Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa 1999, nr 4-5.
- Fitowski K., Jankowski H., Jaszczuk M., Jenczmyk D., Krzak Ł., Pieczora E., Stankiewicz J., Szczurkowski M., Rogala J., Warzecha M., Worek C.: RFID nowa metoda identyfikacji elementów w podziemiach kopalń. Napędy i Sterowanie 2006 nr 2 s. 82-88.
- Flakiewicz W.: Od systemu informatycznego do systemu informacyjnego wspartego technologią komputerową. Informatyka nr 8, s. 3.
- Gast S. M.: 802.11. sieci bezprzewodowe. Przewodnik encyklopedyczny. Wyd. Helion. Gliwice, 2003.
- Gibowicz S. J., Kijko A.: An Introduction to Mining Seismology. Academic Press. Wyd. Elsevier 1994.
- Grzesica D.: Harmonogramowanie produkcji na przykładzie górnictwa węgla kamiennego. Logistyka, 2014.
- Gumiński A.: Zakres stosowania narzędzi informatycznych wspomagających transfer wiedzy w kopalni węgla kamiennego, [w:] Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie, Z. 70, 2014, p. 177-188.
- Hall, 1997.** Hall R. A.: Analysis of mobile equipment maintenance data in an underground mine. Unpublished master's thesis. Queen's Univ. Kingston Ont., 1997.
- Hall, 2000.** Hall R. A., Knights P. F., Daneshmend L. K.: Pareto analysis and condition-based maintenance of underground mining equipment. Mining Technology, 2000 no. 109/1, 14-22.
- HASO. Materiały firmy HASO S.C. Tychy.
- Herbaleb J., Carleton A., Rozum J., Siegel J., Zubrow D. 1994. Benefits of CMM-Based Software Process Improvement: Initial Results., Carnegie Mellon University, 1994.
- Hereźniak W., Dyczko A.: Działania podejmowane w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się zakażenia wirusem SARS-COV-2 w Jastrzębskiej Spółce Węglowej S.A., [w:] Monografia: Zagrożenie wirusem SARS-CoV-2 w kopalniach podziemnych – wybrane zagadnienia. GIG, 2020.
- Hołubowicz W., Płociennik P., Różański A.: Systemy łączności bezprzewodowej. Wydawnictwo EFP, Poznań, 1996.
- HYTERA: PD715 Ex/PD795 Ex. Intrinsically Safe Digital Portable Two-way Radio, HYTERA XPT. <https://www.hytera-mobilfunk.com/pl/blog/nowe-wiadomosci/2018/informacje-dotyczace-technologie-dmr-xpt-pseudo-tranking/>. HYTERA DMR Conventional Series

- Pseudo Trunk Application Notes. <https://www.hytera-mobilfunk.com/pl/blog/nowe-wiadomosci/2018/informacje-dotyczace-technologii-dmr-xpt-pseudo-tranking/>  
[Dostęp: 22.07.2022].
- IBM Redbooks, 2021, Privileged Access Management for Secure Storage Administration. <https://www.redbooks.ibm.com/redpapers/pdfs/redp5625.pdf> [Dostęp: 23.03.2023].
- IEC 62264-1. INTERNATIONAL STANDARD Enterprise-control system integration – Part 1: Models and terminology.
- ITU-R V.662-2 RECOMMENDATION ITU-R V.662-2. Terms and definitions.
- J122 ITU-T Recommendation: Interactive System for Digital Television Distribution. Second-generation Transmission System for Interactive Cable Television Services – IP Cable Modems.
- Jamróży Sz.: Zarządzanie danymi jakościowymi w JSW S.A. na przykładzie złóż Bzie-Dębina. Materiały konferencyjne XXVIII Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 25-27 lutego 2019, Kraków.
- Jaszczuk M., Jenczmyk D., Pieczora E., Rogala J.: Use of RFID technology to increase operational safety of powered roof supports. Materiały na konferencję: "High Performance Mining", RWTH Aachen, June 3rd and 4th, 2009 s. 91-102.
- Jordan R.: Integracja i modernizacja sieci OT. International Mining Forum, Jastrzębie, 2019.
- JSW IT SYSTEMS Sp. z o.o. Dokumentacja techniczna systemu Hades KWK „Pniówek” Dokumentacja nr: DT/PN/HDS/7/2022-1.
- JSW odmetanowanie. Materiały wewnętrzne JSW nie publikowane 2016-2021.
- Kabiesz J., Lurka, A., Drzewiecki, J.: Selected Methods of Rock Structure Disintegration to Control Mining Hazards. Archives of Mining Sciences. 2015, No 3 p. 807-824.
- Kaiser P.K., Henning J.G., Cotesta L.: Innovations in mine planning and design utilizing collaborative immersive virtual reality (CIRV), [in:] Proceedings of the 104th CIM Annual General Meeting, May 2002, Vancouver.
- Kapageridis I. K.: The Future of Mine Planning Software – New Tools and Innovations. The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey 1MCET2005 Izmir Turkey, 2005.
- Kępski P., Barszcz T.: Application of Vibration Monitoring for Mining Machinery in Varying Operational Conditions, in Fakhfakh T., Bartelmus W., Chaari F., Zimroz R., Haddar M.: Proceedings of the Second Conference Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations CMMNO, 2012.
- Ketterling A.: Introduction to Digital Professional Mobile Radio. Artech House. Boston London 2004.
- Kicki, 2008.** Kicki J., Dyczko A.: A Mining Software System at “Bogdanka” S.A. Underground Coal Mine – an Important Implementation of an Integrated Mineral Deposit Management

System in the Polish Mining Industry, International Mining Forum 2008, ss. 141-147, Taylor & Francis Group, London, UK 2008; ISBN 978-0-415-46126-9.

**Kicki, 2010.** Kicki J., Dyczko A.: The concept of automation and monitoring of the production process in an underground mine.” Publisher: Taylor & Francis Group, London. Journal: New Techniques and Technologies in Mining-Proceedings of the School of Underground Mining, R. Dychkovskyy (eds.), Volume R. 72, Issue nr 8, strony 245-253 London 2010. ISBN 978-0-415-59864-4.

**Kicki, 2011.** Kicki J., Dyczko A., Kamiński P.: The Future of Information Solutions in Polish Mining Industry”. [In:] Eskikaya Ş. (ed.) – Proceedings of the 22nd World Mining Congress & Expo, 11-16 September, Volume-IV, Istanbul-2011, Turkey.

**Kicki, 2013.** Kicki J., Dyczko A.: System ewidencji, kontroli, analizy efektywności maszyn i urządzeń górniczych EKSPERT – inteligentna platforma analityczna w KGHM Polska Miedź SA. Przegląd Górniczy 2013. 69 (5), 94-103.

Kijanka D.; Wróbel D.: Projektowanie i harmonogramowanie robót górniczych w LW Bogdanka S.A. z wykorzystaniem narzędzi IT drugiej generacji. Inżynieria Górnicza, 2017.

Klakus J., Krzystalik P.: Rozwój aparatury metanometrycznej na tle zmian przepisów. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa 1985, nr 2, s. 27-31.

KOMAG Instytut Techniki Górniczej KOMAG; Instytut Badawczy. Gliwice. <http://prass3.komag.eu/results-2/> [Dostęp 28.07.2022].

Kokesz Z., Mucha J.: Metody geostatystyczne w rozpoznawaniu i dokumentowaniu złóż oraz w ochronie środowiska, [w:] Studia i Rozprawy nr 19, Kraków: CPPGSMiE PAN, 1992.

**Kopacz, 2018.** Kopacz M., Sobczyk E. J., Galica D.: The impact of variability and correlation of selected geological parameters on the economic assessment of bituminous coal deposits with use of non-parametric bootstrap and copula-based Monte Carlo simulation, Resources Policy, Volume 55, March 2018, Pages 171-183.

**Kopacz, 2019.** Kopacz M., Kulpa J., Galica D., Dyczko A., Jarosz J.: Economic valuation of coal deposits – The value of geological information in the resource recognition process. Resources Policy, 2019, 63, 101450.

**Kopacz, 2020.** Kopacz M., Kulpa J., Galica D., Olczak P.: The influence of variability models for selected geological parameters on the resource base and economic efficiency measures - Example of coking coal deposit. Resources Policy, vol. 68. 2020.

Kosydor P., Warchala E., Krawczyk A., Piórkowski A.: Determinants of large-scale spatial data processing in Polish mining. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2209, No. 1, p. 040007). AIP Publishing LLC. 2020, March.

**Krawczyk, 2018.** Krawczyk A.: A concept for the modernization of underground mining master maps based on the enrichment of data definitions and spatial database technology. E3S Web of Conferences 2018. doi: 10.1051/e3sconf/20182600010

**Krawczyk, 2019.** Krawczyk A.: Geomatyka i geoinformacja górnicza - ich praktyczne zastosowania i bariery rozwoju Wydawnictwa AGH Kraków, 2019.

- Krodkiewski J.: Kontrola podporności obudowy zmechanizowanej na podstawie danych z systemu FAMAC RSPC. Dotychczasowe doświadczenia i perspektywy rozwoju. International Mining Forum, Jastrzębie, kwiecień 2019.
- KSC, 2018. Ustawa z dnia 5 lipca 2018 o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa. Dz. U. 2018 poz. 1560 z późniejszymi zmianami.
- KTPCz, 2022. (RRM, 2022). Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 grudnia 2013 w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości. Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 22 sierpnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie Krajowej Tablicy Przeznaczeń Częstotliwości. Dz. U. 2022 poz. 1988.
- Kurose J., Ross K.: Sieci komputerowe. Ujęcie całościowe. Wydawnictwo Helion Gliwice, 2019.
- Kurytnik I. P., Karpiński M.: Bezprzewodowa transmisja informacji. Wydawnictwo Pomiar Automatyka Kontrola. Warszawa, 2008.
- Kuśmirak-Brudnicki J.: Rozwój kopalnianych transmisyjnych sieci technologicznych. International Mining Forum, Jastrzębie, kwiecień 2019.
- Kwaśnica J.: Centralny Serwer Danych Technologicznych w JSW S.A. (praca niepublikowana)
- Li L., Mechefske C. K., Li W.: Electric motor faults diagnosis using artificial neural networks, Insight - Non-Destructive Testing and Condition Monitoring, 2004, 46(10), 616-621.
- Lewandowski A., Kiełb T.: Planowanie strategiczne w JSW S.A. z wykorzystaniem narzędzi do cyfrowego modelowania złoża na przykładzie złoża „Borynia” – studium przypadku. Materiały konferencyjne XXX Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 27-29 września 2021, Kraków.
- Lubryka J., Opielka K., Stojek M., Wojaczek A.: Systemy monitoringu i wizualizacji grupy EH-VIEW typu EH-MINEVIEW. Monografia pod red. A. Wojaczka i A. Dyczko.: Monitoring wybranych procesów technologicznych w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Katedry Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa. Gliwice, 2015.
- Lurka, 1998.** Lurka A.: Rozwiązanie zagadnienia tomografii pasywnej z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 4, s. 44 - 47. 1998.
- Lurka, 2005.** Lurka A.: Location of Mining Induced Seismicity in Zones of High P-wave Velocity and in Zones of High P-wave Velocity Gradient in Polish Mines, 6th Int. Conf. on Rockbursts and Seismicity in Mines, Balkema Pub. 2005.
- Lurka, 2009.** Lurka A.: Wybrane teoretyczne i praktyczne zagadnienia tomografii pasywnej w górnictwie podziemnym. Prace Naukowe GIG. nr 879. Katowice, 2009.
- Lurka, 2021a.** Lurka, A., Mutke, G., Małkowski, P.: Dynamic Influence of Near-Source Seismic Ground Motion on Underground Mine Working Stability Using Time-Frequency Analysis. Shock and Vibration. Hindwai, ID 9023550. 2021.

- Lurka, 2021b.** Lurka, A.: Spatio-temporal hierarchical cluster analysis of mining-induced seismicity in coal mines using Ward's minimum variance method. *Journal of Applied Geophysics*, vol.184, 104249. 2021.
- Łukaszczyk, 2018.** Łukaszczyk Z., Koszowski Z.: *Górnictwo węgla kamiennego. Informatyzacja*. COIG SA., *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji* 7, 2018.
- Łukaszczyk, 2019.** Łukaszczyk Z.: Projektowo-zadaniowe podejście w planowaniu i monitorowaniu działalności przedsiębiorstwa górniczego z wykorzystaniem informatycznego systemu SZYK2, [W:] *Systemy wspomagania w inżynierii produkcji. Górnictwo – perspektywy i zagrożenia*, Vol. 8, issue 1, 2019, p. 185-191.
- Majchrzyk Ł.: Jak fale innowacji wpłynęły na gospodarkę od 1785 do 2021 roku? MIT Economics MIT SLOAN SCHOOL OF MANAGEMENT. <https://mobirank.pl/2021/07/04/jak-fale-innowacji-wplynely-na-gospodarke-od-1785-do-2021-roku/> [Dostęp: 22.07.2022].
- Marcisz M., Ignacok D., Knapik D., Ostrowska-Łach M.: 3D solutions in documentation of geological structure of hard coal deposit in upper silesian Coal Basin (Poland), [w:] *Conference proceedings of 17th international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2017, Geoinformatics and Remote Sensing*, 17 (21), 2017, p. 761-767.
- Martin D.: A General Study of the leaky feeder principle. *The Radio and Electronic Engineer*. Vol 45, No 5, May 1975. Marcisz M., Probiez K., Ostrowska-Łach M., 3D representation of geological observations in underground mine workings of the Upper Silesian Coal Basin, [w:] *Journal of Sustainable Mining*, Volume 17, Issue 1, 2021, p. 34-39.
- Mendecki A. (red.): *Seismic Monitoring in Mines*, Springer Dordrecht Chapman & Hall, 1997.
- Mielimąka R.: Effect of the observed variability of a topographical surface on the precision of its realization at different densities of recognition points in the network, [w:] *Proceedings of the Mining and Geodesy Commission Polish Academy of Science-Kraków Section Geodesy* 36, p. 91-117, 1991.
- Mikuła S., Warzecha M., Rogala-Rojek J., Latos M.: Zarządzanie flotą wielozadaniowych terminali mobilnych jako niezbędny element efektywnej strategii zarządzania majątkiem trwałym w zakładzie górnym. *KOMTECH 2012, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice, 2012, s. 555-568.
- Miller J., 2021, Is Elastic Stack (ELK) the Best SIEM Tool? <https://www.bitlyft.com/resources/is-elastic-stack-elk-the-best-siem-tool> [Dostęp: 21.03.2023].
- Missouri Partnership, 2018, Data center company expands underground in Missouri. <https://www.missouripartnership.com/data-center-company-expands-underground-missouri/> [Dostęp: 21.03.2023].
- MinSearch. Odbiornik lokacyjny typu MinSearch-15. Instrukcja obsługi. Cieszyn, 2018. Odbiornik lokacyjny MinSearch-09 (250 kHz) Instrukcja obsługi. ELEKTROMETAL S.A. Cieszyn, 2009.



- Miśkiewicz, 2010.** Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Systemy radiokomunikacji z kablem promieniującym w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2010.
- Miśkiewicz, 2011.** Miśkiewicz K., Wojaczek A. Wojtas P.: Systemy dyspozytorskie kopalń podziemnych i ich integracja. Wybrane problemy. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2011.
- Miśkiewicz, 2012.** Miśkiewicz K., Wojaczek A., Wojtas P.: Eksploatacyjna zmienność właściwości metrologicznych metanomierzy. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*. 2012, nr 5.
- Miśkiewicz, 2018a.** Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Telekomunikacja w górnictwie. Wybrane zagadnienia teletransmisyjne. Wydawnictwo Katedry Elektrotechniki i Automatyki Przemysłowej Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2018.
- Miśkiewicz, 2018b.** Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Telekomunikacja w górnictwie. Systemy łączności telefonicznej, alarmowej i rozgłoszeniowej. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2018.
- Miśkiewicz, 2020.** Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Radiokomunikacja w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2020.
- MODBUS Standard - udostępnione zasoby <http://www.modbus.org>. [Dostęp: 22.07.2022].
- Moh Heng Goh, 2018. What Exactly is BCM? <https://blog.bcm-institute.org/bcm/what-exactly-is-business-continuity-management> [Dostęp: 23.03.2023].
- Motorola. Mototrbo Digital Trunking System <http://komtek2006.com/en/mototrbo-digital-trunking-systems> [Dostęp: 22.07.2022].
- Mróz J., Felka D., Broja A., Małachowski M.: Urządzenia pomiarowe parametrów wentylacyjnych i stężenia metanu oraz koncepcja kompleksowego monitorowania zagrożenia metanowego w rejonie ściany wydobywczej. *Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering* 2017, No. 1.
- Mucha J., Wasilewska-Błaszczuk M., Cieniawska M., Chudzik W.: Ocena wiarygodności prognozy jakości kopaliny na podstawie modelu 3D (na przykładzie fragmentu złoża wapieni i margli Barcin-Piechcin-Pakość), [w:] *Górnictwo Odkrywkowe*, R. 58, nr 4, Wrocław, p. 10-17, 2017.
- Mutke, 2007.** Mutke G.: Charakterystyka drgań wywołanych wstrząsami górnictwymi w odległościach bliskich źródła sejsmicznego w aspekcie oceny zagrożenia tąpnięciem, *Prace Głównego Instytutu Górnictwa*. Katowice, 2007.
- Mutke, 2015.** Mutke G., Dubiński J., Lurka A.: New Criteria to Assess Seismic and Rock Burst Hazard in Coal Mines. *Archives of Mining Sciences*. 2015, No 3. p. 743-760.
- Mutke, 2019.** Mutke G., Kotyrba A., Lurka A., Olszewska D., Dykowski P., Borkowski A., Araszkiwicz A., Barański A.: Upper Silesian Geophysical Observation System A unit of the EPOS project. *Journal of Sustainable Mining*. 2015, No 18(4), p. 198-207.

- Mutke, 2020.** Mutke G., Lurka A., Zembaty Z.: Prediction of rotational ground motion for mining-induced seismicity – Case study from Upper Silesian Coal Basin, Poland. Elsevier Engineering Geology, vol. 276.
- Narkiewicz J.: GPS. Globalny system pozycyjny. WKŁ Warszawa.
- Naworyta W.: Zastosowanie symulacji geostatystycznej do oceny deficytów rozpoznania złoża, [in:] Górnictwo Odkrywkowe, 3, p. 21-28, 2016.
- NEMOTO Technologies: Column No.9 Safety and Nemoto - (7) "Electrochemical CO gas sensor".
- Nieć M. (red.): Metodyka dokumentowania złóż kopalin stałych. Ministerstwo Środowiska, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, 2012.
- Niknejad N., Ghani I., Hussin A. R. C., Jeong S. R.: A systematic literature review towards service oriented architecture adoption from 2009 to 2015. International journal of advanced smart convergence, 7(3), 79-91, 2018.
- NIST. <https://webbook.nist.gov/chemistry> [Dostęp: 22.07.2022].
- Nowrot A.: Detektor gazów z wykorzystaniem absorpcji fal elektromagnetycznych w zakresie środkowej podczerwieni. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 2011, nr 5.
- OOSW. Ognioszczelne optyczne stanowisko wizualizacji DTR. Firma Timler, Zakład Elektrotechniki Budowlanej i Przemysłowej. Nowy Sącz.
- OPC Standard - udostępnione zasoby <https://opcfoundation.org/> [Dostęp: 22.07.2022].
- Owczarek, 2020.** Owczarek D., Przontka K.: Prognozowanie jakości węgla koksowego w programie Deswik. Materiały konferencyjne XXIX Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 24-26 lutego 2020. Kraków.
- Owczarek, 2021.** Owczarek D., Przontka K.: Narzędzie do kontroli pożądanego poziomu produkcji oraz ograniczeń poszczególnych elementów procesu produkcyjnego. Materiały konferencyjne XXX Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 27-29 września 2021. Kraków.
- Ozga-Blaschke U.: Gospodarka węglem koksowym Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, 2010.
- Ozon, 2017.** Ozon D., Dyczko A.: W kierunku inteligentnej kopalni przyszłości – JSW 4.0. Materiały konferencyjne XXXI Konferencji z cyklu: Zagadnienia Surowców Energetycznych i Energii w Gospodarce Krajowej. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zakopane, 15-18 października 2017.
- Ozon, 2019.** Ozon D., Dyczko A.: Strategia IT/OT w GK JSW – NOWE WYZWANIA. Materiały konferencyjne International Mining forum 2019: Safety and efficiency of exploitation against the challenges of industry 4.0. Kraków-Katowice-Jastrzębie Zdrój 2019.
- Palo Alto Networks, 2020. <https://www.paloaltonetworks.com/company/press/2020/palo-alto-networks-reimagines-data-security-with-an-easy-to-implement-cloud-delivered-enterprise-data-loss-prevention-service> [Dostęp: 23.03.2023].

- Paszek A.: Systemy transmisji danych i wizualizacji firmy HASO w zakładach górniczych. Warsztaty Nowe rozwiązania IT/OT – prezentacja. International Mining Forum JSW S.A. kwiecień 2019.
- PBE. Pyott Boone Electronics (PBE): PAS-Z Proximity Alert. [https://pbegrp.com/wp-content/uploads/2019/02/eng\\_ts-0011-003\\_pas-z\\_zr-tech-sheet\\_a4-1.pdf](https://pbegrp.com/wp-content/uploads/2019/02/eng_ts-0011-003_pas-z_zr-tech-sheet_a4-1.pdf) [Dostęp: 22.07.2022].
- Perrey R., Lycett M.: Service-oriented architecture. [In] 2003 Symposium on Applications and the Internet Workshops, 2003. Proceedings., Orlando, FL, USA, 2003, s. 116–119. doi: 10.1109/SAINTW.2003.1210138.
- Petersen K., Wohlin C., Baca D.: The waterfall model in large-scale development. Frank Bomarius, Markku Oivo, Päävi Jaring, Pekka Abrahamsson, redaktorzy, ProductFocused Software Process Improvement, s. 386–400. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- PGG, 2023. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 27 stycznia 2023 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy. Dz.U. 2023 poz. 633.
- PN-EN 60079-0:2013-03 Atmosfery wybuchowe. Część 0: Urządzenia – Podstawowe wymagania.
- PN-EN 60079-1:2014-12 Atmosfery wybuchowe. Część 1: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą osłon ognioszczelnych "d".
- PN-EN 60079-11:2012 Atmosfery wybuchowe. Część 11: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą iskrobezpieczeństwa "i".
- PN-EN 60079-18:2015-16 Atmosfery wybuchowe. Część 18: Zabezpieczenie urządzeń za pomocą hermetyzacji "m".
- PN-EN IEC 60079-25:2023-02 Atmosfery wybuchowe. Część 25: Systemy iskrobezpieczne.
- PN-EN 60079-26:2015-04 Atmosfery wybuchowe. Część 26: Urządzenia o poziomie zabezpieczenia urządzenia (EPL) Ga.
- PN-EN 60079-28:2015-12 Atmosfery wybuchowe. Część 28: Zabezpieczenie urządzeń oraz systemów transmisji wykorzystujących promieniowanie optyczne.
- PN-EN 62264-5:2017-02. Integracja systemu sterowania przedsiębiorstwem - Część 5: Transakcje między działalnością sektorów komercyjnych i wytwarzaniem.
- Podsumowanie zarządcze Strategii IT/OT w GKJ SW S.A., 2017
- Polak, 2011.** Polak R.: Koszty cyklu życia urządzeń energomechanicznych w kontekście oceny efektywności ich pracy w podziemnych zakładach górniczych. Wiadomości Górnicze 2011 nr 10, strony 569-578.
- Polak, 2014a.** Polak R.: Systemy przetwarzania danych - ich rola i znaczenie w realizacji idei Inteligentnej Kopalni”. Wiadomości Górnicze 2014, nr 10, strony 512-522.

- Polak, 2014b.** Polak R.: Adaptacja kluczowych miar efektywności strategii TPM w warunkach kopalni węgla kamiennego. *Journal: Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, Volume R. 87, Issue nr 87, strony 49-68. Kraków, 2014.
- Polak, 2014c.** Polak R.: Koncepcja i uwarunkowania zintegrowanego systemu zarządzania majątkiem produkcyjnym przedsiębiorstw górniczych. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2014 nr 5, strony 36-48.
- Polak, 2015.** Polak R.: Dynamiczny szacunek kosztów cyklu życia maszyn i urządzeń górniczych - przykład zastosowania dla kompleksu ścianowego. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* nr 89. Kraków, 2015, strony 93-110.
- Polak, 2016a.** Polak R.: Karta miar efektywności jako narzędzie oceny pracy kompleksu ścianowego. *Przegląd Górniczy* 2016, nr 5. s. 79-85.
- Polak, 2016b.** Polak R., Dyczko A.: Rola systemu wsparcia produkcji w przedsiębiorstwach górnictwa podziemnego. *Wiadomości Górnicze* 2016, nr 2. s. 75-83.
- Polityka Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. w zakresie zarządzania architekturą i infrastrukturą techniczną systemów IT/OT. JSW S.A. Jastrzębie Zdrój, październik 2020.
- PORTAS. Dokumentacja techniczno-ruchowa. SYBET Katowice, 2019.
- Pretorius, 1987.** Pretorius C. C., Jamison. A. A., Irons C., Seismic exploration in the Witwatersrand Basiu. Republic of South Africa: Proc. of Exploration 87. Ontario Geological Survey, Special Volume 3 (1989), 1987, p. 214-253.
- Pretorius, 2003.** Pretorius C. C., Muller M. R., Larroque, M., Wilkins. C.: A Review of 16 years of Hardrock Seismics on The Kaapvall Craton, in Eaton, D.W., Milkereit, B., Salisbury, M.H., Eds, Hardrock seismic exploration, Geophysical Developments No. 10. Society of Exploration Geophysicists, 2003.
- Pretorius, 1994.** Pretorius C. C., Steenkamp, W. H., Smith, R. G.: Developments in data acquisition, processing, and interpretation over 10 years of deep vibroseismic surveying in South Africa in Anhausser, C.R., Ed. 15th CMMI Congress. Vol3 Geology, 1994, p. 249-258.
- Probierz, 2017.** Probierz K., Marcisz M., Ignacok D.: Trójwymiarowy model złoża węgla kamiennego z zastosowaniem środowiska CAD na przykładzie SW części Górnosląskiego Zagłębia Węglowego, [w:] *Górnictwo Odkrywkowe*, 3, 2017, p. 84-85.
- Probierz, 2004.** Probierz K., Marcisz M.: Metoda konstrukcji cyfrowych map geologicznych, [in:] *Sborník z 13. semináře Moderní matematické metody v inženýrství (3mi)*, Dolní Lomná, 2004, p. 143-149.
- Probierz, 2007.** Probierz K., Marcisz M.: Nowe szanse i możliwości wykorzystania programów AutoCAD i Surfer do konstrukcji map górniczo-geologicznych – ich znaczenie w procesie kontroli jakości węgla i planowania produkcji kopalni, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 4, 2007, p. 259–195.
- Probierz K., Marcisz M.: Zastosowanie kombinacji programów AutoCAD i Surfer do konstrukcji map jakości węgla, *Wyd. Politechniki Śląskiej*, 246, 2000, p. 439–450.

- PTEL, 2022. Ustawa z dnia 16 lipca 2004 r. Prawo telekomunikacyjne. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 23 czerwca 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - Prawo telekomunikacyjne. Dz.U. 2022 poz. 1648.
- Puzik K.: System SZYK2 - informatyczna perspektywa dla górnictwa. Wiadomości Górnicze Tom R. 63, nr 5, 2012, p. 261-266.
- RAE System Inc. Technical Note TN-169. Theory and Operation of NDIR Sensors.
- Rajwa, 2012.** Rajwa S., Bulenda P., Masny W., Chowaniec A., Skrzyszowski P.: Określenie istotnych wymagań konstrukcyjnych dla obudowy zmechanizowanej przeznaczonej do pracy w warunkach silnego zagrożenia tapaniami. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona środowiska w Górnictwie*. 2012, nr 4, 2012.
- Rajwa, 2014.** Rajwa S., Pieszczyk M., Guzera J.: Dobór obudowy zmechanizowanej dla ściany prowadzonej w złożonych warunkach geologiczno-górnictwowych w KHW S.A. KWK „Wieczorek”. *Przegląd Górniczy* nr 5/2014. s. 58-63.
- Raport ISAC-GIG, 2022. Cyberbezpieczeństwo systemów przemysłowych dla sektora wydobywczo-energetycznego. Materiał niepublikowany.
- RFS. Radiaflex Cables. <http://www.rfsworld.com> [Dostęp: 22.07.2022].
- RMC, 2022. Rozporządzenie Ministra Cyfryzacji z dnia 9 lutego 2022 r. w sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego. Dz.U. 2022 poz. 567.
- RME, 2017. Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych. Dz. U. 2017 poz 1118.
- RMR, 2016. Rozporządzenie Ministra Rozwoju dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej. Dz.U. 2016 poz. 817.
- RMX. DTR Koncentrator światłowodowy RMX. REDNT SA Katowice.
- Rogala-Rojek J., Latos M., Piecha A., Mikuła S., Warzecha M.: Gospodarka majątkiem przedsiębiorstwa z wykorzystaniem systemu iRIS. *KOMTECH 2012, Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność*, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2012 s. 541-554.
- Roszczyński W., Trutwin W., Waclawik J.: *Kopalniane pomiary wentylacyjne*. Wydawnictwo Śląsk. Katowice, 1992.
- Royce Walker W.: *Managing the development of large software systems: concepts and techniques.*, IEEE WESCON, 1970.
- RRM, 2004. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30.04.2004 r. w sprawie dopuszczania wyrobów do stosowania w zakładach górniczych. Dz.U. 2004 nr 99 poz. 1003.

- Saganiak K.: Zarządzanie danymi przestrzennymi w oparciu o narzędzia informatyczne jako ważne wsparcie procesu decyzyjnego. Konferencja online, 25.02 2021. Dostępne na: <https://www.youtube.com/watch?v=QHUhbxx87BQ>
- SAURON - opis systemu wizualizacji. RNT Sp. z o.o.
- Serafin R., Zastosowanie algorytmów ewolucyjnych do harmonogramowania zadań produkcyjnych. [w:] Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, t. 1, R. Knosala (red.). WNT, Warszawa, 2007.
- Sermet E., Górecki J., Nieć M.: Tradycja, nowoczesność i pułapki modelowania złóż. Kraków, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, nr 100, 2017.
- SEVITEL Materiały firmy SEVITEL Sp. z o.o. Katowice.
- Snoke J. A.: Stable determination of (Brune) stress drops, Bull. of Seismol. Soc Am., 1987, No. 2, p 530 - 538.
- Sobków Z.: Optyczny detektor metanu w szerokim zakresie zmian koncentracji gazu. Praca doktorska wykonana w AGH. Kraków, 2010.
- SOMAR. [www.somar.com.pl](http://www.somar.com.pl), Specyfikacja produktów i wyrobów dla górnictwa.
- Sosnowski P.: Zarządzanie jakością w modelu geologicznym 3D – wiarygodność przewidywanych parametrów jakościowych węgla. Materiały konferencyjne XXX Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 27-29 września 2021. Kraków.
- Spiśak J., Zelko M.: The Advanced Technologies Development Trends for the Raw. Material Extraction and Treatment Area, Products and Services; from R&D to Final Solutions, Igor Fuerstner (Ed.), ISBN: 978-953-307-211-1.
- SWTx. Aneks nr 1 do instrukcji obsługi Szkieletowego Węzła Transmisyjnego typu SWTx. JSW IT Systems. Jastrzębie, 2021.
- Szczucki J., Kołodziejczyk M.: Uniwersalne czujniki pomiarowe parametrów środowiska. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa. 2013, nr 8.
- Szczurkowski M., Jankowski H., Worek C., Maksymowicz L. J.: RFID reader designing for identification of industrial metallic objects, Optoelectronic and Electronic Sensors VI, Tadeusz Pisarkiewicz, Editor, Proceedings of SPIE Vol.6348 OT, October 2006.
- Szlązak N., Swolkień J.: Metan z kopalń JSW S.A. Realne zagrożenie dla klimatu? Wydawnictwo AGH. Kraków, 2021.
- Szot M.: Projektowanie procesów eksploatacji w kopalniach podziemnych z wykorzystaniem technik informatycznych-system harmonogramowania produkcji w LW" Bogdanka" S.A. Wiadomości Górnicze, 61.2, 2010, p. 97-100.
- Szóstka J.: Mikrofałe. WKŁ Warszawa, 2008.
- Szurgacz D., Bazan Ł., Trzop K., Diederichs R.: Bezprzewodowy system wizualizacji parametrów ciśnienia zmechanizowanej obudowy ścianowej na przykładzie polskich kopalń. Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering No 2 (542) 2020.



- Szyguła M.: Rozwój konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej w górnictwie węgla kamiennego w Polsce. *Maszyny Górnicze* nr 2/2013. s. 30-38.
- Tapala D., Koj K.: Wdrażanie nowych technologii telekomunikacyjnych i informatycznych w kopalni KWK Knurów-Szczygłowice, *International Mining Forum*, Jastrzębie, kwiecień 2019.
- TF-KABLE. TELE-FONIKA Kable S.A Katalog wyrobów. Myślenice.
- Timler, 2006.** Timler M.: Optoelektroniczne stacje przetwornikowe ALFA I - IV. Karty katalogowe. Firma Timler, Zakład Elektrotechniki Budowlanej i Przemysłowej. Nowy Sącz, 2006.
- Timler, 2019.** Timler M.: Infrastruktura systemów nadzoru i sterowania procesów technologicznych w JSW S.A. kiedyś, dziś, kierunki rozwoju – prezentacja. *International Mining Forum JSW S.A.*, kwiecień 2019.
- TRANZTEL. MCA-1000digi Radio Communications System Central Unit. User's Manual. 2015.
- Varis Mine Technology Ltd.: Smart Com Ethernet Training Manual.
- Warchoń G.: Realizacja procesów technologicznych obejmująca wizualizację maszyn i urządzeń SJW S.A. KWK Budryk, *International Mining Forum*, Jastrzębie, kwiecień 2019.
- Warzecha M., Stankiewicz K., Jasiulek D., Rogala-Rojek J., Piecha A.: iRIS - system elektronicznej ewidencji środków trwałych w zakładach górniczych. *Maszyny Górnicze* 2011 nr 3 s. 92-96.
- Wasilewska-Błaszczuk M., Mucha J.: Jakościowy model 3D złoża wapieni i margli Barcin-Piechcin-Pakość, *Archiwa Lafarge Cement S.A.*, 2014.
- Wasilewski S., Krawczyk J., Janus J.: Ocena przydatności danych zbieranych przez czujniki systemu gazometrycznego dla celów modelowania numerycznego przepływu powietrza w kopalnianej sieci wentylacyjnej. *Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN*. Tom 16, nr 3-4. Kraków, 2014, s. 3-21.
- Waye C., Farjow W.: *Docsis over Leaky Cable (CMTS). Mine radio System*. August 2007.
- Wesołowski K.: *Systemy radiokomunikacji ruchomej*. WKŁ Warszawa, 2003.
- Wilkinson W.A.: *Benefits of building an efficient mine planning process*. *Mining engineering*, 2010.
- Wodzyński B.: *Radiotelefony*. WKŁ. Warszawa 1978.
- Wojaczek, 2011.** Wojaczek A., Dyczko A.: *Systemy telekomunikacyjne, monitoring wizualizacja podziemnej eksploatacji złóż*. Kraków, Wydawnictwo Fundacja dla AGH.
- Wojaczek, 2014.** Wojaczek A.: *Wpływ środowiska technicznego kopalń podziemnych na transmisję sygnałów w dołowych sieciach telekomunikacyjnych*. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice.

- Wojaczek, 2016.** Wojaczek A., Wojaczek Ad.: Systemy monitoringu w kopalni podziemnej. Systemy wspomaganie w inżynierii produkcji. Górnictwo – perspektywy i zagrożenia. 2016 z. 1
- Wojaczek Ad.: Dyspozytorski system monitoringu i wizualizacji THOR dla podziemnego zakładu górniczego. w: Wojaczek A., Dyczko A. (red.): Monitoring wybranych procesów technologicznych w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Katedry Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śl. Gliwice, 2015, s. 115-139.
- Worek C., Szczurkowski M., Kałuski M.: Zagadnienia propagacji fal radiowych w podziemnych zakładach górniczych w aspekcie gospodarki widmem radiowym. Rozprawy i Monografie – Wybrane obszary infrastruktury systemowej kopalń podziemnych – Praca zbiorowa pod redakcją Piotra Wojtasa, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG. Katowice.
- WUG raporty. Stan bezpieczeństwa i higieny pracy w górnictwie raporty WUG za lata 2016-2021.
- Zieliński R. J: Satelitarne sieci teleinformatyczne. WNT Warszawa, 2009.
- ZMUE. Materiały firmy Zakład Montażu Urządzeń Elektronicznych.
- ZPAS. Synoptyczne tablice mozaikowe. Katalog. Zakład produkcji automatyki sieciowej, Przygórze, 1999.
- Żymełka K.: Monitorowanie procesów technologicznych i stanu bezpieczeństwa w dyspozytorniach polskich kopalń węgla kamiennego. Wyd. Instytutu Systemów Sterowania. Chorzów, 2000.

## Automatyzacja i monitorowanie procesu produkcyjnego w kopalniach podziemnych – polskie doświadczenia we wdrażaniu paradygmatu PRZEMYSŁU 4.0

### Streszczenie

Monografia dedykowana jest szerokiemu gronu odbiorców zainteresowanych transformacją cyfrową tradycyjnych gałęzi gospodarki w organizacje uczące się, a więc takie które w usystematyzowany i aktywny sposób korzystając z własnych doświadczeń i dostępnych zasobów informacyjnych, optymalizują swój model biznesowy w zgodzie z paradygmatem przemysłu 4.0, zachowując konkurencyjność na zmieniającym się dynamicznie rynku.

Opisana w monografii rewolucja cyfrowa koncernu surowcowego tłumaczy i dokumentuje transformację cyfrową, jaka dokonała się w jastrzębskich kopalniach w latach 2016÷2020. Książka swoim zakresem objęła procesy związane z dołową informatyzacją, łącznością radiową, monitorowaniem warunków bezpieczeństwa pracy, automatyzacją i wykorzystaniem zaawansowanej analityki danych do podejmowania decyzji zarządczych. Prezentuje ona zdobyte doświadczenia całych zespołów badawczych podczas realizowanych przez blisko cztery lata strategicznych projektów, dokumentując największy przełom technologiczny w polskim górnictwie od lat.

CYFROWA TRANSFORMACJA kluczowego koncernu surowcowego Polski – szeroko opisana na stronach monografii – z jednej strony pozwoliła na realizację strategicznych programów efektywnościowych, takich jak JAKOŚĆ czy EFEKTYWNOŚĆ, ale co równie istotne, pozwoliła na zniwelowanie olbrzymiego **długu technologicznego**, z którym Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. miała do czynienia w zasadzie od początku jej powstania w roku 1993 i kolejnych latach jej funkcjonowania. Dług ten, powiększając się z roku na rok dusił innowacyjność technologiczną JSW S.A., zwłaszcza w latach 2000÷2015, paraliżując realizację zaawansowanych nielicznych projektów IT oraz nie dostrzegając w ogóle obszaru OT, których realizacja mogła znacząco poprawić procesy monitorowania i sterowania produkcją w jastrzębskich kopalniach.

Książka prezentuje polskie doświadczenia całych zespołów inżynierów: informatyków, automatyków, górników, geologów i ekonomistów, transformujących tradycyjną gałąź gospodarki, jaką jest górnictwo, w europejski koncern surowcowy z ambicjami, pokazując m.in.:

- jak budować strategię zarządzania i nadzoru nad obszarem produkcyjnym nowoczesnego przedsiębiorstwa surowcowego,
- jak projektować integrację i automatyzację całych procesów produkcyjnych oraz innowacyjnych rozwiązań IT/OT w cyklu produkcyjnym i handlowym w zakresie infrastruktury technicznej, łączności, aplikacji wspierających obszary bezpieczeństwa oraz przetwarzanie danych,
- jak monitorować obszar cyberbezpieczeństwa, zabezpieczeń systemów i urządzeń automatyki wykorzystywanych w produkcji,

- jak kreować planowanie pożądanej przyszłości, bazując na analizie doświadczeń z przeszłości oraz funkcjonowania w teraźniejszości i przyszłości.

Opisane w monografii systemy lokalizacji osób i urządzeń, systemy gazometryczne, monitorowanie sieci odmetanowania oraz zjawisk sejsmicznych mają znaczący wpływ na zapewnienie właściwego poziomu bezpieczeństwa.

## **Automation and monitoring of the production process in underground mines – Polish experience in implementing the INDUSTRY 4.0 paradigm**

### **Abstract**

The monograph is dedicated to a wide range of recipients interested in the digital transformation of traditional branches of economy into learning organizations, i.e. those that, in a systematic and active way, using their own experience and available information resources, optimize their business model in accordance with the industry 4.0 paradigm, maintaining competitiveness in the changing, dynamic market.

The digital revolution of the raw materials consortium described in the monograph explains and documents the digital transformation that took place in the JSW mines in the years 2016÷2020. The book covered processes related to underground computerization, radio communication, monitoring of occupational safety conditions, automation and the use of advanced data analytics to make management decisions. It presents the experience gained by entire research teams in the result of realizing strategic projects for nearly four years, documenting the greatest technological breakthrough in the Polish mining industry in years.

The DIGITAL TRANSFORMATION of Poland's key raw material consortium – extensively described on the pages of the monograph – on the one hand allowed for the implementation of strategic efficiency programmes such as QUALITY and EFFICIENCY, but what is equally important, it allowed for the elimination of the huge technological debt with which Jastrzębska Spółka Węglowa S.A. has been dealing with it basically since its establishment in 1993 and in the subsequent years of its operation. This debt, growing year by year, strangled the technological innovativeness of the JSW S.A., especially in the years 2000÷2015, paralyzing the implementation of advanced IT projects and not recognizing the OT area at all, the implementation of which could have significantly improved the production monitoring and control processes in the JSW mines.

The book presents the Polish experience of entire teams of engineers: IT specialists, automation specialists, miners, geologists and economists, transforming the traditional branch of the economy, which is mining, into a European raw material consortium with ambitions, showing, among others:

- how to build a management and supervision strategy over the production area of a modern raw materials company,
- how to design the integration and automation of entire production processes and innovative IT/OT solutions in the production and commercial cycle in the field of technical infrastructure, communications, applications supporting security areas and data processing,
- how to monitor the area of cybersecurity, security of systems and automation devices used in production,
- how to create planning for the desired future, based on the analysis of past experience and functioning in the present and future.

The systems for locating people and equipment, gasometric systems, monitoring of methane drainage networks and seismic phenomena, described in the monograph, have a significant impact on ensuring the appropriate level of safety.





ISBN 978-83-65593-30-6