

Redakcja naukowa: Marek Jaszczuk, Antoni Kozieł

SCENARIUSZE ROZWOJU TECHNOLOGICZNEGO MECHANIZACJI PODSTAWOWYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH W GÓRNICTWIE WĘGLA KAMIENNEGO

MONOGRAFIA - NR 1

**SERIA: INNOWACYJNE TECHNIKI
I TECHNOLOGIE MECHANIZACYJNE**



Gliwice, 2008

Redakcja naukowa

Marek Jaszczuk i Antoni Kozieł

**SCENARIUSZE ROZWOJU
TECHNOLOGICZNEGO MECHANIZACJI
PODSTAWOWYCH PROCESÓW
PRODUKCYJNYCH W GÓRNICTWIE
WĘGLA KAMIENNEGO**

Redakcja naukowa: Marek Jaszczuk i Antoni Kozieł

Współautorzy:

Jerzy Antoniak	- Politechnika Śląska
Piotr Gospodarczyk	- Akademia Górniczo-Hutnicza
Łucjan Gajda	- Kompania Węglowa S.A.
Marek Jaszczuk	- Politechnika Śląska
Antoni Kalukiewicz	- Akademia Górniczo-Hutnicza
Jan Kania	- Politechnika Śląska
Krzysztof Kotwica	- Akademia Górniczo-Hutnicza
Leszek Kowal	- CMG KOMAG
Antoni Kozieł	- CMG KOMAG
Zdzisław Kłeczek	- Akademia Górniczo-Hutnicza
Aleksander Lutyński	- Politechnika Śląska
Dariusz Prostański	- CMG KOMAG
Edward Pieczora	- CMG KOMAG
Zbigniew Pluta	- Jastrzębska Spółka Węglowa S.A.
Andrzej Pytlík	- Główny Instytut Górnictwa
Jerzy Pasek	- Kompania Węglowa S.A. - KWK „Jankowice”
Włodzimierz Sikora	- CMG KOMAG

Recenzenci:

prof.dr hab.inż. Adam Klich
prof.dr hab.inż. Kazimierz Stoiński

Komitet redakcyjny:

prof.dr hab.inż. Adam Klich
prof.dr hab.inż. Zdzisław Kłeczek
prof.dr inż. Włodzimierz Sikora

Sekretarz redakcji:

Romana Zajac

Monografia jest rezultatem realizacji projektu WKP-1/1.4.5/2/2006/9/12/590 pt.: „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego: „Wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw”, działanie 1.4.5.

Copyright by: *Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Gliwice*

ISBN 978-83-60708-20-0

Wydawca:

Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG

ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

Spis treści

	str.
1. WPROWADZENIE	1
2. NATURALNE I TECHNICZNE DETERMINANTY ROZWOJU PROCESU WYDOBYWANIA WĘGLA W WARUNKACH POLSKICH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO	4
2.1. Klasyfikacja zasobów	5
2.2. Analiza czynników naturalnych wpływających na rozwój mechanizacji	6
2.2.1. Grubość pokładu	6
2.2.2. Nachylenie pokładu	8
2.2.3. Głębokość zalegania pokładu	8
2.2.4. Geometria pól ścianowych	9
2.2.5. Zasoby zalegające w niekorzystnych warunkach eksploatacyjnych	9
2.3. Analiza warunków eksploatacyjnych	10
2.3.1. Wybieranie pokładów cienkich	10
2.3.2. Wybieranie węgla w filarach ochronnych	12
2.3.3. Wybieranie pokładów zagrożonych tapaniami	13
2.3.4. Wybieranie pokładów metanowych	15
2.3.5. Wybieranie w warunkach zagrożenia klimatycznego	15
3. OCENA INNOWACYJNOŚCI SYSTEMÓW MECHANIZACYJNYCH	17
4. SCENARIUSZ ROZWOJU TECHNOLOGII MECHANIZACJI DRAŻENIA WYROBISK KORYTARZOWYCH	31
4.1. Technologia drażenia wyrobisk korytarzowych kombajnami chodnikowymi	31
4.2. Konwencjonalna technologia drażenia wyrobisk korytarzowych z zastosowaniem urabiania materiałem wybuchowym	35

4.3. Technologia kotwienia	38
4.4. Klimatyzacja, wentylacja, odpylanie wyrobisk	40
5. PROGNOZA ROZWOJU ŚCIANOWYCH SYSTEMÓW MECHANIZACYJNYCH	46
5.1. Scenariusz rozwoju technologii w zakresie ścian niskich	47
5.2. Scenariusz rozwoju technologii dotyczący ścian średnich	52
5.3. Scenariusz rozwoju technologii w zakresie ścian wysokich	55
5.4. Rozwój układów automatyki, sterowania i diagnostyki ścianowych systemów mechanizacyjnych	59
6. PROGNOZA ROZWOJU SYSTEMÓW TRANSPORTU	64
6.1. Scenariusz rozwoju systemów odstawy urobku przenośnikami taśmowymi	64
6.2. Scenariusz rozwoju technologicznego transportu pionowego linowego	67
6.3. Scenariusz rozwoju systemów transportu pomocniczego	71
6.4. Transport samojezdnymi wozami oponowymi	76
7. PODSUMOWANIE	79
LITERATURA	83

1. WPROWADZENIE

Antoni Kozieł

Niniejsza monografia stanowi syntetyczne opracowanie wyników projektu celowego foresight pt. „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego”, realizowanego w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego „Wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw, działanie 1.4.5” w zakresie technologii i techniki mechanizacji robót eksploatacyjnych, przygotowawczych oraz systemów transportu. Projekt, koordynowany przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, zrealizowano w okresie od 1 lipca 2006 r. do 30 czerwca 2008 r. z udziałem: Akademii Górniczo-Hutniczej, Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk oraz Politechniki Śląskiej.

Rozwój technologiczny branży przemysłu wydobywczego będzie uzależniony, w znacznym stopniu, od perspektyw wydobycia węgla i roli jaką węgiel będzie odgrywał w przyszłości w polityce paliwowo-energetycznej kraju. W Polsce około 60% energii elektrycznej wytwarzana jest z węgla kamiennego. Według raportu Międzynarodowej Agencji Energetycznej, przedstawionego w Word Energy Outlook 2007 r., rola węgla kamiennego jako źródła energii będzie ciągle wzrastać i do roku 2030 dynamika udziału węgla w produkcji energii będzie największa ze wszystkich surowców kopalnych. Funkcjonowanie kopalń w warunkach rynkowych wymusza stosowanie w nich nowoczesnych technologii górniczych, pozwalających na efektywną ekonomicznie produkcję węgla. Bez wdrożenia nowoczesnych technologii nie będzie możliwe konkurowanie polskiego węgla zarówno na rynku krajowym, jak i europejskim [4, 19, 29]. Wymagane będzie zatem zastosowanie również innowacyjnych technologii mechanizacyjnych, zapewniających wysoką koncentrację produkcji i zwiększenie poziomu bezpieczeństwa [14, 38].

Technika górnicza rozwija się w ostatnich latach w bardzo szybkim tempie. Uzyskuje się wyniki produkcyjne, które jeszcze przed kilku laty wydawały się nieosiągalne. Nasuwa się jednak pytanie, czy jest to już kres możliwości obecnie stosowanych systemów technologicznych?

Uzyskanie koncentracji wydobycia w polskich kopalniach związane jest ze stałym doskonaleniem przebiegu procesu technologicznego, związanego z unowocześnieniem stosowanych maszyn i urządzeń, jak i po-

prawą systemu organizacji [46]. Perspektywy rozwoju mechanizacji przodków ścianowych, jak i korytarzowych należy wiązać również z charakterem bazy zasobowej, poziomem i zakresem występowania zagrożeń naturalnych oraz ograniczeń wynikających z konieczności ochrony powierzchni. Problemy te przedstawiono w scenariuszach rozwoju mechanizacji procesów eksploatacji zamieszczonych w niniejszej pracy [24, 25].

Przedstawione w monografii scenariusze rozwoju technologicznego mechanizacji procesów produkcyjnych w polskim górnictwie węgla kamiennego obejmują:

- technologie drażenia wyrobisk przygotowawczych poziomych i nachylonych metodą:
 - konwencjonalną z zastosowaniem MW,
 - kombajnową, z obudową konwencjonalną, kotwioną i zmechanizowaną,
- technologie ścianowe:
 - z zawalem stropu,
 - z podszkawką hydrauliczną,
 - metodą podbierkową,
- technologie transportu węgla, materiałów oraz przewozu ludzi, w tym transport:
 - pionowy linowy,
 - taśmowy,
 - szynowy,
 - oponowy,
- technologie wentylacji, klimatyzacji i zwalczania zapylenia, w tym:
 - przewietrzanie drażonych wyrobisk korytarzowych,
 - klimatyzację wyrobisk ścianowych i korytarzowych,
 - odpylanie wyrobisk korytarzowych.

W oparciu o przedstawione uwarunkowania naturalne, techniczne i ogólne opracowano scenariusze rozwoju technologicznego poszczególnych, często autonomicznych wycinków procesu produkcyjnego.

Scenariusze opisano w kartach rozwoju technologicznego, w których ujęto następujące zagadnienia:

1. Charakterystyka aktualnego stanu danej technologii, w tym:
 - krótki opis stosowanej technologii w kraju,
 - stan technologii za granicą.

2. Kierunki rozwoju technologii do 2020 roku z uwzględnieniem:
 - czynników krytycznych warunkujących rozwój technologii, takich jak: zasoby, warunki geologiczno-górnice, zagrożenia i inne, ważne dla danej technologii.
3. Kryteria ogólne, takie jak:
 - bezpieczeństwo, ochrona środowiska, zrównoważony rozwój, skuteczność, efektywność, ważne dla danej technologii.
4. Parametry technologiczne charakteryzujące rozwój z uwzględnieniem:
 - potencjału technicznego na poszczególnych etapach rozwoju,
 - bezpieczeństwa,
 - innych uwarunkowań ważnych dla danej technologii.
5. Kierunki prac badawczo-rozwojowych, wspierające rozwój danej technologii.

2. NATURALNE I TECHNICZNE DETERMINANTY ROZWOJU PROCESU WYDOBYWANIA WĘGLA W WARUNKACH POLSKICH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Łucjan Gajda, Zbigniew Pluta, Włodzimierz Sikora

Skuteczną metodą pozwalającą na uzyskiwanie przez kopalnie węgla kamiennego korzystnych wyników produkcyjnych i ekonomicznych jest koncentracja produkcji we wszystkich ogniwach procesu technologicznego. Wymaga to prowadzenia przodków eksploatacyjnych o wysokiej produktywności i wyrobisk przygotowawczych z wysokimi dobowymi postępami, o coraz większych przekrojach, instalowania wysoko wydajnych środków transportu urobku oraz zapewnienia skutecznego transportu pomocniczego do alokacji ciężkich maszyn i materiałów oraz do przewozu ludzi.

Mechanizacja procesu pozyskiwania węgla, składającego się z szeregu operacji technologicznych, począwszy od urobienia calizny w pokładzie, aż do dostarczenia urobku na powierzchnię, realizowanych w złożonej strukturze przestrzennej kopalni, obejmuje następujące działania [33, 44, 46]:

- wykonanie robót udostępniających i przygotowawczych,
- oddzielenie węgla od calizny w przodkach eksploatacyjnych,
- transport węgla wyrobiskami poziomymi oraz nachylonymi,
- transport węgla szybami,
- transport materiałów, sprzętu oraz przewóz ludzi.

Rozwój mechanizacji procesów eksploatacji węgla kamiennego zależy od wielu czynników, w tym głównie warunków naturalnych oraz utrudnień wynikających z zaszłości eksploatacyjnych. Z przeprowadzonej analizy stanu techniki i technologii stosowanych w Polsce oraz za granicą wynika, że przez najbliższe 15 lat w polskich kopalniach węgla dominował będzie ścianowy system eksploatacji, jako najbardziej efektywny, jakkolwiek w utrudnionych warunkach eksploatacji będą stosowane także inne systemy. Ewentualna zmiana systemu wybierania w polskim górnictwie może nastąpić w dłuższej perspektywie czasu. Najlepszym przykładem obrazującym szybkość zachodzenia zmian jest przejście od powszechnie stosowanego u nas w latach czterdziestych systemu zabierkowego na system ścianowy, trwające ponad 20 lat.

Osiągnięty w ostatnich latach wzrost koncentracji wydobywania z przodka ścianowego wymusił znaczące przyspieszenie wykonywania wyrobisk udostępniających i przygotowawczych, zwiększenie wydajności

i poprawę dyspozycyjności transportu urobku z przodka produkcyjnego na powierzchnię, modernizację i usprawnienie transportu pomocniczego, jak również innych operacji technologicznych związanych z głównym ciągiem produkcyjnym.

2.1. Klasyfikacja zasobów

Podstawą rozważań dotyczących rozwoju technologii górniczych jest analiza zasobów w aspekcie ich wielkości i charakterystyki. Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat można było zaobserwować znaczne zmiany w wielkości zasobów, wynikające głównie ze zmiany ich klasyfikacji. Zrezygnowano z części zasobów, które uznano jako nieekonomiczne, z punktu widzenia skuteczności stosowanych aktualnie technologii. Do kryteriów, jakimi kierowano się przy zmianie klasyfikacji zasobów, skutkującej ich ubytkiem, należały między innymi [39]:

- niekorzystne warunki geologiczno-górnice,
- podebranie pokładu,
- brak udostępnienia (odcięcie przez stare zroby, występowanie wśród zasobów pozabilansowych, w strefach międzyuskokowych),
- występowanie powyżej poziomu wentylacyjnego,
- ochrona obiektów na powierzchni lub pod ziemią,
- położenie złoża poniżej głębokości dokumentowania, czyli 1000 m,
- nadmierne zasolenie wód złożowych,
- niekorzystne warunki geotermiczne,
- parametry jakościowe węgla, obejmujące wysoką zawartość popiołu i siarki oraz niską wartość opałową.

Najważniejszą przyczyną przeklasyfikowania zasobów są i będą warunki geologiczno-górnice zalegania pokładów. Jednakże nawet obecne zasoby obejmują duży udział pokładów, które ze względu na trudne warunki naturalne stwarzają poważne problemy techniczne pozyskiwania węgla. Eksploatowane są głównie zasoby zaliczone do przemysłowych. Istnieją jednak warunki naturalne, mające niekorzystny wpływ na procesy mechanizacyjne [4]. Należy do nich zaliczyć:

- grubość pokładu,
- nachylenie pokładu,
- głębokość zalegania,
- zagrożenie tapaniami,
- zagrożenie metanowe,
- zagrożenie wybuchem pyłu węglowego,
- zagrożenie termiczne.

2.2. Analiza czynników naturalnych wpływających na rozwój mechanizacji

2.2.1. Grubość pokładu

Grubość pokładów węgla jest podstawowym parametrem determinującym wybór technologii eksploatacji. Minimalna miąższość pokładu, w myśl obowiązujących kryteriów bilansowości, powinna wynosić nie mniej niż 1,0 m. Ze względu na efektywność eksploatacji do zasobów przemysłowych zakwalifikowano pokłady o miąższości większej od 1,2 m. Po roku 2000 następowało sukcesywne zaniechanie wybierania pokładów o miąższości mniejszej niż 1,5 m. Zestawienie udziału zasobów przemysłowych, w odpowiednich przedziałach grubości pokładów (według stanu na 31.12.2005 r.), przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1

Udział zasobów przemysłowych według grubości pokładów

Grubość pokładu [m]	Zasoby przemysłowe			
	ogółem		na poziomach czynnych i w budowie	
	[mln t]	[%]	[mln t]	[%]
do 1,2	118,1	2,0	66,7	1,7
1,2–1,5	991,7	16,5	592,4	14,8
1,5–2,0	1390,3	23,1	937,1	23,4
2,0–3,5	2020,5	33,7	1327,9	33,1
3,5–4,5	531,2	8,8	348,8	8,7
powyżej 4,5	952,6	15,9	733,2	18,3
Razem:	6004,4	100,0	4006,1	100,0
źródło: według danych systemu IGZOP/M				

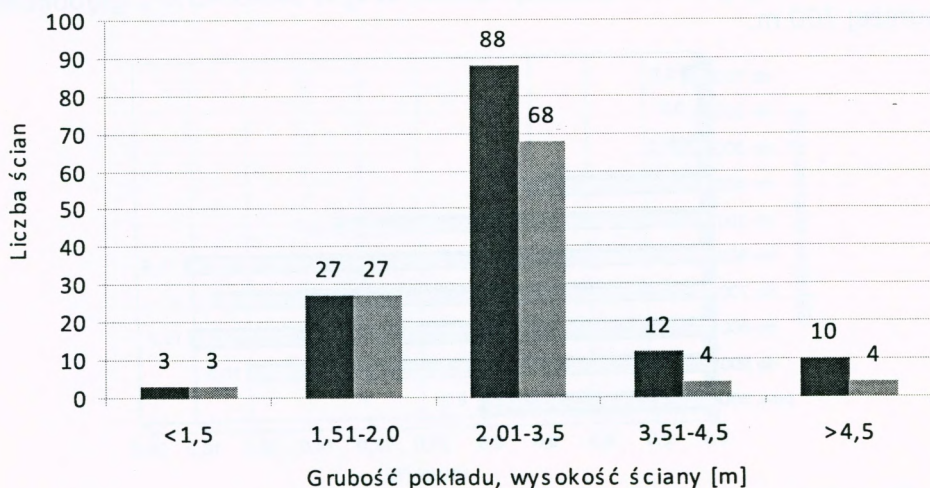
Wielkość wydobywania uzyskiwana z poszczególnych grup pokładów nie odpowiada jednak udziałowi ich zasobów w poszczególnych przedziałach grubości pokładu (według stanu na 09.2006 r.) (tabela 2.2).

Tabela 2.2

Udział wydobywania z poszczególnych przedziałów grubości pokładów i wysokości ściany

Grubość pokładu	Zasoby	Udział zasobów	Udział wydobywania według grubości pokładu	Udział wydobywania według wysokości ściany	Średnie wydobywanie ze ściany
[m]	[mln t]	[%]	[%]	[%]	[t/d]
do 1,5	659	16,5	1	1,0	1221
1,5–2,0	937	23,4	17	17,3	2550
2,0–3,5	1328	33,1	64	75,7	3213
3,5–4,5	349	8,7	10	6,0	3100
pow. 4,5	733	18,3	8	0,0	3125
Razem:	4006	100,0	100	100,0	2833
źródło: według danych KW S.A., JSW S.A. i KHW S.A.					

Powyższe dane wskazują wyraźnie występujące tendencje w przemyśle wydobywczym węgla kamiennego. Najlepsze wyniki w aspekcie koncentracji wydobywania uzyskuje się w przedziale wysokości ścian 2,0-3,5 m, z którego pochodzi ponad 75% wydobywania. Drugi przedział, w którym uzyskiwana jest wysoka koncentracja obejmuje wysokość ścian w zakresie 3,5-4,5 m. Jednakże z tego przedziału pochodzi tylko 6% wydobywania. Z powodu uzyskiwania niskiego wydobywania, pokłady cienkie o grubości do 1,5 m są prawie całkowicie wyeliminowane z produkcji, pomimo stosunkowo wysokiego udziału w bazie zasobowej, wynoszącego aż 16,5%. Stanowczo w zbyt małym stopniu wykorzystywana jest baza zasobowa z przedziału grubości 1,5-2,0 m oraz powyżej 4,5 m. Z analizy wykorzystania zasobów wynika także, że dalszy rozwój technologii powinien skoncentrować się na eksploatacji pokładów o grubości powyżej 3,5 m. Dowodzą tego dane przedstawione na rysunku 2.1. W pokładach grubości do 2,0 m wysokość ściany równa jest grubości pokładu. W przedziale grubości pokładu 2,0-3,5 m prowadzi się 88 ścian, z czego w 68 wysokość ściany jest równa grubości pokładu. Natomiast w grupie pokładów o grubości w zakresie od 3,5 m do 4,5 m, liczącej 12 ścian tylko 8 ma wysokość większą od 3,5 m. W grupie pokładów o miąższości większej niż 4,5 m na 10 ścian tylko 4 miały wysokość większą od 4,5 m. Świadczyć to może o ograniczeniach wynikających z konieczności ochrony powierzchni, ale także z niewykorzystania możliwości uzyskiwania wysokiej koncentracji wydobywania. Przykłady zagraniczne wskazują na możliwość prowadzenia ścian o wysokości do 6,0 m.



Rys.2.1. Liczba ścian w funkcji grubości pokładu oraz wysokości ścian według danych z KW S.A, JSW S.A, KHW S.A, wrzesień 2006 r.

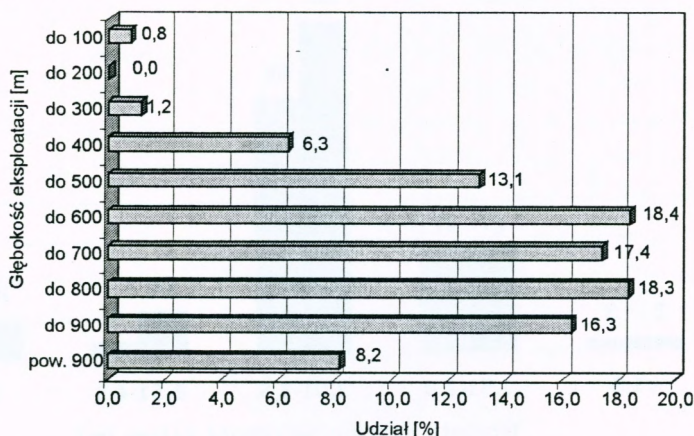
2.2.2. Nachylenie pokładu

Nachylenie pokładu ma zasadnicze znaczenie dla wszelkiego rodzaju robót górniczych, a przede wszystkim dla robót eksploatacyjnych. Aż 80% całkowitych zasobów operatywnych zalega poziomo, bądź przy niewielkim nachyleniu do 12° . Nieznaczny jest udział pokładów o nachyleniu powyżej 35° , a pokłady strome to jedynie 0,33% zasobów operatywnych.

Z przedstawionych danych wynika, że ponad 1,2 mld ton węgla, co stanowi 47,2% zasobów operatywnych (na poziomach czynnych i w budowie) zalega w korzystnych dla eksploatacji warunkach. Występują one w pokładach poziomych i słabo nachylonych o miąższości w zakresie 1,5-3,5 m. Znaczna część zasobów udostępnionych zalegających poziomo występuje w pokładach grubych, powyżej 3,5 m (21,2%). W zależności od nachylenia pokładu i jego grubości stosowane są systemy technologiczne oparte o rozwiązania mechanizacyjne, pozwalające na bezpieczne prowadzenie prac i uzyskiwanie korzystnych rezultatów produkcyjnych.

2.2.3. Głębokość zalegania pokładu

Ze względu na sukcesywne szczyptywanie zasobów obserwuje się stały przyrost średniej głębokości eksploatacji z 527 m w 1990 roku do 653 m w 2004 r. Udział wydobywania z poszczególnych głębokości zalegania jest zróżnicowany, przy czym zwiększa się udział wydobywania z coraz większych głębokości (rys. 2.2). W roku 2006 92% wydobywania pochodziło z głębokości poniżej 400 m, w tym około 43% z głębokości poniżej 700 m.



Rys.2.2. Udział wydobywania w przedziałach głębokości zalegania pokładów według danych z września 2006 r.

Powoduje to pogorszenie warunków objawiających się wzrostem ciśnienia górotworu, mających bezpośredni wpływ na utrzymanie stropu oraz na stan naprężenia w górotworze, co może skutkować wstrząsami wysokoenergetycznymi. Poza tym wzrost głębokości skutkuje wzrostem temperatury górotworu, co przekłada się bezpośrednio na temperaturę powietrza, stwarzając zagrożenie klimatyczne.

2.2.4. Geometria pól ścianowych

Kolejnym czynnikiem utrudniającym w znaczącym stopniu produkcję, a wynikającym z tektoniki, granic pól eksploatacyjnych, zaszłości eksploatacyjnych i warunków technicznych, są możliwe do uzyskania wymiary pola ścianowego o regularnym kształcie, w tym wybieg ściany. We wrześniu 2006 roku wybiegi do 500 m występowały w przypadku 33% ścian, w zakresie 500÷1000 m w 41% ścian, a udział ścian o wybiegu w przedziale od 1000 do 1500 m wynosił 22%. Wybiegi powyżej 1500 m udało się uzyskać jedynie w przypadku 4% ścian. Podane dane odnoszą się do stanu zastanego. Tym niemniej sytuacja ta może ulec jeszcze pogorszeniu. Stąd można przyjąć, że około 75% ścian ma wybiegi poniżej 1000 m, w tym 33% poniżej 500 m, co niestety prowadzić musi do częstych alokacji ścianowych systemów mechanizacyjnych.

2.2.5. Zasoby zalegające w niekorzystnych warunkach eksploatacyjnych

Analizując charakterystykę zasobów można wyodrębnić obszary, w których występują utrudnienia wpływające negatywnie na skuteczną, bezpieczną i efektywną eksploatację. Obszary te wyznaczają następujące czynniki związane z zaleganiem:

- w pokładach o grubości poniżej 1,5 m,
- w różnego rodzaju filarach ochronnych,
- w pokładach o II i III stopniu zagrożenia tąpnięciami,
- w pokładach o III i IV kategorii zagrożenia metanowego,
- w podkładach o temperaturze górotworu powyżej 28°.

Są to czynniki związane z warunkami naturalnymi, które występują prawie w każdej kopalni równocześnie, stwarzając utrudnienia w bezpiecznym, a jednocześnie efektywnym prowadzeniu przodków ścianowych. Przy rezygnacji z prowadzenia eksploatacji w pokładach cienkich oraz w filarach ochronnych, jak to dzieje się obecnie, zasoby zmniejszą się o dalsze 30-40%. Stąd należy prowadzić prace naukowe i badawczo-rozwojowe, umożliwiające prowadzenie skutecznej i bezpiecznej eksploatacji w wymienionych powyżej obszarach.

Ze względu na ograniczoną bazę udostępnionych zasobów, trzeba będzie wykorzystywać także zasoby zalegające w tych niekorzystnych warunkach naturalnych i doprowadzić, w miarę możliwości, do zrównoważonego szczyrpywania zasobów.

W tabeli 2.3 podano kategorie zagrożenia lub ograniczenia, udział procentowy zasobów oraz przeliczone zasoby przemysłowe w mln ton. Dane te charakteryzują obszary, stanowiące utrudnienia w stosowaniu istniejących technik mechanizacyjnych.

Tabela 2.3

Udział zasobów zalegających w warunkach zagrożeń

Lp.	Zagrożenie lub ograniczenie	Stopień, kategoria	Udział zasobów [%]	Zasoby [mln ton]
1	Cienkie pokłady	II i III III IV kat > 28°	16,5	660
2	Tapania		16,0	600
3	Metan		25,0	1000
4	Temperatura		29,0	1160
5	Filary ochronne		25,0	1000
źródło: według KW S.A, JSW S.A i KHW S.A, wrzesień 2006 r.				

2.3. Analiza warunków eksploatacyjnych

W podrozdziałach 2.3.1 do 2.3.6 scharakteryzowano czynniki naturalne i techniczne, mające wpływ na utrudnienia prowadzenia eksploatacji, które uwzględniono w tworzeniu scenariuszy rozwoju systemów mechanicznych w polskich kopalniach węgla kamiennego.

2.3.1. Wybieranie pokładów cienkich

Ograniczenie pozyskiwania węgla z pokładów cienkich wynika z niskiej efektywności produkcji. Rozwój urządzeń do eksploatacji cienkich pokładów nie nadąża za potrzebami, gdyż uzyskanie w nich wysokiej koncentracji produkcji stwarza nieporównanie większe problemy techniczne, aniżeli w pokładach o większej grubości. Warto podkreślić, że uzyskiwanie wysokiej koncentracji w pokładach cienkich wymaga szczególnego rozcięcia złoża. W górnictwie światowym stosuje się długości ścian w zakresie od 300 m do 350 m oraz wybiegi o długości około 2000 m. W Polsce przepisy, wynikające ze względów bezpieczeństwa, ograniczają długość ściany w pokładach cienkich do 250 m. Te wymagania mogą powodować straty w złożu dochodzące nawet do 75%. Wielkość wydobywania zależy praktycznie od dobowego postępu przodka. Z prędkością frontu ścianowego wiąże się również problem częstości alokacji kompleksu z jednego przodka do drugiego, co wymaga szczególnych

rozwiązań logistycznych, minimalizujących czas alokacji. Często prowadzi się wybieranie pokładów o grubości poniżej 1,5 m ścianami o wysokości 1,5 m i większej, co powoduje konieczność przybierki stropu, a w konsekwencji zanieczyszczenie urobku skałą płoną. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że stosunek grubości pokładu do wysokości przodka ścianowego, nie powinien być mniejszy od 0,7 [45].

Analizując czynniki techniczne eksploatacji cienkich pokładów nie można pominąć problemu przewietrzania ściany. Pole przekroju poprzecznego wyrobiska zmniejszone jest poprzez częściowe jego przesłonięcie zastosowanymi maszynami i urządzeniami, takimi jak: sekcje obudowy zmechanizowanej, przenośnik ścianowy, kombajn lub strug. Rzutuje to na ilość przepływającego powietrza, którego wymagana ilość zależy od wydajności urabiania, w połączeniu z metanowością pokładu. Metanowość pokładu szczególnie mocno ogranicza wydobycie, gdyż wymaga znacznej ilości powietrza niezbędnej dla odprowadzenia gazu [41].

Wydajną pracę w pokładach cienkich, ograniczają utrudnienia w poruszaniu się ludzi w przodku ścianowym. Normy europejskie dokładnie precyzują wymiary ścieżki, która stanowi przejście dla człowieka. Jej szerokość powinna wynosić 600 mm, a wysokość 400 mm. Należy przy tym zaznaczyć, że zapewnienie minimalnych wartości wymiarów ścieżki nie pozwala na swobodne poruszanie się kombajnistów i operatorów sekcji obudowy. Biorąc pod uwagę proponowane uwarunkowania, jak również gabaryty maszyn i urządzeń, w górnictwie polskim przyjmuje się, z ergonomicznego punktu widzenia, minimalną wysokość ściany 1,6 m.

Porównanie wielkości wydobywania z poszczególnych przedziałów grubości pokładów wykazało, że udział wydobywania z pokładów cienkich jest nieznaczny w stosunku do udziału tych pokładów w zasobach. W tym przedziale grubości pokładów zalega aż 660 mln ton węgla. Część kopalń posiadających znaczne zasoby w pokładach cienkich, nie prowadzi w nich eksploatacji. Jako przykład można podać LW Bogdanka S.A., która posiada 36,8% zasobów przemysłowych w pokładach o grubości poniżej 1,5 m. Dotychczas kopalnie podejmowały eksploatację pokładów o grubości do 1,5 m jedynie w przypadkach koniecznych, wynikających ze względów bezpieczeństwa lub gdy nie posiadają innych pokładów.

Podjęcie, ze względów ekonomicznych i ergonomicznych, eksploatacji pokładów cienkich będzie wymagało reorientacji działania w kierunku stosowania kompleksów mechanizacyjnych bez udziału ludzi w przodku, co może być osiągnięte poprzez pełną automatyzację procesu produkcyjnego.

2.3.2. Wybieranie węgla w filarach ochronnych

Zasoby znajdujące się w filarach ochronnych stanowią około 25% ogółu zasobów, co w przeliczeniu daje około 1 mld ton. Znaczna ich część może i powinna być wykorzystana. Duże znaczenie dla wielkości zasobów możliwych do wydobywania mają ograniczenia wynikające z obowiązku ochrony środowiska, w tym infrastruktury przemysłowej. Na zasoby te składają się pokłady zalegające pod obiektami, takimi jak: autostrady, obiekty budowlane likwidowanych kopalń, czy wokół likwidowanych szybów. Głównym powodem zaniechania wybierania różnego rodzaju filarów jest wzrost kosztów wydobywania w przypadku konieczności stosowania podsadzki hydraulicznej lub suchej, względnie zastosowania innych niż ścianowe systemów eksploatacji [48].

W dziewięciu kopalniach udział zasobów węgla w filarach ochronnych przekracza 50% udostępnionych zasobów przemysłowych. Największy udział zasobów przemysłowych w obrębie filarów na poziomach czynnych i będących w budowie występuje w KWK Pokój (96%) i KWK Polska-Wirek (88%). Znaczne ilości zasobów przemysłowych, zlokalizowanych w filarach występują także w kopalniach Halemba i Bielszowice, które wynoszą odpowiednio 53% i 66%. Niewielkie ilości zasobów w filarach znajdują się ponadto w KWK Bolesław Śmiały, KWK Rydułtowy-Anna, KWK Murcki, KWK Borynia oraz KWK Krupiński. Wydobywanie węgla w filarach wymaga dodatkowo uzyskania zgody władz samorządowych.

Bez stosowania specjalnych systemów eksploatacji, w tym podsadzki hydraulicznej lub suchej, wybranie filarów będzie niemożliwe. Obszar filarów ochronnych z pewnością wzrośnie ze względu na nowe inwestycje, zawarte w perspektywnych programach zagospodarowania powierzchni. Chodzi tu przede wszystkim o autostradę A-4 i projektowaną A-1, przechodzące przez obszary górnicze kopalń.

Z przedstawionych danych wynika, że zajdzie pilna potrzeba wprowadzenia na szerszą skalę podsadzania wybranej przestrzeni, zwłaszcza w kopalniach, na obszarach górniczych których projektowane są autostrady. Może to spowodować utratę nawet ponad 50% zasobów przemysłowych.

Podsadzka hydrauliczna jest polskim wynalazkiem. Pozwalała przez wiele lat eksploatować pokłady zalegające pod obiektami chronionymi na powierzchni. Dzięki jej stosowaniu wybrane zostały między innymi grube pokłady pod śródmieściem Katowic. W końcu 2006 roku w polskich kopalniach eksploatowanych było tylko 10 ścian z podsadzką hydrauliczną. Warto nadmienić, że w latach dziewięćdziesiątych udział

ten wynosił jeszcze 12%, a w latach siedemdziesiątych nawet 50%. Średnie wydobywanie ze ściany z podszadką hydrauliczną wynosi około 2500 t/d. A zatem wyniki produkcyjne odbiegają znacząco od średniej uzyskiwanej w przemyśle węglowym, zaś koszt wydobywania jest wyższy o około 30% od średniego kosztu pozyskiwania węgla. Należy zatem dalej rozwijać tę technologię, przystosowując ją do wymogów koncentracji produkcji. Może to być o tyle łatwiejsze, że bazą takiego rozwiązania jest system technologiczny stosowany w ścianach prowadzonych bez utrudnień [39].

Pojawiają się także projekty zastosowania w filarach ochronnych systemów zabierkowych, z wykorzystaniem w systemie filarowo-komorowym /room and pillar/ kombajnów continuous miner. Systemy takie stosowane są z dużym powodzeniem i na szeroką skalę, przede wszystkim w USA, Australii i Południowej Afryce. Aktualnie około 45% wydobywania z kopalń podziemnych w USA pochodzi z tych systemów, a w Australii i w Południowej Afryce odpowiednio 15% oraz około 50%. Systemy te stosowane są także w Indiach, a także wprowadzane są w Rosji i w Chinach.

Ze względu na niekorzystne, z punktu widzenia eksploatacji, kształty i wymiary parcel przeznaczonych do wybierania, w pewnych przypadkach celowym będzie zastosowanie krótkich ścian. System będzie łatwiejszy do zastosowania w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego, ze względu na możliwość wykorzystania maszyn i urządzeń ścianowych przystosowanych do lokalnych warunków. System ten jest stosowany w warunkach przemysłowych Australii i Południowej Afryki, a w Polsce podjęto pierwsze próby jego wykorzystania.

Zastosowanie innych, poza ścianowym, systemów eksploatacji wymagać będzie uzyskania wyników produkcyjnych jednostkowych punktów wybierania, jak i struktur wieloprzodkowych dorównujących, pod względem efektywności systemom ścianowym, przy zapewnieniu bezpieczeństwa produkcji. Wydaje się, że na tle dotychczasowych doświadczeń światowych nie będzie to łatwe.

2.3.3. Wybieranie pokładów zagrożonych tąpnięciami

Polski przemysł węglowy eksploatuje w coraz większym stopniu pokłady zagrożone tąpnięciami. W pokładach o II i III stopniu zagrożenia zalega około 600 mln ton węgla, co stanowi ponad 16% zasobów przemysłowych. Ich eksploatacja wymaga stosowania, w szerokim zakresie, profilaktyki przeciwtańpniowej. W aspekcie uzyskania koncentracji wydobywania, szczególnie niekorzystne jest prowadzenie eksploatacji w po-

kładach III stopnia zagrożenia tąpnięciami, gdyż obowiązują w nim ostre rygory, ograniczające między innymi postęp przodka ścianowego. Rzuca to bezpośrednio na wielkość wydobywania ze ścian. Z badań statystycznych wynika, że z przodków ścianowych z III stopniem zagrożenia tąpnięciami uzyskuje się wydobywanie mniejsze o 30% w stosunku do wartości średniej dla wszystkich ścian, zaś w stosunku do przodków niezagrażonych tąpnięciami o około 50% [39].

W ostatnim dziesięcioleciu liczba wstrząsów górotworu o energii powyżej 10^5 J wzrosła blisko trzykrotnie. Wzrost aktywności sejsmicznej górotworu na szczęście nie skutkuje wzrostem liczby tąpnięć, co jest wynikiem stosowania skutecznych metod profilaktycznych. Obniżają one jednak efektywność eksploatacji. Obecnie stosuje się dwa podstawowe działania w zakresie profilaktyki przeciwtąpniowej, oparte są o pomiar liczby i energii wstrząsów górotworu, wykorzystywanych do prognozowania stanu naprężenia w górotworze. Poza odpowiednim planowaniem robót eksploatacyjnych, mających na celu ograniczanie do minimum generowanie wstrząsów, profilaktyka obejmuje działania zmierzające do rozładowania naprężeń w górotworze. Najprostszą metodą jest ograniczanie postępu dobowego frontu ścianowego. Drugą, bardziej pracochłonną i wymagającą odpowiedniego sprzętu, jest rozładowanie naprężeń za pomocą dezintegracji górotworu. Dezintegrację uzyskuje się poprzez wykonywanie strzelań z użyciem materiałów wybuchowych lub szczelinowanie, poprzez wtłaczanie wody pod wysokim ciśnieniem.

W niektórych kopalniach, mimo wysokiego stopnia zagrożenia wstrząsami górotworu, osiąga się korzystne wskaźniki koncentracji wydobywania z przodków ścianowych. Świadczy to o możliwości zwiększenia potencjału produkcyjnego dzięki stosowaniu rozwiązań, które pozwalają w sprzyjających warunkach na uzyskiwanie wysokiej koncentracji. Jednakże stosowanie metod profilaktyki tąpniowej w szerokiej skali nie gwarantuje wyraźnego wzrostu wydobywania. Zwiększenie efektywności eksploatacji w pokładach tąpniących wymagać będzie aktywnej profilaktyki przeciwtąpniowej. Mimo zarysowanych trudności system ścianowy będzie najbezpieczniejszym systemem eksploatacji pokładów tąpniących. W tych warunkach stosowane są obecnie systemy mechanizacyjne takie jak w warunkach bez tąpnięć. Rozwiązanie problemu leży zatem poza mechanizacją procesów wydobywczych, za wyjątkiem skrajnie zagrożonych pokładów, które ze względów górniczych będą musiały być wybrane, kompleksem mechanizacyjnym w pełni zautomatyzowanym. Będzie to jednak rozwiązanie bardzo kosztowne.

2.3.4. Wybieranie pokładów metanowych

Kolejnym poważnym ograniczeniem wzrostu koncentracji wydobywania z przodka ścianowego jest występowanie metanu. W Polsce około 70% wydobywania pochodzi z pokładów metanowych. W roku 2004 spośród 34 kopalń metanowych w 23 stosowano odmetanowanie, które umożliwia bezpieczną i efektywną eksploatację, a także uzyskanie wysokiej koncentracji wydobywania. W pozostałych wystarczało stosowanie metod wentylacyjnych [29]. Odmetanowanie złoży odbywa się za pomocą otworów drenażowych zarurowanych, a następnie metan odprowadzany jest na powierzchnię poprzez sieć rurociągów. Do odmetanowania wykorzystywane są także istniejące, względnie nowo drążone wyrobiska korytarzowe lub inne.

Wskutek wyżej wymienionych działań utylizuje się tylko 1/3 pozyskiwanego metanu. Warto nadmienić, że we wrześniu 2006 roku średnie wydobywanie z przodka ścianowego prowadzonego w pokładzie III i IV kategorii zagrożenia metanowego było o około 15% niższe od uzyskiwanego w pokładach nie metanowych i nie tąpniętych, lecz o 30% wyższe od średniego wydobywania ze ścian w pokładach tąpniętych. Świadczy to o tym, że zagrożenie metanowe w mniejszym stopniu ogranicza uzyskanie wysokiej koncentracji wydobywania. Wymagane są jednak dalsze działania w kierunku zwiększenia bezpieczeństwa w ścianie. Utrzymanie trendu wzrostu koncentracji wydobywania pociąga za sobą konieczność dalszego uintensywniania odmetanowania poprzez istniejące sieci oraz budowę nowych. Opłacalność tego procesu, poza wzrostem bezpieczeństwa pracy, może być oceniana w aspekcie szerszego wykorzystania metanu dla celów przemysłowych czy gospodarczych [39].

Ważnym elementem bezpiecznej eksploatacji jest system kontroli i zabezpieczeń, który w sposób automatyczny wyłącza urządzenia elektryczne po przekroczeniu dopuszczalnego stężenia metanu. Nie można jednak pominąć faktu, że przy rozszerzającej się eksploatacji podziemnej, warunki pracy w kopalniach metanowych stają się coraz trudniejsze i zdaniem specjalistów z tego zakresu wymagać będą nowych rozwiązań techniczno-organizacyjnych [29].

2.3.5. Wybieranie w warunkach zagrożenia klimatycznego

Problem zagrożenia klimatycznego w naszym przemyśle jest monitorowany i w miarę możliwości na bieżąco rozwiązywany. Liczba wyrobisk o podwyższonej temperaturze wynosiła w 2005 roku 189 i ciągle wzrasta.

Wysoka temperatura w wyrobiskach podziemnych utrudnia warunki i organizację pracy (skracać czas pracy). Temperatura powietrza zależy od: głębokości eksploatacji, temperatury skał, intensywności przewietrzania, zainstalowanej mocy urządzeń elektrycznych, będących generatorami ciepła oraz wielkości potencjału chłodniczego. Zagrożenie to może być zatem skutecznie eliminowane i w znaczącym stopniu nie powinno wpływać na wielkość uzyskiwanego wydobywania. Wzrost temperatury w wyrobiskach jest nieunikniony w związku z coraz większą głębokością eksploatacji. Istnieją wszakże urządzenia schładzające powietrze doprowadzane do przodków, zarówno ścianowych, jak i korytarzowych, z możliwością wykorzystania metanu do wytworzenia mocy chłodniczej. Ilością i wydajnością tych urządzeń można regulować poziom temperatury, aby był zgodny z przepisami. Całkowita moc urządzeń chłodniczych zainstalowanych w naszych kopalniach wynosiła w 2005 roku 51855 kW.

Warto mieć również na uwadze fakt, że stosowanie coraz szerzej urządzeń schładzających powietrze pociąga za sobą wzrost zużycia energii elektrycznej, a co za tym idzie wzrost kosztów. Jest to jednak działanie konieczne przy wydobywaniu węgla z coraz głębszych poziomów.

Opisane utrudnienia związane z uzyskiwaniem wymaganej wielkości wydobywania wskazują na konieczność poprawy metod bezpiecznego prowadzenia robót, głównie w zakresie technologii górniczych. Rozwiązania ścianowych systemów mechanizacyjnych powinny być doskonalone w celu zwiększenia bezpieczeństwa przy zapewnieniu uzyskania wysokiej koncentracji produkcji. Od rozwiązania tych problemów zależeć będzie dalszy rozwój naszego przemysłu węglowego.

3. OCENA INNOWACYJNOŚCI SYSTEMÓW MECHANIZACYJNYCH

Marek Jaszczuk, Jan Kania

Ocena innowacyjności systemów mechanizacyjnych została przeprowadzona w aspekcie opracowania scenariuszy rozwoju technologicznego górnictwa węgla kamiennego w Polsce do roku 2020 oraz wytyczenia kierunków badań służących rozwojowi tych technik [9, 35].

W celu zapewnienia najwyższego poziomu obiektywizmu, po wnikliwej i szczegółowej analizie poszczególnych metod, wybrano Analizę Hierarchiczną Problemu (AHP) [34], która należy do metod oceny grupowej wielokryterialnej z oceną istotności kryteriów. Wybrana metoda pozwala na dokonywanie obiektywnej oceny w przypadku wielokryterialnych problemów decyzyjnych poprzez dokonanie serii porównań parami, dokonywanych przez ekspertów, co w efekcie prowadzi do liczbowej miary ważności analizowanych elementów.

Analiza problemu decyzyjnego metodą AHP odbywa się w czterech etapach:

- 1) Opracowanie hierarchicznej reprezentacji problemu w oparciu o przyjętą wielopoziomową strukturę oceny.
- 2) Wygenerowanie ocen na podstawie wzajemnego porównania kryteriów głównych, częściowych i wariantów technologii.
- 3) Wyznaczenie priorytetów częściowych i globalnych.
- 4) Klasyfikacja obiektów ze względu na ich istotność w kontekście przyjętego celu nadrzędnego.

W odniesieniu do rozważanej problematyki na najwyższym poziomie piramidy hierarchicznej znajduje się cel nadrzędny, którym jest ocena innowacyjności systemów mechanizacyjnych. Na każdym kolejnym poziomie hierarchicznym wzrasta poziom szczegółowości składowych, a podstawę piramidy na poziomie najniższym stanowią rozważane technologie. Poziomy pośrednie stanowią kryteria decyzyjne lub inne czynniki wpływające na stopień realizacji celu nadrzędnego lub ocenę poszczególnych wariantów technologii. Liczba poziomów pośrednich zależy od złożoności problemu.

W przypadku analizowanego problemu hierarchizacji systemów mechanizacyjnych czynnikami głównymi są następujące kryteria ogólne, które zostały przyjęte dla oceny wszystkich grup technologii górniczych [8]:

- I. Kryterium obecnego poziomu technicznego.

- II. Kryterium skuteczności technologii w odniesieniu do warunków zewnętrznych.
- III. Kryterium uniwersalności technologii w odniesieniu do warunków użytkowania i kompatybilności z innymi środkami technicznymi.
- IV. Kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko uwzględniające wpływ bezpośredni.
- V. Kryterium bezpieczeństwa rozpatrywanego w aspekcie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego związanego z użytkowaniem maszyn i urządzeń ścianowych.

Na potrzeby przeprowadzonej analizy zaproponowano następujący zakres kryteriów szczegółowych, które stanowią rozwinięcie przyjętych kryteriów ogólnych [13]:

Subkryteria związane z kryterium obecnego poziomu technicznego (I)

- I-1 - Możliwość monitorowania parametrów pracy maszyn.
- I-2 - Możliwość monitorowania parametrów środowiska górniczego.
- I-3 - Zastosowanie rozwiązań z zakresu zaawansowanych technologii.
- I-4 - Łatwa i szybka diagnostyka uszkodzeń.
- I-5 - Łatwość obsługi technicznej.

Subkryteria związane z kryterium skuteczności technologii w odniesieniu do warunków zewnętrznych (II)

- II-1 - Brak ograniczenia zakresu stosowania (parametry geometryczne wyrobiska, nachylenie, zmienność zalegania pokładu, urabialność kopaliny lub skał) odniesione do potrzeb wynikających z celu technicznego.
- II-2 - Skuteczność w realizacji celu technicznego (uzyskanie założonego wydobywania, założonego udziału poszczególnych klas ziarnowych lub postępu).
- II-3 - Nakłady inwestycyjne związane z zakupem wyposażenia technicznego i przygotowaniem do eksploatacji.
- II-4 - Minimalizacja kosztu jednostkowego odniesionego do tony pozyskanego węgla lub uzyskanego postępu.
- II-5 - Poprawa czystości wybierania złoże.
- II-6 - Możliwość wybierania nieforemnych resztek pokładów i/lub filarów ochronnych.

Subkryteria związane z kryterium uniwersalności technologii w odniesieniu do warunków użytkowania i kompatybilności z innymi środkami technicznymi (III)

- III-1 - Możliwość dostosowania do zmiennych warunków geologiczno-górnich.
- III-2 - Możliwość użytkowania w warunkach zagrożeń naturalnych.

III-3 - Kompatybilność funkcjonalna i wydajnościowa.

III-4 - Możliwość sterowania automatycznego lub zdalnego.

III-5 - Kompatybilność systemów sterowania.

Subkryteria związane z kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko (IV)

IV-1 - Możliwość prowadzenia selektywnego urabiania.

IV-2 - Możliwość lokowania skały płonnej w zrobach prowadzonych wyrobisk.

IV-3 - Minimalizacja stopnia zanieczyszczenia urobku.

IV-4 - Minimalizacja wpływu na powierzchnię.

IV-5 - Zużycie wody w procesie produkcyjnym.

Subkryteria związane z kryterium bezpieczeństwa rozpatrywanego w aspekcie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego związanego z użytkowaniem maszyn i urządzeń ścianowych (V)

V-1 - Zapewnienie bezpieczeństwa stanowiskowego związanego z możliwością wycofania operatorów ze strefy zagrożenia.

V-2 - Zapewnienie bezpieczeństwa poprzez możliwość wykorzystania parametrów opisujących stan środowiska górniczego do sterowania przebiegiem procesu technologicznego.

V-3 - Uzyskanie wysokiej dyspozycyjności ciągu technologicznego.

V-4 - Spełnienie wymogów ergonomicznych w procesie użytkowania wyposażenia technicznego.

V-5 - Spełnienie wymogów ergonomicznych w trakcie prowadzenia obsługi wyposażenia technicznego.

W zależności od ocenianych systemów mechanizacyjnych dobierano te subkryteria, które odpowiadały specyfice danego systemu lub środka technicznego. W celu dokonania porównania poszczególnych elementów zdefiniowanej struktury hierarchicznej problemu, zgodnie z przyjętą procedurą metody AHP opracowano ankietę, którą przekazano ekspertom oceniającym innowacyjność wybranych wariantów technologii.

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki ankiety dotyczącej ścianowych systemów mechanizacyjnych stosowanych w pokładach poziomych i słabo nachylonych [10, 12]. Ze względu na złożoność problemu i wymagany zasób wiedzy ankietę przeprowadzono z reprezentatywnym doбором oceniających. Grupa oceniających składała się z 9 osób wyłonionych z obecnie zatrudnionych w górnictwie, pracowników jednostek badawczo-rozwojowych, pracowników uczelni wyższej oraz byłych pracowników kopalń węgla kamiennego, mających duży zasób wiedzy w odniesieniu do problematyki mechanizacji i automatyzacji górnictwa,

a także bogate doświadczenie w tym zakresie [12]. Eksperci otrzymali ankiety składające się z 32 tabel służących do:

- porównania kryteriów głównych w stosunku do celu nadrzędnego (szt. 1),
- porównania kryteriów szczegółowych w stosunku do kryteriów głównych (szt. 5),
- porównania przyjętych do analizy wariantów systemów mechanizacyjnych w stosunku do kryteriów szczegółowych (szt. 26).

Przed wypełnieniem ankiety wszyscy oceniający zostali zapoznani z celem projektu, metodą Analizy Hierarchicznej Problemu (AHP) oraz sposobem wypełnienia poszczególnych tabel. Po wypełnieniu ankiet została przeprowadzona weryfikacja poprawności poprzez sprawdzenie wymaganej zgodności ocen. W tym celu na podstawie wypełnionych przez ekspertów tabel utworzono macierze o wymiarach $N \times N$ (gdzie N było równe odpowiednio 5 lub 6 i oznaczało liczbę porównywanych czynników na danym poziomie). Następnie przeprowadzono normalizację macierzy i dla każdej macierzy porównań wyznaczono współczynnik niespójności C.I. Ze względu na fakt, że w większości ankiet wymaganą zgodność ocen uzyskano w odniesieniu do 29-52% tabel, odstąpiono od dokonania powtórnej oceny przez tego samego eksperta czynników, dla których macierze nie spełniają warunku wiarygodności. Zdecydowano się na ustalenie ocen preferencji metodą seminaryjną. Dzięki temu powstała wspólna ocena ustalona w drodze konsensusu. Na podstawie wyników oceny dokonano hierarchizacji ścianowych systemów mechanizacyjnych w aspekcie innowacyjności.

Porównanie kryteriów ogólnych w stosunku do celu nadrzędnego

Wyniki oceny kryteriów ogólnych w stosunku do celu nadrzędnego w postaci wartości priorytetów cząstkowych, stanowiących wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów przedstawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1 [13]

Wartości priorytetów cząstkowych, stanowiących wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów głównych

Kryterium skuteczności technologii w odniesieniu do warunków zewnętrznych	0,36
Kryterium bezpieczeństwa	0,36
Kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko	0,15
Kryterium uniwersalności technologii	0,09
Kryterium obecnego poziomu technicznego	0,04

Z powyższego zestawienia wynika, że w przypadku ścianowych systemów mechanizacyjnych najważniejsze są kryteria skuteczności i bezpieczeństwa, które decydują o możliwości efektywnego pozyskania węgla, przy zapewnieniu bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego. Kolejnym pod względem ważności jest kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko, a następnie kryterium uniwersalności technologii związane z możliwością stosowania wyposażenia technicznego w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górnictwowych i w różnych systemach eksploatacji. Najmniej istotne okazało się kryterium obecnego poziomu technicznego, które bezpośrednio dotyczy problematyki innowacyjności i związane jest z zastosowaniem zaawansowanych technologii. Zatem innowacyjność w przedstawionym aspekcie jest związana przede wszystkim z efektywnością i bezpieczeństwem. Wynika to przede wszystkim z uwarunkowań prowadzenia eksploatacji w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego, a także z przyjętym dla wszystkich grup technologii zestawem kryteriów głównych.

Porównania kryteriów szczegółowych związanych z poszczególnymi kryteriami ogólnymi

I - Kryterium obecnego poziomu technicznego

Uzyskane wartości priorytetów cząstkowych poszczególnych kryteriów szczegółowych w aspekcie kryterium obecnego poziomu technicznego ścianowych systemów mechanizacyjnych przedstawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2

Wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów szczegółowych w aspekcie kryterium obecnego poziomu technicznego I

Zastosowanie rozwiązań z zakresu zaawansowanych technologii I-3	0,59
Łatwa i szybka diagnostyka uszkodzeń I-4	0,19
Możliwość monitorowania parametrów pracy maszyn I-1	0,07
Możliwość monitorowania parametrów środowiska górniczego I-2	0,07
Łatwość obsługi technicznej I-5	0,07

Z powyższego zestawienia wynika, że w aspekcie obecnego poziomu technicznego najważniejsze jest subkryterium związane z zastosowaniem zaawansowanych technologii, a następnie związane z łatwą i szybką diagnostyką uszkodzeń. Pozostałe subkryteria okazały się zdecydowanie mniej istotne. Ocena ta może wynikać z braku właściwego wykorzystania istniejących systemów monitorowania parametrów pracy maszyn i urządzeń do oceny ich stanu obciążenia, czy też do oceny prawidłowości ich doboru do warunków geologiczno-górnictwowych. Pewna

niespójność wystąpiła także w stosunku do wysoko sklasyfikowanego głównego kryterium bezpieczeństwa. W przypadku prowadzenia eksploatacji w warunkach zagrożeń naturalnych możliwość monitorowania parametrów środowiska górniczego jest bardzo istotnym czynnikiem w zarządzaniu bezpieczeństwem [12].

II - Kryterium skuteczności technologii w odniesieniu do warunków zewnętrznych

Wyniki oceny kryteriów szczegółowych w stosunku do kryterium skuteczności technologii w odniesieniu do warunków zewnętrznych przedstawiono w tabeli 3.3.

Tabela 3.3

Wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów szczegółowych w aspekcie kryterium skuteczności technologii II

Skuteczność w realizacji celu technicznego II-2	0,45
Minimalizacja kosztu jednostkowego odniesionego do tony pozyskanego węgla II-4	0,20
Nakłady inwestycyjne związane z zakupem wyposażenia technicznego i przygotowaniem do eksploatacji II-3	0,16
Poprawa czystości wybierania złoża II-5	0,11
Brak ograniczenia zakresu stosowania w odniesieniu do potrzeb wynikających z celu technicznego II-1	0,04
Możliwość wybierania nieforemnych resztek pokładów i/lub filarów ochronnych II-6	0,04

Z powyższego zestawienia wynika, że najważniejsze jest subkryterium dotyczące skuteczności realizacji celu technicznego związane z uzyskaniem założonego wydobywania lub założonego udziału poszczególnych klas ziarnowych, a dopiero w następnej kolejności kryteria uwzględniające aspekt ekonomiczny: minimalizacji kosztu jednostkowego odniesionego do tony pozyskanego węgla oraz nakładów inwestycyjnych związanymi z zakupem wyposażenia technicznego i przygotowaniem do eksploatacji pola ścianowego. Dwa subkryteria: brak ograniczenia zakresu stosowania (parametry geometryczne wyrobiska, nachylenie, zmienność zalegania pokładu, urabialność kopaliny lub skał) odniesione do potrzeb wynikających z celu technicznego oraz możliwość wybierania nieforemnych resztek pokładów i/lub filarów ochronnych okazały się najmniej istotne [15].

III - Kryterium uniwersalności technologii w odniesieniu do warunków użytkowania i kompatybilności z innymi środkami technicznymi

Wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów szczegółowych w aspekcie kryterium uniwersalności technologii w odniesieniu do warunków użytkowania i kompatybilności z innymi środkami technicznymi przedstawiono w tabeli 3.4.

Tabela 3.4

Wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów szczegółowych w aspekcie kryterium uniwersalności technologii III

Możliwość użytkowania w warunkach zagrożeń naturalnych III-2	0,47
Kompatybilność funkcjonalna i wydajnościowa III-3	0,21
Kompatybilność systemów sterowania III-5	0,21
Możliwość dostosowania do zmiennych warunków geologiczno-górnich III-1	0,05
Możliwość sterowania automatycznego lub zdalnego III-4	0,05

Przedstawione dane dowodzą, że najważniejsze jest subkryterium dotyczące możliwości użytkowania w warunkach zagrożeń naturalnych. Dwa kolejne subkryteria: kompatybilność funkcjonalna i wydajnościowa oraz kompatybilność systemów sterowania są jednakowo ważne, a dwa pozostałe: możliwość dostosowania do zmiennych warunków geologiczno-górnich i możliwość sterowania automatycznego lub zdalnego okazały się najmniej istotne.

IV - Kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko

Wyniki oceny kryteriów szczegółowych w stosunku do kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko przedstawiono w tabeli 3.5. Tak jak w przypadku poprzednich kryteriów subkryteria zostały uszeregowane w kolejności wynikającej z uzyskanych wartości priorytetów cząstkowych.

Tabela 3.5

Wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów szczegółowych w aspekcie kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko IV

Minimalizacja stopnia zanieczyszczenia urobku IV- 3	0,50
Zużycie wody w procesie produkcyjnym IV-5	0,25
Możliwość lokowania skały płonnej w zrobach prowadzonych wyrobisk IV-2	0,11
Minimalizacja wpływu na powierzchnię IV-4	0,11
Możliwość prowadzenia selektywnego urabiania IV-1	0,05

Z przedstawionego zestawienia wynika, że najważniejsze jest subkryterium związane z minimalizacją stopnia zanieczyszczenia urobku, a następnie zużycia wody w procesie produkcyjnym. Dwa subkryteria: możliwość lokowania skały płonnej w zrobach prowadzonych wyrobisk oraz minimalizacja wpływu na powierzchnię okazały się mniej istotne. Najmniej istotna w ocenie ekspertów jest możliwość prowadzenia selektywnego urabiania. Niska waga kryterium minimalizacji wpływu na powierzchnię wynika z faktu, że czynnikiem decydującym w tym przypadku jest system eksploatacji, a nie system mechanizacyjny [12].

V - Kryterium bezpieczeństwa rozpatrywanego w aspekcie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego związanego z użytkowaniem maszyn i urządzeń ścianowych

Wyniki oceny kryteriów szczegółowych w stosunku do kryterium bezpieczeństwa rozpatrywanego w aspekcie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego związanego z użytkowaniem maszyn i urządzeń ścianowych przedstawiono w tabeli 3.6.

Tabela 3.6

Wagi charakteryzujące istotność poszczególnych kryteriów szczegółowych w aspekcie kryterium bezpieczeństwa

Zapewnienie bezpieczeństwa stanowiskowego związanego z możliwością wycofania operatorów ze strefy zagrożenia V-1	0,28
Zapewnienie bezpieczeństwa poprzez możliwość wykorzystania parametrów opisujących stan środowiska górniczego do sterowania przebiegiem procesu technologicznego V-2	0,28
Uzyskanie wysokiej dyspozycyjności ciągu technologicznego V-3	0,28
Spełnienie wymogów ergonomicznych w procesie użytkowania wyposażenia technicznego V-4	0,11
Spełnienie wymogów ergonomicznych w trakcie prowadzenia obsługi wyposażenia technicznego V-5	0,05

Przedstawione dane dowodzą, że najważniejsze są trzy subkryteria: zapewnienie bezpieczeństwa stanowiskowego związanego z możliwością wycofania operatorów ze strefy zagrożenia, zapewnienie bezpieczeństwa poprzez możliwość wykorzystania parametrów opisujących stan środowiska górniczego do sterowania przebiegiem procesu technologicznego oraz uzyskanie wysokiej dyspozycyjności ciągu technologicznego. Kolejne subkryterium: spełnienie wymogów ergonomicznych w procesie użytkowania wyposażenia technicznego jest mniej ważne, a spełnienie wymogów ergonomicznych w trakcie prowadzenia obsługi wyposażenia technicznego okazało się najmniej istotne. Uzyskana oce-

na jest rozbieżna z wagą subkryterium możliwości monitorowania parametrów środowiska górniczego (tabela 3.2), gdyż nie można wykorzystywać parametrów opisujących stan środowiska górniczego do sterowania przebiegiem procesu technologicznego bez monitorowania tego środowiska.

Ocena ścianowych systemów mechanizacyjnych w świetle przyjętych subkryteriów

W kolejnym etapie procedury oceny porównano, w stosunku do każdego z kryteriów szczegółowych, wszystkie oceniane warianty ścianowych systemów mechanizacyjnych:

- ściany niskie – system strugowy, oznaczony **SN-S**,
- ściany niskie – system kombajnowy, oznaczony **SN-K**,
- ściany średnie – system strugowy, oznaczony **SS-S**,
- ściany średnie – system kombajnowy, oznaczony **SS-K**,
- ściany wysokie z zawałem – system kombajnowy, oznaczony **SW-Z**,
- ściany wysokie z podsadzką – system kombajnowy, oznaczony **SW-PH**,
- ściany wysokie podbierkowe – system kombajnowy, oznaczony **SW-P**.

Procedura polegała na dokonaniu wzajemnego porównania parami wariantów technologii pod kątem względnej ważności w odniesieniu do kryterium znajdującego się na poziomie bezpośrednio wyższym (kryteria szczegółowe). Określanie stopnia dominacji jednego wariantu nad drugim, w oparciu o 9-stopniową skalę preferencji, doprowadziło do wygenerowania ocen składających się na wagi przypisane wszystkim systemom, stanowiących priorytety cząstkowe.

Wyniki oceny poszczególnych wariantów ścianowych systemów mechanizacyjnych w stosunku do kryteriów szczegółowych związanych z następującymi kryteriami ogólnymi:

- I - Kryterium obecnego poziomu technicznego,
- II - Kryterium skuteczności technologii w odniesieniu do warunków zewnętrznych,

przedstawiono w tabeli 3.7.

W tabeli kolorem jasnoszarym wyróżniono subkryteria, które uzyskały największe wartości priorytetów cząstkowych (wagi obrazujące ich istotność w świetle oceny dokonanej przez zespół ekspertów). Kolorem ciemnoszarym zaznaczono najwyżej ocenione warianty technologii w świetle tych kryteriów.

Tabela 3.7

**Wyniki oceny wariantów ścianowych systemów mechanizacyjnych
w stosunku do kryteriów szczegółowych związanych z kryteriami
ogólnymi I i II**

Wariant systemu	Kryteria szczegółowe										
	I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-1	II-2	II-3	II-4	II-5	II-6
SN-S	0,21	0,11	0,25	0,25	0,11	0,07	0,21	0,11	0,13	0,24	0,06
SN-K	0,21	0,23	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	0,29	0,03	0,03	0,06
SS-S	0,21	0,11	0,25	0,25	0,23	0,03	0,07	0,11	0,11	0,05	0,06
SS-K	0,21	0,42	0,25	0,25	0,42	0,37	0,31	0,29	0,47	0,24	0,32
SW-Z	0,09	0,05	0,11	0,11	0,11	0,16	0,09	0,05	0,07	0,10	0,16
SW-PH	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,16	0,04	0,05	0,03	0,24	0,28
SW-P	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,16	0,25	0,11	0,16	0,10	0,07

W świetle kryterium zastosowania rozwiązań z zakresu zaawansowanych technologii (I-3) najwyższą ocenę uzyskały: strugowy system mechanizacyjny i system kombajnowy stosowany w ścianach średnich. Wynika to z faktu, że w obu przypadkach stosowane jest zintegrowane sterowanie umożliwiające pełne wykorzystanie potencjału technicznego wyposażenia, a także bezzałogowe wybieranie [14, 28]. Natomiast w przypadku kryterium skuteczności w realizacji celu technicznego (II-2) najwyżej oceniono system kombajnowy stosowany w ścianach średnich, a następnie system kombajnowy przeznaczony do wybierania pokładów grubych metodą podbierkową i strugowy system mechanizacyjny.

Wartości priorytetów cząstkowych, stanowiących wagi obrazujące ocenę poszczególnych wariantów w świetle kryteriów szczegółowych powiązanych z pozostałymi kryteriami ogólnymi:

III - Kryterium uniwersalności technologii w odniesieniu do warunków użytkowania i kompatybilności z innymi środkami technicznymi,

IV - Kryterium minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko uwzględniające wpływ bezpośredni,

V - Kryterium bezpieczeństwa rozpatrywanego w aspekcie bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego związanego z użytkowaniem maszyn i urządzeń ścianowych

przedstawiono w tabeli 3.8.

Tabela 3.8

**Wyniki oceny wariantów ścianowych systemów mechanizacyjnych
w stosunku do kryteriów szczegółowych związanych z kryteriami
ogólnymi III, IV i V**

Wariant systemu	Kryteria szczegółowe									
	III-1	III-2	III-3	III-4	III-5	IV-1	IV-2	IV-3	IV-4	IV5
SN-S	0,03	0,16	0,12	0,24	0,14	0,06	0,06	0,30	0,16	0,28
SN-K	0,07	0,03	0,02	0,04	0,14	0,16	0,06	0,03	0,16	0,10
SS-S	0,07	0,16	0,12	0,24	0,14	0,06	0,06	0,06	0,16	0,28
SS-K	0,43	0,16	0,41	0,24	0,14	0,36	0,15	0,30	0,16	0,10
SW-Z	0,08	0,06	0,03	0,10	0,14	0,16	0,31	0,13	0,16	0,10
SW-PH	0,08	0,37	0,06	0,04	0,14	0,16	0,31	0,13	0,05	0,04
SW-P	0,23	0,06	0,23	0,10	0,14	0,06	0,06	0,06	0,16	0,10

Tabela 2 c.d.

Wariant systemu	Kryteria szczegółowe				
	V1	V2	V3	V4	V5
SN-S	0,31	0,18	0,25	0,20	0,03
SN-K	0,03	0,06	0,03	0,02	0,07
SS-S	0,31	0,18	0,25	0,21	0,07
SS-K	0,15	0,38	0,25	0,21	0,38
SW-Z	0,07	0,06	0,05	0,08	0,18
SW-PH	0,07	0,06	0,05	0,08	0,18
SW-P	0,07	0,06	0,11	0,21	0,07

W przypadku kryterium dotyczącego możliwości użytkowania w warunkach zagrożeń naturalnych (III-2) eksperci najwyżej sklasyfikowali wyposażenie techniczne ścian podszkawkowych. Natomiast w świetle kryteriów: minimalizacja stopnia zanieczyszczenia urobku (IV-3) i uzyskanie wysokiej dyspozycyjności ciągu technologicznego (V-3) najwyższą ocenę uzyskały: strugowy system mechanizacyjny i system kombajnowy stosowany w ścianach średnich. W przypadku kryterium zapewnienia bezpieczeństwa stanowiskowego związanego z możliwością wycofania operatorów ze strefy zagrożenia (V-1) strugowy system mechanizacyjny zdecydowanie góruje nad systemami kombajnowymi, a w świetle kryterium zapewnienia bezpieczeństwa, poprzez możliwość wykorzystania parametrów opisujących stan środowiska górniczego do sterowania przebiegiem procesu technologicznego, za najlepszy uznano system kombajnowy przeznaczony do ścian średnich.

Hierarchizacja ścianowych systemów mechanizacyjnych

W oparciu o uzyskane wartości priorytetów cząstkowych, dla poszczególnych poziomów hierarchicznych modelu, wyznaczono dla każdego wariantu technologii wskaźniki oceny stanowiące wartości priorytetów globalnych odpowiadających danemu wariantowi.

W tabeli 3.9 przedstawiono hierarchię ścianowych systemów mechanizacyjnych w oparciu o uzyskane wskaźniki oceny. Kolejność poszczególnych technologii odpowiada miejscu w hierarchii w aspekcie przyjętego celu głównego jakim jest innowacyjność technologii. Należy przy tym podkreślić, że w świetle przyjętych kryteriów pod pojęciem innowacyjności rozumie się głównie przydatność technologii ze względu na bezpieczne i efektywne pozyskiwanie węgla w przewidywanych warunkach geologiczno-górnich.

Tabela 3.9

Hierarchia ścianowych systemów mechanizacyjnych

Lp.	System mechanizacyjny	Oznaczenie	Wskaźnik oceny	Klasyfikacja
1	Ściany średnie – system kombajnowy	SS-K	0,278582	Rozwojowa A
2	Ściany niskie – system strugowy	SN-S	0,201901	Rozwojowa A
3	Ściany średnie – system strugowy	SS-S	0,152804	Rozwojowa B
4	Ściany wysokie podbierkowe	SW-P	0,126228	Rozwojowa B
5	Ściany wysokie z podsadzką	SW-PH	0,092569	Rozwojowa C
6	Ściany wysokie z zawalem	SW-Z	0,090041	Rozwojowa C
7	Ściany niskie – system kombajnowy	SN-K	0,057875	Zachowawcza

Z powyższego zestawienia wynika, że w świetle przyjętych kryteriów najbardziej zaawansowany pod względem technicznym i przydatny ze względu na efektywność jest kombajnowy system mechanizacyjny przeznaczony do ścian średnich, a następnie system strugowy w zakresie ścian niskich i średnich. Wynika to z faktu, że w przypadku obu systemów przebieg procesu produkcyjnego w ścianie może być w pełni zautomatyzowany, co umożliwia uzyskanie bardzo dobrych wyników produkcyjnych, przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa stanowiskowego. Lokalne sterowniki poszczególnych maszyn i urządzeń zabezpieczają ich napędy przed przeciążeniem, pozwalają na optymalizację parametrów pracy i umożliwiają szybką diagnostykę techniczną. Dzięki pełnej kontroli przebiegu procesu produkcyjnego możliwa jest minimalizacja wpływu na środowisko poprzez zmniejszenie zanieczyszczenia urobku i zmniejszenie zużycia energii i wody. W górnictwie

światowym zastosowanie kombajnowych systemów mechanizacyjnych w ścianach średnich i strugowych w ścianach niskich pozwala na uzyskiwanie najlepszych wyników produkcyjnych w poszczególnych grupach ścian [14, 28].

Kolejne miejsce w hierarchii ścianowych systemów mechanizacyjnych zajmuje system kombajnowy przeznaczony do wybierania pokładów grubych systemem podbierkowym. Technologia ta rozwijana jest z powodzeniem od kilkunastu lat w Chinach i ze względu na osiągniętą skuteczność wzbudziła duże zainteresowanie w krajach, w których rozwinięty jest przemysł wydobywczy węgla kamiennego i/lub produkowane są maszyny i urządzenia górnicze [5, 20]. Obecny poziom techniki w tym zakresie umożliwia efektywną i bezpieczną eksploatację pokładów o grubości większej od 6 m, lecz pewne aspekty związane z pozyskiwaniem węgla od strony zawału wymagają jeszcze udoskonalenia. Stąd niższa pozycja tej technologii w stosunku do poprzednich.

Stosowanie ścian podsadzkowych związane jest głównie z koniecznością ochrony powierzchni przed skutkami prowadzonej działalności górniczej. Stąd zainteresowanie tą technologią ma charakter lokalny. Ze względu na bezpieczeństwo oba procesy: pozyskiwania węgla i podsadzania wybranej przestrzeni nie są prowadzone jednocześnie. Pomimo tego w ścianach tych uzyskuje się zadowalające wyniki produkcyjne. Wynika to z faktu, że w procesie pozyskiwania węgla stosowane jest standardowe wyposażenie. Dalszych prac wymaga natomiast pełna mechanizacja i kontrola procesu podsadzania.

Niska pozycja kombajnowych systemów mechanizacyjnych przeznaczonych do ścian wysokich wynika ze zwiększonego zakresu wybierania pokładów na pełną grubość – do 6,5 m [15]. Rozwój techniki przyczynił się do pogorszenia bezpieczeństwa stanowiskowego i procesowego. Wynika to głównie z intensyfikacji zjawiska odspajania górnych naroży pokładu i większego, niekontrolowanego odkrycia stropu. Ponadto zwiększenie mocy napędów sprawia, że szczególnego znaczenia nabierają układy zabezpieczające maszyny i urządzenia przed przeciążeniem. Należy przy tym zaznaczyć, że wyposażenie techniczne ścian do wysokości 4,5 m nie różni się zasadniczo od stosowanego w ścianach średnich, stąd ocena tego wyposażenia dla tego zakresu wysokości ścian jest zdecydowanie wyższa.

Najniższe miejsce w hierarchii analizowanych wariantów technologii systemów kombajnowych przeznaczonych do ścian niskich nie wynika z poziomu technicznego wyposażenia technicznego, ale głównie z oce-

ny w świetle kryteriów: skuteczności, uniwersalności, oddziaływania na środowisko i ergonomicznego. Kombajny mogą być stosowane w ścianach o wysokości większej od 1,6 m [11, 14, 28], przy czym ich wydajność ograniczona jest względami ergonomicznymi. Wynika to faktu, że kombajniści przemieszczają się wzdłuż całej długości ściany w przestrzeni ograniczonej wymiarami wyrobiska. Poza tym występuje duże zanieczyszczenie urobku skałą płonną, co zmniejsza wydobywie netto, zwiększa energochłonność procesu produkcyjnego i oddziałuje niekorzystnie na środowisko. Biorąc pod uwagę warunki zalegania pokładów w Polsce związane głównie z występowaniem uskoków należy podjąć pracę dotyczące opracowania kombajnu w wersji compact, który może być zastosowany w pokładach o grubości od 1,2 m [35].

Na podstawie przeprowadzonej analizy do technologii rozwojowych o najwyższym stopniu innowacyjności, zakwalifikowano system kombajnowy przeznaczony do stosowania w ścianach średnich i strugowy system mechanizacyjny. Niższym stopniem innowacyjności charakteryzują się systemy mechanizacyjne przeznaczone do: wybierania pokładów grubych metodą podbierkową, ścian wysokich z podsadzką i ścian wysokich zawałowych. Zdecydowanie najniżej oceniono system kombajnowy przeznaczony do stosowania w ścianach niskich (technologia zachowawcza).

4. SCENARIUSZ ROZWOJU TECHNOLOGII MECHANIZACJI DRAŻENIA WYROBISK KORYTARZOWYCH

Piotr Gospodarczyk, Antoni Kalukiewicz, Krzysztof Kotwica, Dariusz Prostański, Andrzej Pytlik

Drażenie wyrobisk korytarzowych jest zagadnieniem bardzo złożonym, z uwagi na występujące znaczne trudności i ograniczenia natury geologiczno-górnictwej, jak i technicznej. Prace w tych wyrobiskach zaliczane są do jednych z najbardziej praco- i czasochłonnych. Podstawowymi czynnikami określającymi technikę drażenia wyrobisk chodnikowych są [2]:

- warunki naturalne, w których wyrobisko jest drażone,
- przekrój wyrobiska i zastosowana obudowa,
- sposób jego wykorzystania w przyszłości,
- czas wykonania wyrobiska,
- koszty drażenia odniesione do 1 metra wyrobiska.

W latach 2008–2020 przewiduje się wydrażenie około 500 kilometrów wyrobisk korytarzowych. Zakładając konieczność wykonania dodatkowych wyrobisk udostępniających dla przygotowania do eksploatacji nowych pokładów, można założyć, że łączna długość wykonanych wyrobisk będzie mieściła się w zakresie od 650 do 700 kilometrów. Wyrobiska te można podzielić na trzy grupy:

- kamienne (udostępniające),
- kamienno-węglowe (udostępniające, przygotowawcze),
- węglowe (przygotowawcze).

4.1. Technologia drażenia wyrobisk korytarzowych kombajnami chodnikowymi

W górnictwie światowym do drażenia wyrobisk korytarzowych, udostępniających i przygotowawczych w skałach zwięzłych wykorzystywane są głównie kombajny chodnikowe wysięgnikowe.

Kombajny stosowane w górnictwie światowym wyposażone są w systemy monitorowania parametrów pracy, takich jak: moc pobierana przez silnik napędzający organ urabiający, drgania wybranych elementów maszyny, temperatura, ciśnienie w układzie hydraulicznym, położenie wysięgnika itp. Możliwość zdalnego sterowania ze stanowiska odsuniętego od przodka oraz system komunikacji ze stanowiskiem nadzoru na powierzchni przyczyniają się w znacznym stopniu do poprawy bezpieczeństwa oraz zwiększenia efektywności drażenia [6]. Obecnie podejmowane są próby wdrożenia takich systemów w kombajnach stosowanych do drażenia wyrobisk tunelowych i korytarzowych. Uzyskane doświadczenia podczas

drażenia tuneli w skałach o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wynoszącej 150 MPa pozwalają na rozwój tej technologii na potrzeby górnictwa węgla kamiennego [40].

W polskim górnictwie stosuje się niewielką liczbę kombajnów zaliczanych do grupy średnich, takich jak AM 75 Ex oraz sporadycznie kombajny ciężkie typu AM 105 firmy Sandvik Voest Alpine Bergtechnik GmbH. Nie są one jednak wyposażane w powyżej opisane systemy monitoringu parametrów pracy, automatyczne sterowanie i kontrolę profilu urabiania. Klimatyzowane kabiny dla operatora instalowane są tylko w kombajnach stosowanych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A.

Stosowane kombajny AM 105 pozwalają na urabianie skał o wytrzymałości dochodzącej nawet do 140 MPa, przy postępach drażenia kilku metrów na dobę.

Do drażenia wyrobisk korytarzowych, głównie przygotowawczych, w skałach zwięzłych stosowany jest w górnictwie światowym, system do drażenia chodników AVSA, produkowany przez firmę Sandvik Voest Alpine Bergtechnik GmbH. Jest to rozwiązanie pozwalające na równoczesne urabianie czoła przodka organem frezującym oraz zabezpieczanie wyrobiska przez kotwienie stropu i ociosów za pomocą zainstalowanych na maszynie urządzeń wierząco-kotwiących.

Kierunki prac związanych z rozwojem technologii

Obecnie w polskim górnictwie węgla kamiennego, stosowane są bardzo powszechnie kombajny chodnikowe wysięgnikowe „lekkie” oraz niewielka liczba kombajnów „średnich”. Powodem tego są przede wszystkim warunki górnictwo-geologiczne panujące w polskich kopalniach oraz względy ekonomiczne. Kombajny te pozwalają na uzyskanie zadowalających postępów dobowych przy drażeniu chodników w skałach o wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie nie przekraczającej 100 MPa. Postęp drażenia spada jednak wraz ze wzrostem wytrzymałości na ściskanie urabianej calizny skalnej.

Przewidywane prace rozwojowe powinny koncentrować się głównie na opracowaniu systemów zdalnego sterowania pracą kombajnu, monitoringu maszyny oraz przekazywania danych w celu uzyskania założonego kształtu i wymiarów przekroju wyrobiska, utrzymania kierunku jego drażenia z wykorzystaniem rozwiązań zbliżonych do nawigacji GPS lub alternatywnej, a także dla celu diagnostyki stanu technicznego. Prace badawcze powinny obejmować swym zasięgiem układy: sterowania, monitorowania drgań elementów maszyny, kontroli temperatury, kontroli profilu drażonego wyrobiska, jak też, dodatkowych i nie związanych bezpośrednio z kombajnem układów do bezinwazyjnego określania rodzaju i własności skał oraz występowania zagrożeń wyrzutu gazu i wody na wybiegu wyrobiska (georadary).

Przy opracowywaniu układów do sterowania pracą maszyny i kontroli jej stanu technicznego oraz układu do kontroli profilu drążonego wyrobiska będzie można wykorzystać technologię sieci neuronowych. Opracowanie i wdrożenie powyżej opisanych systemów i układów zwiększy niezawodność i trwałość maszyn urabiających, a co za tym idzie zwiększy ich dyspozycyjność. Ponadto pozwoli na zwiększenie wydajności procesu drążenia i zapewni wyższą jakość wykonania obudowy drążonego wyrobiska. Dodatkowym efektem będzie zwiększenie bezpieczeństwa i uwzględnienie wymogów ergonomii przy kształtowaniu warunków pracy ludzi zatrudnionych w przodku. Będzie miało to również bezpośredni wpływ na koszt drążenia wyrobiska korytarzowego.

W przypadku kombajnów chodnikowych wysięgnikowych urabiających punktowo, poza wytrzymałością na ściskanie skrawanych skał, czynnikiem ograniczającym postęp drążenia jest szeregową struktura operacji urabiania i zabudowy wyrobiska. Czas trwania operacji zabudowy jest zdecydowanie dłuższy od operacji urabiania. W związku z powyższym powinny być prowadzone prace nad opracowaniem samojezdnej platformy roboczej do transportu i montażu obudowy chodnikowej, wykonywanej z łuków podatnych typu ŁP, współpracującej z kombajnem wysięgnikowym. Platforma robocza powinna przemieszczać się po podwieszonym pod stropem torowisku, jedno lub dwuszynowym. Platforma wyposażona będzie w hydrauliczny manipulator, na którym montowane będą elementy obudowy. Pozwoli to na ułatwienie i przyspieszenie operacji zabudowy wyrobiska, a tym samym zwiększenie postępu dobowego, w zależności od wymiarów wyrobiska, do 12,0-25,0 m/dobę.

Rozwiązaniem, mogącym jeszcze bardziej przyspieszyć proces drążenia wyrobisk korytarzowych i zwiększyć bezpieczeństwo załogi w przodku, będzie zastosowanie tymczasowej, zmechanizowanej obudowy chodnikowej, mogącej współpracować z kombajnem chodnikowym wysięgnikowym urabiającym punktowo. Maszyna urabiająca znajdować będzie się pod tymczasową, obudową zmechanizowaną, zabezpieczającą wyrobisko podczas urabiania i przemieszczającą się wraz z postępem przodka. Za obudową tymczasową realizowany będzie równolegle z procesem urabiania, proces montażu i zakładania obudowy chodnikowej.

Jako alternatywne rozwiązanie dla wyrobisk drążonych obecnie w obudowie kotwowej lub mieszanej kotwowej i stalowej, należy rozważyć zastosowanie systemu do drążenia chodników AVSA. Jest to technika pozwalająca na zintensyfikowanie procesu drążenia ze względu na jednoczesne prowadzenie urabiania i zabudowy wyrobiska. Osiągane przez tą maszynę bardzo dobre wyniki produkcyjne są argumentem dla podjęcia próby wy-

korzystania jej w warunkach polskich kopalń węgla i opracowania dla niej specjalnej technologii dla drażenia wyrobisk korytarzowych w obudowie kotwowej.

Kombajny urabiające liniowo mogą być również wykorzystane do wybierania resztek pokładów w systemie zabierkowym.

Zaproponowano działania oraz etapy i kierunki prac związanych z rozwojem wyżej wymienionych technik mechanizacyjnych.

W zakresie technologii drażenia z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych wysięgnikowych należy oczekiwać zmian obejmujących:

- zastosowania systemów zdalnego sterowania kombajnem,
- zastosowania układów do kontroli profilu drażonego wyrobiska,
- zastosowania systemu monitoringu i przesyłania danych dla diagnostyki stanu technicznego maszyny,
- opracowania organów urabiających wykorzystujących technikę urabiania narzędziami dyskowymi niesymetrycznymi,
- zastosowania układów bezinwazyjnego określania urabialności skał oraz identyfikacji zagrożeń wyrzutami gazu i wody,
- opracowania i wdrożenia samojezdnej platformy roboczej dla transportu i montażu obudowy chodnikowej,
- opracowania i wdrożenia tymczasowej, zmechanizowanej obudowy chodnikowej.

Przewiduje się następujące etapy realizacji wyżej wymienionych przedsięwzięć:

- wprowadzenie systemów do zdalnego sterowania i monitorowania parametrów pracy kombajnu oraz układów do kontroli profilu drażonego wyrobiska,
- opracowanie i przeprowadzenie badań nowych narzędzi urabiających, opracowanie i wykonanie konstrukcji organów urabiających z wykorzystaniem narzędzi dyskowych niesymetrycznych,
- opracowanie technologii wybierania resztek pokładów kombajnami chodnikowymi urabiającymi liniowo,
- przeprowadzenie analizy możliwości zastosowania systemu do drażenia chodników AVSA w warunkach polskich kopalń węgla,
- opracowanie technologii eksploatacji resztek węglowych z zastosowaniem kombajnów chodnikowych urabiających liniowo,
- przeprowadzenie szkolenia operatorów i pracowników obsługi technicznej, pozyskanie niezbędnych doświadczeń eksploatacyjnych i użytkowania systemu do drażenia chodników AVSA,
- przeprowadzenie szkolenia operatorów i pracowników obsługi technicznej, pozyskanie niezbędnych doświadczeń eksploatacyjnych i za-

stosowanie do wybierania resztek pokładów kombajnów chodnikowych urabiających liniowo,

- opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego i uruchomienie produkcji samojezdnej platformy roboczej dla transportu i montażu obudowy chodnikowej,
- opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego i uruchomienie produkcji tymczasowej, zmechanizowanej obudowy chodnikowej,
- wprowadzenie układów zdalnego systemu sterowania maszyną w przodku oraz monitorowania i kontroli jej stanu technicznego,
- opracowanie technologii pracy systemów kombajnowych chodnikowych wykorzystujących samojezdne platformy robocze i tymczasowe, zmechanizowane obudowy chodnikowe,
- wykorzystanie sieci neuronowych w systemach sterowania kombajnów chodnikowych.

4.2. Konwencjonalna technologia drażenia wyrobisk korytarzowych z zastosowaniem urabiania materiałem wybuchowym

W górnictwie światowym do drażenia wyrobisk korytarzowych udostępniających i przygotowawczych w skałach zwięzłych i bardzo zwięzłych wykorzystywane są kompleksy chodnikowe, w skład których wchodzi: wóz wiertniczy, ładowarka bocznie sypiąca, przenośnik zgrzeblowy, przenośnik taśmowy oraz kolejka podwieszana do transportu materiałów [2]. W zdecydowanej większości wyrobisk stosowane są przede wszystkim wozy wiertnicze o napędzie elektrohydraulicznym, na podwoziu gąsienicowym, z jednym lub dwoma manipulatorami. Wykonanie, zgodnie z metryką strzałową otworów strzałowych realizowane jest z wykorzystaniem hydraulicznych wiertarek udarowo-obrotowych, zamocowanych na wysięgniku lub wysięgnikach wozu wiertniczego. Manipulatory pozwalają na wykonanie z jednego położenia wozu wiertniczego wszystkich otworów w zadanej konfiguracji, przy wydajności dochodzącej do 70 otworów na godzinę. Prędkość wiercenia otworów w zależności od właściwości mechanicznych skały wynosi od 1,75 do 2,8 m/min. Wydajność wiercenia w dużej mierze zależy jednak od doświadczenia operatora.

Kierunki prac związanych z rozwojem technologii

W polskim górnictwie węgla kamiennego bardzo rzadko stosowane są kompleksy chodnikowe. W zdecydowanej większości wiercenie otworów strzałowych wykonywane jest ręcznie lub z wykorzystaniem podpór pneumatycznych. Natomiast w przypadku ładowania urobku coraz popularniejsze są ładowarki bocznie sypiące na podwoziu gąsienicowym.

Technologia wiercenia otworów strzałowych, ładowania i urabiania materiałem wybuchowym jest alternatywą dla drażenia wyrobisk korytarzowych przy wykorzystaniu kombajnów chodnikowych w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych. Charakteryzuje się jednak małym postępowaniem drażenia wyrobisk korytarzowych, w wielu przypadkach nie przekraczającym 2÷4 m/dobę. W celu rozwoju tej technologii i dostosowania do warunków polskich kopalń węgla oraz podniesienia jej efektywności przewiduje się wprowadzenie kompleksów chodnikowych, w skład których wchodzić będą wozy wiertnicze, w tym wozy wiertnicze z dwoma manipulatorami. Pozwoli to na szybkie wykonywanie, z jednego ustawienia maszyny, otworów strzałowych. Wadą wykonywania wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem materiałów wybuchowych jest nierównomierny obrys wyrobiska, powodujący konieczność stosowania wykładki pomiędzy obudową, a górotworem względnie wyrównywania ociosów wyrobiska. Nierównomierny obrys wyrobiska uzyskuje się zazwyczaj przy ręcznym wykonywaniu otworów, bądź ręcznym sterowaniu manipulatorem wozu wiertniczego. Proponowany do zastosowania w wozach wiertniczych mikroprocesorowy układ kontroli i sterowania manipulatorami pozwoli na dokładne pozycjonowanie wiertarek przy wierceniu otworów, a tym samym uzyskanie dokładniejszego profilu wyrobiska i poprawie jakości zabudowy wyrobiska. Dla poprawnego zastosowania takich układów koniecznym będzie także opracowanie systemu utrzymywania kierunku drażenia wyrobiska z wykorzystaniem rozwiązań zbliżonych do nawigacji GPS [21].

Zastosowanie systemów kontrolnych pozwoli dodatkowo na optymalny dobór parametrów wiercenia, takich jak: siła docisku narzędzia wiertniczego, czy częstotliwość uderzeń w zależności od właściwości mechanicznych skały, w której wykonywane są otwory. Umożliwi to optymalizację parametrów procesu wiercenia, pod kątem ograniczania czasu realizacji i energochłonności procesu wiercenia otworów.

W celu zwiększenia bezpieczeństwa załogi w przodku, proponuje się opracowanie układu zdalnego sterowania pracą maszyn wchodzących w skład kompleksów chodnikowych, pozwalającego na ich sterowanie z bezpiecznej strefy, poza przodkiem. Opracowane zostaną również i wdrożone samojezdne platformy robocze do transportu i montażu obudowy chodnikowej. Pozwoli to na przyspieszenie procesu zabudowy wyrobiska, a ponadto ułatwi i zwiększy bezpieczeństwo pracowników zatrudnionych w przodku [22].

W zakresie techniki mechanizacyjnej z wykorzystaniem kompleksów chodnikowych, drażących wyrobisko z zastosowaniem urabiania materiałem wybuchowym należy oczekiwać działań, które będą obejmowały:

- zastosowanie systemu sterowania w celu optymalizacji doboru parametrów wiercenia wozu wiertniczego w funkcji właściwości ośrodka skalnego,
- zastosowanie mikroprocesorowego układu kontroli i sterowania manipulatorami wozu wiertniczego,
- zastosowanie układów sterowania utrzymania kierunku drążenia wyrobiska z wykorzystaniem rozwiązań zbliżonych do nawigacji GPS,
- zastosowanie klimatyzowanych kabin operatorów ładowarek, przystosowanych do pracy w warunkach występowania zagrożeń tąpnięciami,
- zastosowanie układów zdalnego sterowania maszynami wchodzącymi w skład kompleksów chodnikowych,
- opracowanie i wprowadzenie samojezdnej platformy roboczej dla transportu i montażu obudowy chodnikowej.

Przewiduje się następujące etapy wdrażania wyżej wymienionych technologii:

- wprowadzenie systemu sterowania parametrami wiercenia wozu wiertniczego,
- wprowadzenie wozów wiertniczych z dwoma manipulatorami, z których każdy wyposażony jest w dwie wiertarki,
- wprowadzenie układu sterowania manipulatorami wozu wiertniczego,
- opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego samojezdnej platformy roboczej dla transportu i montażu obudowy chodnikowej,
- opracowanie systemu organizacyjno-technicznego użytkowania kompleksów chodnikowych,
- przeprowadzenie szkolenia operatorów i pracowników obsługi technicznej,
- pozyskanie niezbędnych doświadczeń eksploatacyjnych związanych z użytkowaniem kompleksów chodnikowych.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Rozwój technik i technologii mechanizacyjnych uwarunkowany jest wieloma czynnikami, z których jednym z ważniejszych jest zapewnienie możliwości wprowadzenia innowacyjnych rozwiązań. Urzeczywistnienie przedstawionych scenariuszy wymagać będzie prowadzenia następujących prac badawczych i rozwojowych:

- **Technologie związane z drążeniem wyrobisk korytarzowych kombinami chodnikowymi**
 - przeprowadzenie badań w celu opracowania wymagań oraz założeń dla nowych rozwiązań narzędzi i organów urabiających wykorzystujących nowe techniki urabiania,

- opracowanie założeń konstrukcyjnych samojezdnej platformy roboczej oraz tymczasowej, zmechanizowanej obudowy chodnikowej,
- opracowanie systemu sterowania i kontroli parametrów pracy kombajnów chodnikowych, wysięgnikowych, opartych o najnowsze technologie i rozwiązania mechatroniczne,
- opracowanie układu kontroli położenia kombajnu z wykorzystaniem zaawansowanych systemów nawigacji,
- opracowanie technologii do drażenia chodników z zastosowaniem kombajnu AVSA w warunkach polskich kopalń,
- opracowanie i wdrożenie konstrukcji samojezdnej platformy roboczej dla transportu i montażu obudowy chodnikowej,
- opracowanie technologii drażenia przy współpracy kombajnów chodnikowych z samojezdnymi platformami roboczymi i tymczasową, zmechanizowaną obudową chodnikową w warunkach polskich kopalń.
- **Technologie drażenia wyrobisk korytarzowych z zastosowaniem urabiania materiałem wybuchowym**
 - opracowanie systemów sterowania parametrami wiercenia dla wozów wiertniczych,
 - opracowanie układu pozycjonowania i sterowania dla manipulatorów wozów wiertniczych,
 - opracowanie układu zdalnego sterowania maszynami wchodzącymi w skład kompleksów chodnikowych,
 - opracowanie sposobu bezinwazyjnego określania właściwości skał oraz prognozowania występowania zagrożenia wyrzutu gazu i wody,
 - opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego samojezdnej platformy roboczej dla transportu i montażu obudowy chodnikowej,
 - opracowanie technologii drażenia przy zastosowaniu kompleksów chodnikowych.

4.3. Technologia kotwienia

Najbardziej rozpowszechnionym w polskich kopalniach węgla kamiennego rozwiązaniem w zakresie kotwienia jest stosowanie ręcznych kotwiarek o napędzie hydraulicznym lub pneumatycznym. Technologia ta ma jednak wady, do których w szczególności można zaliczyć:

- dużą pracochłonność i znaczny udział operacji wykonywanych ręcznie przez górników wykonujących wiercenie i kotwienie,
- niski stopień mechanizacji i automatyzacji procesu kotwienia,
- brak możliwości jednoczesnego zakładania kotew w kilku otworach,
- niski postęp drażenia chodników.

Analiza doświadczeń w zakresie kotwienia w górnictwie światowym wskazuje, że technologie wykorzystania wysięgników wiercąco-kotwiących, w które wyposażone są kombajny chodnikowe oraz wozy kotwiące będą technologiami przyszłościowymi i po adaptacji do warunków polskiego górnictwa mogą przyczynić się do znacznego zwiększenia postępu robót korytarzowych, poprawy bezpieczeństwa i obniżenia kosztów ich wykonania.

Nowoczesne systemy mechanizacyjne kotwienia stropu powinny zapewnić:

- duży postęp drążenia wynoszący co najmniej 20 m/d,
- mobilność maszyny w celu zwiększenia stopnia wykorzystania maszyn i urządzeń kompleksu chodnikowego,
- możliwość dostosowania do zmiennych warunków drążenia i kotwienia dzięki modułowej budowie, opartej na zunifikowanych maszynach i podzespołach,
- wysoki stopień standaryzacji maszyn wiercąco-kotwiących oraz stosowanych materiałów,
- łatwą obsługę techniczną,
- wysoki stopień automatyzacji oraz monitorowania parametrów procesu technologicznego kotwienia,
- wysoką niezawodność oraz dyspozycyjność.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

W zakresie mechanizacji kotwienia należy oczekiwać zmian, które będą obejmowały:

- wprowadzenie technologii równoległego drążenia, wiercenia i kotwienia z wykorzystaniem nowych konstrukcji kombajnów chodnikowych, umożliwiających drążenie wyrobisk o kształcie łukowym i prostokątnym,
- automatyzację procesu kotwienia,
- monitorowanie parametrów procesu technologicznego kotwienia,
- doskonalenie spoiw, ładunków klejowych i cementowych stosowanych do mocowania kotwi w otworze,
- upowszechnienie technologii kotwienia iniekcyjnego oraz stosowanie kotwi podatnych,
- pełną mechanizację technologii kotwienia długimi kotwiami linowymi i strunowymi o wysokiej nośności.

Etapy rozwoju mechanizacji technologii kotwienia będą następujące:

- adaptacja rozwiązań technicznych i technologicznych kotwienia stosowanych w górnictwie światowym do warunków polskich kopalń,

- szkolenie specjalistyczne operatorów wozów kotwiących,
- opracowanie systemu organizacji pracy oraz wymagań bezpieczeństwa dla technologii kotwienia,
- zastosowanie kotwi podatnych o podwyższonej wytrzymałości umożliwiających przejście obciążenia pochodzącego od dynamicznego oddziaływania górotworu.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Kierunki prac badawczo-rozwojowych niezbędnych dla zapewnienia rozwoju mechanizacji i technologii kotwienia są następujące:

- badanie odporności dynamicznej kotwi górniczych i siatek,
- opracowanie kryteriów oceny kotwi górniczych i siatek przeznaczonych do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu,
- doskonalenie ładunków klejowych i cementów w aspekcie zwiększenia wytrzymałości wiązania, odporności na obciążenia dynamiczne oraz odporności na działanie czynników zewnętrznych,
- rozwój technologii kotwienia iniekcyjnego.

4.4. Klimatyzacja, wentylacja i odpylanie wyrobisk

Klimatyzacja

Rozwój technologii klimatyzacji, w tym sposobów chłodzenia powietrza kopalnianego w polskim górnictwie węgla kamiennego będzie przebiegał podobnie, jak w górnictwie światowym. Początkowa realizacja poprawy warunków klimatycznych odbywała się poprzez dostarczenie odpowiednich ilości powietrza do wyrobisk górniczych. Ten sposób był odpowiedni dla wyrobisk, gdy temperatura powietrza wynosiła od 28°C do 33°C. Jednakże w miarę prowadzenia eksploatacji na coraz większych głębokościach działania te przestały być skuteczne. W związku z tym zaczęto stosować urządzenia chłodnicze bezpośredniego działania o mocy około 350 kW i to zarówno w drażonych wyrobiskach korytarzowych, jak i w wyrobiskach ścianowych.

Kolejnym etapem rozwoju jest stosowanie klimatyzacji grupowej i centralnej o mocy chłodniczej rzędu kilku MW. Dodatkowo, w celu zapewnienia efektywnego chłodzenia wyrobisk ścianowych o wysokości powyżej 2,5 m, oprócz urządzeń chłodniczych usytuowanych w wyrobisku przyścianowym przy wlocie powietrza do ściany, stosuje się chłodnice powietrza w ścianie, w przedziale przejścia dla załogi.

Rozwiązanie problemów klimatycznych w kopalniach podziemnych będzie możliwe jedynie poprzez kompleksowe zastosowanie wielu środków technicznych, w tym szczególnie: termoizolacji wyrobisk, hydro-

izolacji, ograniczenia wilgotności powietrza kopalnianego, intensywnej wentylacji wyrobisk i stosowania klimatyzacji (lokalnej, grupowej i centralnej) [42].

W kopalniach metanowych węgla kamiennego stężenie metanu w powietrzu waha się od 0,3 do 1%. W wyniku odmetanowywania powstają spore ilości tak zwanego gazu kopalnianego, zawierającego 30-50% metanu. Zarówno powietrze wentylacyjne, jak i nadmiarowe (niewykorzystane do lokalnych potrzeb energetyczno-procesowych) ilości gazu kopalnianego są odprowadzane do otoczenia, co negatywnie oddziałuje na środowisko naturalne. Metan jest uznawany za jeden z najbardziej szkodliwych gazów cieplarnianych (na drugim miejscu po CO_2). Nadmiarowe ilości gazu kopalnianego nie są wykorzystywane szczególnie w okresie letnim, gdy nie jest zagospodarowywany na cele grzewcze. Efektywne wykorzystanie gazu kopalnianego utrudnia także jego nierównomierna podaż, uwarunkowana głównie przebiegiem procesu odmetanowywania kopalni. Szacunkowy poziom wykorzystania metanu na cele energetyczne nie przekracza 33%. Orientacyjnie w Polsce roczna emisja niezagospodarowanego metanu wynosi około 1,1 miliarda m^3 (dane za rok 2000). Dlatego też, szczególnie ważne powinno być wykorzystanie pozyskanego metanu do wytworzenia mocy chłodniczej i klimatyzacji wyrobisk.

Wentylacja

Obecnie najbardziej zaawansowaną siecią zarówno w systemie wentylacji odrębnej, jak i lokalnej dysponuje górnictwo złota w Republice Południowej Afryki oraz górnictwo węglowe w Niemczech. Układ kopalnianej sieci wentylacyjnej jest złożony z wentylatorów oraz z kilkuset bocznic sieci i węzłów sieci, stwarzających miejscowe opory. W celu prawidłowego przewietrzania wyrobisk tworzy się przestrzenne i kanoniczne schematy sieci wentylacji kopalnianej, na których zaznacza się miejsca umieszczenia poszczególnych urządzeń i węzłów, a całość obsługiwana jest przez dedykowany system sterowania [31].

Do tych urządzeń zalicza się:

- tamy wentylacyjne, wyposażone w serwomechanizmy elektrohydrauliczne lub pneumatyczne (tamy pomocnicze, regulacyjne przejazdowe, regulacyjne stałe, dla pieszych oraz śluzowe),
- czujniki pomiarowo kontrolne,
- zautomatyzowane stacje wentylatorów, umożliwiające regulację wydatku wentylatorów głównych,
- oprogramowanie kontrolno-sterownicze.

Wentylacja obiegowa wspomagana jest również wentylacją lokalną. Górnictwo węgla kamiennego dysponuje już obecnie wydajną techniką wentylacji. Niewystarczający jest jednak ciągle rozwój w zakresie sterowania, automatyki i systemów szybkiego reagowania na stany awaryjne i niebezpieczne.

Odpylanie

Zapylenie powietrza jest nadal jednym z najpoważniejszych zagrożeń środowiska pracy w górnictwie. Stosowane w górnictwie technologie prac przygotowawczych i eksploatacyjnych są nierozłącznie związane z powstawaniem znaczących ilości pyłu, zarówno w procesie urabiania calizny, jak i transportu urobku.

W ostatnich latach w polskich kopalniach węgla kamiennego następują przeobrażenia dotyczące warunków naturalnych i technologii wybierania węgla. Prowadzenie eksploatacji na coraz większej głębokości oraz zmiany związane z uzyskiwaniem wysokiej koncentracji wydobywania spowodowały istotne zmiany w prowadzeniu wyrobisk korytarzowych. O ile jeszcze 30 lat temu wiodącą była technologia konwencjonalna, to od kilkunastu lat dominującą jest metoda urabiania z zastosowaniem wysięgnikowych kombajnów chodnikowych (około 80% udziału w drażeniu wyrobisk chodnikowych).

Proces skrawania powoduje zagrożenia związane z:

- powstawaniem pyłu węglowego, mogącego być przyczyną chorób zawodowych załóg górniczych (pylica),
- możliwością wybuchu metanu i/lub pyłu węglowego, którego źródłem inicjacji mogą być iskry powstające w procesie skrawania lub podwyższona temperatura narzędzia skrawającego.

Ryzyko wystąpienia wyżej wymienionych zagrożeń można ograniczyć poprzez podjęcie odpowiednich przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych, takich jak:

- prawidłowy dobór parametrów skrawania oraz narzędzi urabiających do właściwości urabianych skał, w celu minimalizacji powstawania iskier oraz pyłu węglowego,
- stosowanie skutecznego sposobu zraszania mającego na celu obniżenie temperatury powstającej na styku ostrza narzędzia skrawającego i urabianej calizny oraz wiązanie pyłu z wodą w celu usunięcia z atmosfery kopalnianej,
- prawidłowy dobór systemu wentylacji i odpylania, mającego na celu niedopuszczenie do tworzenia niebezpiecznego stężenia metanu oraz eliminację pyłu z powietrza poprzez stosowanie urządzeń odpylających.

Duże znaczenie ma właściwy dobór parametrów organu urabiającego oraz noży urabiających. Poprawę warunków urabiania i ograniczenie ilości pyłu wytwarzanego w procesie skrawania można uzyskać także poprzez technologie uprzedzające polegające na przykład na włączaniu wody do calizny lub zastosowaniu strzelania wstrząsowego.

Powszechnie stosowanym środkiem technicznym ograniczającym zapylenie jest zraszanie wodne lub wodno-powietrzne. Powszechność tej metody wynika z szeregu zalet, do których należą:

- skuteczność,
- stosunkowo niski koszt urządzeń i instalacji.

Do ujemnych skutków zraszania wodą należą:

- możliwość zmiany właściwości skał wskutek pęcznienia,
- pogorszenie warunków klimatycznych,
- nadmierne nawilgocenie urobku.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

Klimatyzacja

W celu zapewnienia efektywnego chłodzenia wyrobisk wymagane będzie oprócz stosowania urządzeń chłodniczych usytuowanych na wlocie powietrza do wyrobiska, instalowanie urządzeń chłodniczych w samym wyrobisku. W celu zapewnienia efektywnej pracy urządzeń chłodniczych wskazanym będzie prowadzenie monitoringu ich pracy, w tym również chłodnic wyparnych wody. W przypadku stosowania klimatyzacji grupowej moc chłodnicza wytwarzana będzie w pobliżu szybów głównych i przesyłana w rejony eksploatacji, gdzie wymagane będzie chłodzenie powietrza. Takie rozwiązanie pozwoli na efektywne rozprowadzanie ciepła skraplania i na poprawę warunków pracy, jak i elastyczne wykorzystanie chłodnic powietrza.

Oprócz klasycznych urządzeń chłodniczych w górnictwie stosowane będą specjalne urządzenia, umożliwiające poprawę efektywności chłodzenia (komory zraszania i chłodnice specjalne), wykorzystujące inne sposoby chłodzenia (pneumatyczne urządzenia chłodnicze i lodowe chłodnice powietrza). Stosowane będą także specjalne urządzenia do redukcji ciśnienia wody w rurociągach chłodniczych.

W oparciu o analizę stanu aktualnego i doświadczenia górnictwa światowego, prognozuje się następujące etapy rozwoju systemów klimatyzacji w polskich kopalniach węgla kamiennego:

- coraz powszechniejsze stosowanie urządzeń chłodniczych o mocy 300÷350 kW, o działaniu bezpośrednim i zasięgu obejmującym pojedyncze wyrobiska chodnikowe i ścianowe,

- instalowanie urządzeń chłodzących w wyrobiskach, w miejscach pracy w tym chłodnic przodkowych, chłodnic ścianowych i kabin klimatyzacyjnych,
- rozszerzenie stosowania kabin klimatyzacyjnych, integralnie związanych z urządzeniami górniczymi i stanowiskami pracy w rejonach wydobywczych,
- wprowadzenie komór klimatyzacyjnych w miejscach odbywania przerw w pracy, wymaganych przepisami (ograniczenie czasu przebywania w podwyższonej temperaturze),
- szersze stosowanie urządzeń chłodniczych o mocy chłodniczej 400÷2000 kW, o działaniu pośrednim i zasięgu obejmującym grupy wyrobisk chodnikowych i ścianowych,
- stosowanie klimatyzowanych środków transportu górników do rejonów pracy o podwyższonej temperaturze,
- opracowanie i wdrożenie do stosowania osobistych urządzeń chłodzących, takich na przykład jak hełmy lub kombinezony,
- wprowadzanie klimatyzacji centralnej o konfiguracji zależnej od potrzeb i możliwości inwestycyjnych kopalń,
- stopniowe łączenie wszystkich lokalnych systemów klimatyzacji w jeden system centralny, zapewniający odprowadzenie ciepła specjalnymi wyrobiskami, będącymi kanałami cieplnymi,
- wprowadzenie regulacji prawnych uwzględniających dopuszczalne obciążenie cieplne górników zatrudnionych na poszczególnych stanowiskach pracy,
- wprowadzanie urządzeń chłodniczych specjalnych, takich jak: komory zraszania, lutniociągi chłodnicze, pneumatyczne urządzenia chłodnicze i urządzenia chłodnicze wykorzystujące mieszaniny lodowodone, posiadające bardzo dużą efektywność chłodniczą,
- wykorzystanie gazów o niskiej i średniej koncentracji metanu w urządzeniach chłodzących.

Odpylanie

Na podstawie analizy aktualnego stanu technologii w Polsce i w górnictwie światowym w odniesieniu do układów wentylacji i odpylania można wskazać następujące perspektywy ich rozwoju w polskich kopalniach węgla kamiennego:

- wprowadzenie nowoczesnych technologii teleinformatycznych do dyspozytorskiego nadzoru oraz systemu szybkiego reagowania,
- wyposażenie dyspozytorni kopalń w systemy wizualizacji dróg ucieczkowych, założonych posterunków oraz wyznaczonych stref nie zagrożonych dymami pożarowymi,

- opracowanie nowych urządzeń do wentylacji lokalnej, z uwzględnieniem zwiększających się długości drażnionych wyrobisk korytarzowych,
- wprowadzenie systemów ograniczających hałas emitowany przez wentylatory,
- zwiększenie wydajności i skuteczności urządzeń odpylających,
- zastosowanie układu sterowania procesem odpylania i przewietrzania drażnionego wyrobiska chodnikowego.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Proponowane kierunki prac badawczo-rozwojowych obejmują następującą problematykę:

- opracowanie i wdrożenie skutecznego sposobu przewietrzania wyrobisk eksploatacyjnych z uwzględnieniem metanowości złoża,
- określenie niezbędnej ilości powietrza w celu zapewnienia wymaganych warunków klimatycznych i wentylacyjnych przy mniejszych wydatkach przepływającego powietrza przez szyby i wyrobiska,
- optymalizacja systemu przewietrzania i klimatyzacji w obrębie wyrobisk eksploatacyjnych ze względu na kryterium minimalizacji mocy chłodniczej,
- opracowanie koncepcji centralnego układu klimatyzacji, ze szczególnym uwzględnieniem aspektu energetycznego i ekonomicznego,
- opracowanie układu sterowania systemami odpylającymi wyrobiska chodnikowego,
- opracowanie technologii wykorzystania metanu do zasilania energetycznego urządzeń chłodniczych,
- opracowanie metod podwyższania koncentracji metanu w powietrzu wentylacyjnym powyżej dolnej granicy jego palności, a także metod jego bezpośredniej utylizacji,
- badania nad innowacyjnymi metodami redukcji emisji gazów cieplarnianych oraz utylizacji energii odpadowej poprzez wykorzystanie strumieni powietrza o niskiej i średniej koncentracji gazów palnych do celów energetycznych.

5. PROGNOZA ROZWOJU ŚCIANOWYCH SYSTEMÓW MECHANIZACYJNYCH

Marek Jaszczuk, Antoni Kozieł

Rozwój technologiczny ścianowych systemów mechanizacyjnych, stosowanych w pokładach poziomych i słabo nachylonych jest uwarunkowany [11, 15, 16]:

- obecnym stanem technologii,
- prognozą zapotrzebowania na węgiel,
- prognozą zmiany zasobów i warunków zalegania, z uwzględnieniem prognozy występowania zagrożeń,
- czynnikami ekonomicznymi.

Na podstawie oceny obecnego stanu technologii dokonano hierarchizacji systemów mechanizacyjnych w aspekcie ich innowacyjności, a także przeprowadzono analizę porównawczą stanu zasobów przemysłowych i udziału wydobycia z poszczególnych grup pokładów. Wynika z niej, że w kolejnych latach powinien nastąpić wzrost intensywności wybierania pokładów niskich i pokładów o grubości powyżej 4,5 m, natomiast w przypadku pokładów średnich warunki prowadzenia eksploatacji ulegną pogorszeniu ze względu na problemy z uzyskaniem pól ścianowych o regularnym kształcie i dużych zasobach, a także ze względu na występowanie zagrożeń o charakterze skojarzonym. Największą niewiadomą pozostają czynniki ekonomiczne. W związku z powyższym przyjęto założenie, że rozwój technologii powinien służyć przede wszystkim podwyższeniu efektywności ekonomicznej prowadzonej działalności górniczej. Konsekwencją takiego założenia było opracowanie scenariuszy w wersji optymistycznej [10].

Scenariuszami objęto:

- wyposażenie standardowe ścian niskich ($H \leq 1,5$ m) z zawalem stropu,
- wyposażenie standardowe ścian średnich ($1,5 \text{ m} < H < 2,5$ m) z zawalem stropu,
- wyposażenie standardowe ścian wysokich ($H \geq 2,5$ m) z zawalem stropu,
- wyposażenie standardowe ścian wysokich ($H \geq 2,5$ m) z podszadką hydrauliczną,
- wyposażenie ścian wysokich w systemie podbierkowym.

5.1. Scenariusz rozwoju technologii w zakresie ścian niskich

W górnictwie światowym do wybierania pokładów cienkich systemem ścianowym stosowane są obecnie kompleksy ścianowe wyposażone w:

- zespoły strugowe,
- kombajnowe systemy mechanizacyjne.

Strugowy system mechanizacyjny

W przypadku strugowych systemów mechanizacyjnych strug i przenośnik ścianowy są zintegrowane i tworzą zespół strugowy. Oferowane rozwiązania głowic strugowych umożliwiają użytkowanie ich w ścianach o wysokości $0,6 \div 2,5$ m. W zależności od wysokości ściany i urabialności węgla w pokładzie, wybiera się jedno z dwu obecnie stosowanych rozwiązań prowadzenia głowicy. Prowadzenie mieczowe umożliwia urabianie warstwy o wysokości od 0,6 m do 1,5 m, natomiast ślizgowe mogą być stosowane od wysokości 0,9 m. Poważnym mankamentem techniki strugowej jest brak możliwości dostosowania wysokości warstwy skrawanej do zmiennej wysokości ściany, związanej z nieregularnością zalegania pokładu.

Napędy zespołu strugowego wyposażone są w programowane, uniwersalne układy sterowania, o budowie modułowej, które służą do:

- bezpośredniego pomiaru parametrów pracy struga, przenośnika ścianowego i sekcji obudowy zmechanizowanej,
- kontroli poprawności działania poszczególnych elementów układu napędowego oraz realizacji procedur procesu sterowania,
- wizualizacji danych pomiarowych i ich rejestracji, programowania parametrów oraz wyświetlania komunikatów ostrzegających,
- komunikacji z pozostałymi systemami.

Automatyczne, programowane sterowanie napędów zespołu strugowego, zabezpiecza układ przed nadmiernym przeciążeniem i pozwala na dostosowanie parametrów pracy do stanu obciążenia poszczególnych napędów, co zapewnia niezawodność ciągu technologicznego. Poza tym, w zależności od stanu obciążenia napędów zespołu strugowego, koryguje się zadaną wartość zabioru, uzyskiwaną dzięki programowanemu sterowaniu sekcjami obudowy. Możliwe jest także utrzymywanie prostoliniowości czoła ściany, co jest ważne zarówno ze względów technologicznych, jak i na obciążenie napędów zespołu strugowego. System ten jest podstawą zintegrowanego automatycznego systemu sterowania strugowym systemem mechanizacyjnym, który umożliwia prowadzenie bezzałogowej eksploatacji pokładów niskich [14].

Ze względu na poziom techniczny system strugowy jest jednym z najlepiej rozwiniętych układów technologicznych stosowanych w górnictwie węgla kamiennego [26].

Istotnym czynnikiem ograniczającym zakres stosowania strugów oprócz nieregularności zalegania pokładu jest urabialność węgla w pokładzie, która wpływa istotnie na potencjał produkcyjny. Ograniczenie to wynika z wytrzymałości łańcucha zastosowanego w napędzie głowicy strugowej i mocy układów napędowych. Spłot trzech czynników: wysokości ściany, urabialności węgla w pokładzie i mocy układu napędowego głowicy strugowej decyduje bowiem o maksymalnej szerokości zabioru w warunkach danej ściany. Nieregularność zalegania pokładu utrudnia prowadzenie ściany, a także zwiększa opory ruchu zastosowanych napędów łańcuchowych.

Kolejnym czynnikiem ograniczającym potencjał produkcyjny strugów są właściwości skał otaczających. O ile nośność spągu może ograniczyć zakres stosowania prowadzenia mieczowego, to w przypadku słabych stropów problem można rozwiązać dzięki zastosowaniu nadążnego układu sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej, wyposażonymi w stropnice przednie wysuwne. Rozwiązanie to zwiększa jednak koszt wyposażenia technicznego ściany.

Oprócz czynników ograniczających, istnieją również czynniki eliminujące użytkowanie strugów. Należą do nich: występowanie uskoków i/lub występowanie w pokładzie twardych przerostów.

Pomimo wyżej wymienionych czynników ograniczających strugowy system mechanizacyjny stosowany jest z powodzeniem w Chinach, Kazachstanie, Republice Czeskiej, Niemczech, Rosji i USA. Najlepsze wyniki produkcyjne uzyskano w USA – średnie wydobycie 16000 t/dobę, przy wartości szczytowej 22600 t/dobę. W Niemczech uzyskuje się wydobywanie dobowe na poziomie 10000 t/ dobę, a w Chinach 5000 t/ dobę [14].

Re`asumując, zespoły strugowe nowej generacji charakteryzują się następującymi cechami:

- umożliwiają uzyskanie dużej wydajności w ścianach niskich, dzięki zwiększeniu mocy układu napędowego głowicy strugowej do 2*800 kW i jej prędkości do 3,6 m/s,
- pozwalają na pełną automatyzację procesu technologicznego w ścianie, a tym samym zapewniają bezpieczeństwo stanowiskowe i procesowe, a także umożliwiają prowadzenie bezzałogowej eksploatacji pokładów cienkich,
- zapewniają uzyskanie stałej szerokości zabioru wzdłuż całej długości ściany i jej korektę, w zależności od urabialności węgla, co pozwala na utrzymanie wymaganego zarysu frontu ściany,

- ich budowa umożliwia łatwość prowadzenia obsługi technicznej wynikającej z dostępności i łatwej wymiany wszystkich zużywających się elementów prowadzenia głowicy strugowej,
- umożliwiają uzyskanie grubego sortymentu węgla i zmniejszają ilość miazgi.

W przypadku strugowych systemów mechanizacyjnych istotne znaczenie ma znajomość sztuki górniczej. Stan wiedzy użytkownika i jego doświadczenie są bardzo ważne już na etapie lokalizacji strugowego systemu mechanizacyjnego. Dotyczy to w szczególności problematyki:

- usytuowania frontu ściany w stosunku do kłwiżu,
- doboru szerokości zabioru głowicy strugowej.

Na podstawie przedstawionych rozważań można stwierdzić, że ze względu na zaawansowany stan techniki strugowej w świecie i brak doświadczeń związanych ze stosowaniem strugów nowej generacji w Polsce, należy w scenariuszu rozwoju oddzielić rozwój techniki strugowej, obejmującej zagadnienia rozwoju technicznego wyposażenia, od rozwoju technologii strugowej obejmującej całokształt problematyki stosowania strugowych systemów mechanizacyjnych w polskich kopalniach węgla kamiennego.

Kombajnowy system mechanizacyjny

Poziom techniczny kombajnowych systemów mechanizacyjnych należy uznać za wysoki. Głównym mankamentem kombajnów jest ograniczony zakres stosowania, wynikający z gabarytów kombajnu, a związany z wysokością ściany i pofałdowaniem pokładu. Produkowane obecnie kombajny ścianowe mogą być stosowane bez żadnych ograniczeń od wysokości 1,6 m. W przypadku regularnie zalegających pokładów (brak pofałdowań) możliwe jest stosowanie kombajnów w specjalnym wykonaniu od wysokości ściany 1,2 m (Chiny).

Stosowane w świecie systemy automatycznego sterowania kombajnem ścianowym umożliwiają ich robotyzację. Biorąc pod uwagę jej duże koszty, jest ona realizowana na niewielką skalę. W zdecydowanej większości przypadków automatyczne sterowanie pozwala na dostosowanie prędkości posuwu w zależności od stanu obciążenia silników głównych, a w przypadku gwałtownego przekroczenia wartości założonego, największego obciążenia granicznego powoduje ono zatrzymanie kombajnu, a następnie wycofanie w celu uniknięcia kontaktu organów urabiających z calizną przed ponownym uruchomieniem. Układ prowadzi także bieżącą diagnostykę stanu poszczególnych napędów i wysyła komunikaty o stanach zagrożenia lub błędach, a także ustala położenie kombajnu w ścianie. Dane te są gromadzone w karcie pamięci, i w za-

leżności od konfiguracji systemu sterowania systemem mechanizacyjnym przesyłane są do sterownika nadrzędnego lub do komputera na powierzchni, gdzie są archiwizowane. Ponadto system automatycznego sterowania kombajnem umożliwia odtworzenie skrawu wzorcowego, co umożliwia czyste wybieranie węgla bez udziału operatora. Stopień zaawansowania technologicznego tego układu umożliwia bieżącą korektę położenia organów wynikającą ze zmienności zalegania pokładu lub też wymaga ponownego wykonania skrawu wzorcowego z udziałem operatora. Robotyzacja kombajnów związana jest ze stosowaniem pierwszej, z wyżej wymienionych opcji, a także wymaga zaprogramowania i bieżącej kontroli realizacji wszystkich funkcji związanych z przebiegiem cyklu produkcyjnego w ścianie, dla przyjętej technologii urabiania.

W górnictwie światowym stosowane są także zaawansowane systemy sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej i układami napędowymi przenośników zgrzeblowych, co pozwala na zintegrowane sterowanie całym systemem.

Stosowanie kombajnów w ścianach niskich jest ograniczone ze względu na gabaryty wyposażenia technicznego. Potencjał produkcyjny kombajnu w warunkach ścian niskich w większym stopniu uwarunkowany jest czynnikami ergonomicznymi niż parametrami samego kombajnu. Wynika to z faktu, że obecnie kombajnista podąża za kombajnem, co w warunkach ograniczonej przestrzeni znacznie zmniejsza uzyskiwaną prędkość posuwu. Ograniczenie potencjału produkcyjnego kombajnowego systemu mechanizacyjnego może istotnie wpłynąć na możliwość prowadzenia efektywnej ekonomicznie eksploatacji.

Obecnie w Polsce prowadzone są tylko trzy ściany niskie i wszystkie wyposażone są w kombajny. Uzyskiwane wydobywanie wynosi od 650 do 2000 t/dobę.

W odniesieniu do obu technologii szczególnie istotne są następujące kryteria: spełnienie wymogów bezpieczeństwa, ograniczenie oddziaływania skutków na środowisko, znajomość sztuki górniczej.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

W zakresie techniki strugowej należy oczekiwać zmian, które będą obejmowały:

- zastosowanie łańcuchów specjalnych prac, o zwiększonej wytrzymałości, przy zachowaniu wysokości ogniw obecnie stosowanych łańcuchów strugowych,
- zwiększenie mocy układów napędowych do 2*1200 kW,
- wprowadzenie nowej generacji noży strugowych,
- udoskonalenie kompleksu CLM.

Rozwój technologii strugowej przewiduje następujące etapy:

- opracowanie i wdrożenie technologii wykorzystania metanu do zasilania energetycznego urządzeń chłodzących (jest to zagadnienie ogólne, które dotyczy również ścian kombajnowych),
- szkolenie operatorów i pracowników obsługi technicznej strugowych systemów mechanizacyjnych,
- uruchomienie pilotażowych strugowych systemów mechanizacyjnych,
- pozyskanie niezbędnych doświadczeń eksploatacyjnych,
- opracowanie metodyki lokalizacji strugowych systemów mechanizacyjnych,
- podjęcie produkcji krajowych rozwiązań zespołów strugowych,
- stosowanie pełnej automatyzacji strugowych systemów mechanizacyjnych,
- bezzałogowa eksploatacja pokładów cienkich przy użyciu strugowych systemów mechanizacyjnych,
- użytkowanie kompleksu CLM.

W zakresie techniki kombajnowej należy oczekiwać prac obejmujących:

- zaprojektowanie kombajnów typu compact umożliwiających urabianie w ścianach o wysokości 1,2 m,
- wykonanie i badania prototypu kombajnu typu compact,
- produkcję seryjną kombajnów typu compact,
- robotyzację kombajnów,
- wprowadzenie zintegrowanego sterowania kombajnowymi systemami mechanizacyjnymi,
- użytkowanie kombajnów compact,
- wprowadzenie nanotechnologii do sterowania kombajnowymi systemami mechanizacyjnymi,
- bezzałogową eksploatację pokładów cienkich przy użyciu kombajnowych systemów mechanizacyjnych.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Proponowane kierunki prac badawczo-rozwojowych są następujące:

- opracowanie i wdrożenie technologii wykorzystania metanu do zasilania energetycznego urządzeń chłodzących,
- opracowanie metodyki lokalizacji strugowych systemów mechanizacyjnych,
- opracowanie zintegrowanego sterowania kombajnowymi i strugowymi systemami mechanizacyjnymi,

- wprowadzenie czujników optoelektronicznych, piezoelektrycznych i nanotechnologii do sterowania systemami mechanizacyjnymi,
- opracowanie technologii zbrojenia ściany niskiej.

5.2. Scenariusz rozwoju technologii dotyczący ścian średnich

W górnictwie polskim, w ścianach średnich stosowane są wyłącznie kombajnowe systemy mechanizacyjne. Natomiast w górnictwie światowym stosowane są zarówno systemy kombajnowe, jak i strugowe.

Kombajnowy system mechanizacyjny

Kombajnowe systemy mechanizacyjne stosowane w ścianach średnich zaliczane są do najbardziej efektywnych systemów mechanizacyjnych w górnictwie węgla kamiennego. Wynika to z faktu, że są najbardziej zaawansowane technicznie, a jednocześnie w ścianach występuje najmniej czynników wpływających negatywnie na przebieg procesu produkcyjnego. Dzięki szerokiemu zakresowi mocy silników napędzających układy robocze kombajnu, można odpowiednio dobrać rozwiązanie techniczne kombajnu, zapewniające, w warunkach danego pokładu, uzyskanie wymaganego wydobycia.

Kolejnym czynnikiem decydującym o efektywności lub skuteczności (uzyskanie założonej ilości grubych lub średnich sortymentów) jest możliwość doboru odpowiedniej technologii urabiania. Technologia dobierana jest w zależności od występujących zagrożeń i warunków zalegania pokładu. Stosowanie kombajnów z dwoma zakresami prędkości posuwu sprawia, że wskaźnik sprawności operacyjnej, przy technologii urabiania jednostronnego, nie odbiega od uzyskiwanych przy urabianiu dwustronnym. Brak ograniczeń związanych z przemieszczaniem się kombajnisty i jego pomocnika za kombajnem sprawia, że o jego wydajności decydują parametry techniczne i prawidłowość doboru organów urabiających do warunków danej ściany.

W odniesieniu do przenośników ścianowych brak jest zaawansowanych technologicznie układów napędowych, w całości produkowanych w Polsce. Dotyczy to głównie sprzęgła umożliwiających łagodny rozruch załadowanego przenośnika oraz zabezpieczających podzespoły napędu przed nadmiernym przeciążeniem. Stosowanie przenośników w przodkach o dużej długości wymaga sterowania napięciem resztkowym łańcucha zgrzeblowego, w celu redukcji amplitudy i częstotliwości obciążenia dynamicznego łańcucha i układu napędowego. Produkowane w Polsce, zaawansowane pod względem materiałowym i technologii wykonania, sekcje obudowy zmechanizowanej wymagają wyposażenia,

w opracowane i produkowane w Polsce, systemy sterowania, oparte na elementach elektrohydraulicznych i sterownikach lokalnych, umożliwiających stosowanie sterowania sekwencyjnego bezpośredniego, zdalnego lub automatycznego.

Strugowy system mechanizacyjny

Ocena systemów strugowych, w świetle kryterium skuteczności stosowania w ścianach średnich, jest niższa w porównaniu ze ścianami niskimi. Wynika to z faktu, że potencjał produkcyjny, pomimo wzrostu wysokości ściany, jest niższy. Przekrój warstwy skrawanej, zależny od wysokości ściany i szerokości zabioru, przy określonej urabialności węgla jest ograniczony mocą napędów głowicy strugowej i wytrzymałością łańcucha pociągowego. Poza tym występuje dodatkowe ograniczenie siły użytecznej związanej z operacją urabiania calizny, spowodowane zwiększeniem oporów przemieszczania głowicy, poprzez prowadzenie portalowe. Ponadto użytkowanie strugów w ścianach średnich związane jest z występowaniem większej, w porównaniu z kombajnami, intensywnością odspajania górnych naroży pokładu, co powoduje odstonięcie stropu na większej powierzchni. Jest to czynnik ograniczający możliwość stosowania opcji pełnej automatyzacji operacji zabudowy stropu. Cechą pozytywną stosowania strugów jest możliwość uzyskania większego wychodu grubych sortymentów urobku (co jest istotne w przypadku węgla energetycznych), przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości mialu.

W odniesieniu do systemów mechanizacyjnych dla ścian średnich szczególnie istotne są kryteria skuteczności technologii w realizacji potrzeby technicznej i spełnienia wymogów bezpieczeństwa.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

Uwzględniając zaawansowany w polskich kopalniach węgla kamiennego stan techniki w odniesieniu do kombajnów, ale odbiegający od górnictwa światowego stan poziomu technicznego systemów sterowania pozostałych maszyn i urządzeń ścianowych, w zakresie proponowanych technologii należy oczekiwać następujących prac:

- kształcenie specjalistów w zakresie mechatroniki,
- opracowanie nowej metody doboru parametrów sekcji obudowy zmechanizowanej dla ścian o dużych postęпах dobowych,
- opracowanie i wdrożenie zintegrowanego systemu sterowania maszyn i urządzeń ścianowych,
- opracowanie i wdrożenie zaawansowanego systemu diagnostyki technicznej,

- wprowadzenie sterowania elektrohydraulicznego sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie wysoko wydajnych kombajnów o prędkości posuwu 35 m/min i sumarycznej mocy silników 2000 kW,
- wprowadzenie sterownia automatycznego sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- opracowanie i wdrożenie nowych technologii zbrojenia ściany i alokacji wyposażenia technicznego,
- kontynuacja prac badawczo-rozwojowych i wdrożenie systemu geotomografii komputerowej,
- zastosowanie systemu geotomografii komputerowej do monitorowania stanu naprężenia w górotworze,
- opracowanie zaawansowanego systemu zabezpieczenia sekcji przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu,
- wprowadzenie nowej generacji układów zasilania elektroenergetycznego,
- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania procesem produkcyjnym w ścianie,
- wdrożenie zaawansowanego systemu zabezpieczenia sekcji przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Proponowane kierunki prac badawczo-rozwojowych powinny obejmować następującą problematykę:

- opracowanie koncepcji programowanego sterowania sekcji obudowy zmechanizowanej, pozwalającego na sterowanie grupowe, zdalne lub automatyczne,
- opracowanie nowej metody doboru parametrów sekcji obudowy zmechanizowanej dla ścian o dużych postępach dobowych,
- opracowanie zintegrowanego systemu sterowania maszyn i urządzeń ścianowych w celu wdrożenia bezzałogowego systemu ścianowego,
- opracowanie zaawansowanego systemu diagnostyki technicznej opartego o układy sztucznej inteligencji,
- opracowanie programowanych systemów sterowania układem napędowym ścianowego przenośnika zgrzeblowego, uwzględniających problematykę nadążnej zmiany napięcia resztkowego łańcucha,
- opracowanie nowych technologii zbrojenia ściany i alokacji wyposażenia technicznego,
- kontynuacja prac badawczo-rozwojowych i wdrożenie systemu geotomografii komputerowej,
- opracowanie zaawansowanego systemu zabezpieczenia sekcji przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu.

5.3. Scenariusz rozwoju technologii w zakresie ścian wysokich

W górnictwie światowym stosowane są trzy metody wybierania pokładów grubych systemem ścianowym:

- na pełną grubość, z zawalem stropu,
- na warstwy równoległe do uławicenia pokładu,
- podbierkowa.

Ściany wysokie prowadzone na pełną grubość, z zawalem stropu

Zakres stosowania kombajnowych systemów mechanizacyjnych w ścianach wysokich, z zawalem stropu, obejmuje ściany do wysokości 6,5 m. Ze wzrostem wysokości ściany maleje jednak efektywność ekonomiczna systemu. Wynika to z faktu, że zwiększa się intensywność zjawiska wypychania naroży pokładu, co powoduje konieczność stosowania stropnic sekcji obudowy o złożonej konstrukcji i dodatkowego wyposażenia kombajnu w kruszarkę kęsów. Zjawisko to zwiększa zagrożenie dla załogi zatrudnionej w ścianie, a także jest bezpośrednią przyczyną dodatkowych, nieprzewidzianych przerw w pracy systemu. Wzrost wysokości sprawia również, że coraz trudniejsze staje się zapewnienie stateczności kombajnu i sekcji obudowy zmechanizowanej. Zmniejsza się bowiem sztywność sekcji obudowy, którą powinna cechować relatywnie wyższa podporność robocza. Może to stwarzać problemy z uzyskaniem prawidłowego stanu utrzymania stropu wyrobiska. Powyższe czynniki sprawiają, że zdecydowana większość ścian wysokich, prowadzonych z zawalem stropu w polskim górnictwie węgla kamiennego, nie przekracza obecnie 4,5 m.

Wspomniane powyżej zjawisko wypychania górnych naroży pokładu wymaga stosowania osłon czoła ściany, które ograniczają jedynie zasięg odpadających brył w strefie, gdzie są one opuszczone. Zachodzi jednak konieczność podniesienia osłon przed kombajnem, co powoduje odsłonięcie czoła ściany na całej wysokości wyrobiska. Drgania calizny generowane przez urabiający kombajn są czynnikiem inicjującym samoczynne odspajania brył od czoła ściany, co może powodować zagrożenie dla załogi. Stosowanie urabiania dwustronnego lub jednostronnego, przeciwnego do zwrotu odstawy, związane jest z koniecznością wyposażenia kombajnu w kruszarkę kęsów, rozbijającą duże bryły na takie, które mogą być przetransportowane pod kombajnem. Zabezpiecza to system przed uszkodzeniami, ale może prowadzić do przerw w urabianiu calizny. Poprawę bezpieczeństwa stanowiskowego można uzyskać poprzez robotyzację, stosowanie sterowania zdalnego lub automatycznego sekcjami obudowy zmechanizowanej. Złożoność przebiegu procesu technologicznego w tych warunkach nie pozwala jednak na całkowite wycofanie załogi z przodka, gdyż sterowanie powinno odbywać się pod kontrolą operatorów wyposażenia.

Ściany wysokie prowadzone systemem podsadzkowym

Wyposażenie techniczne ścian wysokich, z podsadzką hydrauliczną, różni się od wyżej wymienionego systemu sekcjami obudowy, stosowaniem tamy podsadzkowej i instalacji do podsadzania. W ścianie prowadzone są dwa procesy technologiczne. Każde zakłócenie realizacji jednego z nich i niedotrzymanie reżimu technologicznego skutkuje przerwami w pracy i pogorszeniem dyspozycyjności całego systemu. Podsadzanie wymaga realizacji dodatkowych czynności związanych z przebudową tamy i stawianiem obudowy drewnianej. Odbywa to się w przestrzeni za sekcjami obudowy zmechanizowanej, w której prowadzony jest rurociąg podsadzkowy. Obecny poziom techniczny systemu mechanizującego jest niezadowalający, gdyż brak jest w pełni zmechanizowanej tamy przesuwnej, która obniżyłaby praco- i czasochłonność całego procesu technologicznego. Poza tym uzależnienie od siebie obu procesów i wynikająca stąd duża liczba czynników zakłócających, znacznie ogranicza zakres stosowania sterowania automatycznego lub zdalnego poszczególnymi maszynami i urządzeniami.

Ściany wysokie prowadzone systemem podbierkowym

System mechanizacyjny stosowany w podbierkowym systemie eksploatacji, doskonalono przez ostatnie 20 lat. W Chinach osiągnął stopień rozwoju, który sprawił, że zainteresowali się nim przodujący producenci maszyn górniczych w świecie. Pozwala on na efektywną ekonomicznie eksploatację pokładów o grubości do 9 m, poprzez prowadzenie ściany o wysokości około 3 m i dodatkowego pozyskiwania węgla z części pokładu stanowiącej strop wyrobiska [5, 20]. Dzięki temu unika się problemów związanych z prowadzeniem eksploatacji pokładu na warstwy, a ponadto uzyskuje się bardzo korzystny wskaźnik udziału robót przygotowawczych. Ocenę skuteczności obniża znacznie fakt pozostawiania znacznej ilości węgla w zrobach wyrobiska, co znacznie obniża wartość wskaźnika czystości wybierania złoża i stwarza zagrożenie powstania pożaru endogenicznego. Dotychczas udało się uzyskać maksymalną wartość wskaźnika czystości wybierania złoża wynoszącą 85%. Do strat należy dodać ponadto węgiel pozostawiony w filarach ochronnych, pomiędzy podwójnymi chodnikami. Kolejnym istotnym czynnikiem tej technologii jest zależność uzyskiwanego wydobywania dobowego od doświadczenia i wiedzy załogi.

Przebieg procesu produkcyjnego w przodku nie różni się od metody konwencjonalnej. Istnieje dodatkowy czynnik, mogący ograniczyć postęp dobowy ściany, który związany jest pozyskiwaniem węgla z warstwy stropowej. Dochodzi do sytuacji, że proces podbierania wstrzymywany jest przez proces urabiania calizny przez kombajn ścianowy.

Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na wydobycie i bezpieczeństwo prowadzonych prac jest uzyskanie założonych parametrów wentylacji wyrobiska, w aspekcie intensywnego wydzielania się metanu i zwiększenia zapylenia wyrobiska.

Wybieranie pokładów grubych stanowi poważne wyzwanie ze względu na:

- konieczność zabezpieczenia operatorów przed odpadającymi od czoła ściany bryłami węgla lub/i odłamkami skał odspojonymi od stropu,
- zapewnienie stateczności kombajnu i sekcji obudowy zmechanizowanej w ścianie,
- oddziaływanie na środowisko.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

Ze względu na fakt, że technologia wybierania pokładów grubych na pełną miąższość ścianami, z zawalem stropu, jest znana i od wielu lat stosowana, rozwój technologii będzie polegał głównie na rozwoju technicznym. Poszczególne etapy tego rozwoju będą następujące:

- wprowadzenie kombajnów o prędkości posuwu 35 m/min i mocy silników napędzających organy urabiające 1000 kW,
- wprowadzenie kombajnów o prędkości posuwu 35 m/min i mocy silników napędzających organy urabiające 1500 kW,
- podjęcie produkcji krajowych, wysoko wydajnych przenośników zgrzeblowych o maksymalnej wydajności 4000 t/h,
- wprowadzenie do układu napędowego przenośnika zgrzeblowego nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha zgrzeblowego,
- wprowadzenie sterowania elektrohydraulicznego sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie sterownia elektrohydraulicznego automatycznego sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie nowej generacji układów zasilania elektroenergetycznego,
- zastosowanie wysoko wydajnych układów zasilania hydraulicznego sekcji obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania procesem produkcyjnym w ścianie.

Ponieważ proces urabiania ściany, ładowania urobku na przenośnik i odstawy urobku w ścianie podszkawkowej nie różni się od stosowanego w ścianie z zawalem stropu, operacje te wykonywane będą przez takie

same maszyny. Różnica polegać będzie na przebiegu operacji kierowania stropem, przy wykorzystaniu sekcji obudowy zmechanizowanej, dostosowanych do wymogów tej operacji, względnie stosowaniu sekcji o specjalnej konstrukcji. Zatem rozwój technologii będzie przebiegał dwutorowo: rozwój techniczny maszyn urabiających (kombajny) i przenośników ścianowych będzie wynikał z rozwoju technologii systemów ścianowych w pokładach średnich i w ścianach wysokich prowadzonych z zawałem stropu, natomiast rozwój techniki i technologii podszadzenia będzie przebiegał oddzielnie, lecz w ścisłym powiązaniu z pozostałymi maszynami ścianowymi.

Rozwój technologii w tym zakresie będzie obejmował następujące etapy:

- wprowadzenie kombajnów o prędkości roboczej posuwu 35 m/min i sumarycznej mocy silników 2000 kW,
- wprowadzenie kombajnów o prędkości roboczej posuwu 45 m/min i mocy 3000 kW,
- podjęcie krajowej produkcji przenośników ścianowych o mocy 2400 kW,
- wprowadzenie do układu napędowego przenośnika zgrzeblowego nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha zgrzeblowego,
- wprowadzenie zdalnego sterowania elektrohydraulicznego sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie nowej generacji układów zasilania elektroenergetycznego,
- opracowanie zmechanizowanej tamy podszadzkowej, zintegrowanej z sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie zmechanizowanej tamy podszadzkowej, zintegrowanej z sekcjami obudowy zmechanizowanej.

Metoda podbierkowa została w Polsce zaniechana kilkanaście lat temu. Stąd należy analizować doświadczenia innych krajów (Chiny, Australia) i prowadzić prace mające na celu opracowanie metod lokalizacji wyrobiska z wykorzystaniem modelowania górotworu, zaprojektowanie sekcji obudowy zmechanizowanej i przenośnika do pozyskiwania węgla z warstwy podbieranej, oraz opracowanie systemu automatycznego sterowania procesem pozyskiwania węgla z podbieranej warstwy.

W szczególności rozwój technologii w tym zakresie będzie obejmował następujące etapy:

- opracowanie rozwiązania technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej do metody podbierkowej,

- wprowadzenie zintegrowanego sterowania systemem mechanizacyjnym w odniesieniu do procesu technologicznego urabiania mechanicznego calizny,
- wprowadzenie systemu automatycznego sterowania procesem pozyskiwania węgla z podbieranej warstwy.

W odniesieniu do metody podbierkowej trzeba będzie uwzględnić dodatkowo etap szkolenia załogi i zdobycie niezbędnego doświadczenia ruchowego.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Rozwój technologii w zakresie ścian wysokich wymaga podjęcia następującej problematyki:

- opracowanie systemu zarządzania bezpieczeństwem w przodku ścianowym obejmującego: system monitorowania środowiska górniczego i system teleinformatyczny,
- wprowadzenie do układu napędowego przenośnika zgrzeblowego nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha zgrzeblowego,
- opracowanie rozwiązania technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej dla metody podbierkowej,
- opracowanie systemu automatycznego sterowania procesem pozyskiwania węgla z podbieranej warstwy opartego na sztucznej inteligencji,
- doskonalenie systemu mechanizacyjnego przeznaczonego do ścian podsadzkowych ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązania w pełni zmechanizowanej tamy przesuwnej i systemu kontroli przebiegu obu procesów technologicznych w ścianie,
- robotyzacja kombajnów ścianowych stosowanych w ścianach wysokich.

5.4. Rozwój układów automatyki, sterowania i diagnostyki ścianowych systemów mechanizacyjnych

Biorąc pod uwagę czynniki warunkujące rozwój układów sterowania maszyn i urządzeń stanowiących wyposażenie techniczne ścian, w odniesieniu do poszczególnych zakresów wysokości ściany oraz metod eksploatacji można przewidywać następujące etapy rozwoju układów automatyki, sterowania i diagnostyki w systemach ścianowych [17, 18, 43].

Ściany niskie

Przewiduje się ponowne stosowanie techniki strugowej w polskich kopalniach węgla kamiennego. Etapy rozwoju systemów sterowania i automatyki w technologii strugowej powinny być następujące:

- opracowanie modułów sterowania poszczególnymi maszynami i urządzeniami zespołu strugowego,
- podjęcie produkcji krajowych rozwiązań zespołów strugowych,
- pełna automatyzacja strugowych systemów mechanizacyjnych,
- bezzałogowa eksploatacja pokładów cienkich przy użyciu strugowych systemów mechanizacyjnych.

W rozwoju technologii kombajnowej w ścianach niskich w zakresie systemów sterowania i automatyki przewiduje się następujące etapy:

- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania kombajnowymi systemami mechanizacyjnymi,
- wprowadzenie nanotechnologii do sterowania kombajnowymi systemami mechanizacyjnymi,
- bezzałogowa eksploatacja pokładów cienkich przy użyciu kombajnowych systemów mechanizacyjnych.

Ściany średnie

Ze względu na zaawansowany stan polskiej techniki w odniesieniu do kombajnów, ale odbiegający od górnictwa światowego, a także ze względu na poziom techniczny systemów sterowania pozostałych maszyn i urządzeń ścianowych, przewiduje się następujące etapy realizacji prac:

- wprowadzenie sterowania elektrohydraulicznego sekcji obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha przenośnika zgrzeblowego,
- opracowanie zintegrowanego systemu sterowania maszyn i urządzeń ścianowych,
- wdrożenie zaawansowanego systemu diagnostyki technicznej,
- zastosowanie systemu geotomografii komputerowej do monitorowania stanu względnych naprężeń,
- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania procesem produkcyjnym w ścianie,
- wdrożenie zaawansowanego systemu zabezpieczenia sekcji przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu.

Ściany wysokie

Rozwój systemów sterowania i automatyki należy rozpatrywać oddzielnie dla poszczególnych systemów mechanizacyjnych, przeznaczonych dla ścian prowadzonych analizowanymi metodami wybierania pokładów grubych.

Wybieranie pokładów na pełną grubość:

- wprowadzenie nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha przenośnika zgrzeblowego,
- wprowadzenie zdalnego układu elektrohydraulicznego sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania procesem produkcyjnym w ścianie.

Wybieranie pokładów na warstwy:

- wprowadzenie nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha przenośnika zgrzeblowego,
- wprowadzenie zdalnego elektrohydraulicznego sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej.

Wybieranie pokładu metodą podbierkową:

- wprowadzenie nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha przenośnika zgrzeblowego,
- wprowadzenie zdalnego układu elektrohydraulicznego sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- wprowadzenie zintegrowanego sterowania systemem mechanizacyjnym w procesie urabiania calizny,
- wprowadzenie systemu automatycznego sterowania procesem pozyskiwania węgla z podbieranej warstwy.

Biorąc pod uwagę łączne potrzeby związane ze sterowaniem systemami strugowymi i kombajnowymi rozwój technologii będzie obejmował etapy:

- opracowanie modułów sterowania napędami zespołu strugowego,
- podjęcie produkcji krajowych rozwiązań modułów sterowania zespołów strugowych,
- stosowanie pełnej automatyzacji strugowych systemów mechanizacyjnych,
 - wprowadzenie nanotechnologii do sterowania kombajnowymi systemami mechanizacyjnymi,
 - wprowadzenie układu elektrohydraulicznego sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej,
 - wprowadzenie nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha przenośnika zgrzeblowego,
 - opracowanie zintegrowanego systemu sterowania maszyn i urządzeń ścianowych,

- zastosowanie zintegrowanego systemu sterowania maszyn i urządzeń ścianowych,
- wprowadzenie sterowania automatycznego sekcjami obudowy zmechanizowanej,
- opracowanie zaawansowanego systemu diagnostyki technicznej,
- wprowadzenie zaawansowanego systemu diagnostyki technicznej,
- zastosowanie systemu geotomografii komputerowej do monitorowania stanu naprężenia w górotworze,
- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania procesem produkcyjnym w ścianie,
- wdrożenie zaawansowanego systemu zabezpieczenia sekcji przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu,
- wprowadzenie systemu automatycznego sterowania procesem pozyskiwania węgla z podbieranej warstwy.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Rozwój systemów automatyki i diagnostyki w polskim górnictwie węgla kamiennego uwarunkowany będzie podjęciem następującej problematyki:

Ściany niskie

- opracowanie technologii elektrohydraulicznego sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej, pozwalającego na sterowanie grupowe, zdalne lub automatyczne,
- opracowanie zintegrowanego sterowania kombajnami i strugowymi systemami mechanizacyjnymi,
- wprowadzenie czujników optoelektronicznych, piezoelektronicznych i nanotechnologii do sterowania systemami mechanizacyjnymi,
- robotyzacja kombajnów ścianowych stosowanych w ścianach niskich.

Ściany średnie

- opracowanie koncepcji elektrohydraulicznego sterowania sekcjami obudowy zmechanizowanej pozwalającej, na sterowanie grupowe, zdalne lub automatyczne,
- opracowanie zintegrowanego systemu sterowania maszyn i urządzeń ścianowych,
- opracowanie zaawansowanego systemu diagnostyki technicznej opartego o układy sztucznej inteligencji,
- opracowanie programowanych systemów sterowania układem napędowym ścianowego przenośnika zgrzeblowego, uwzględniających

problematykę nadążnej regulacji napięcia resztkowego łańcucha zgrzeblowego,

- kontynuacja prac badawczo-rozwojowych i wdrożenie systemu geotomografii komputerowej,
- opracowanie zaawansowanego systemu zabezpieczenia sekcji przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu.

Ściany wysokie

- opracowanie systemu zarządzania bezpieczeństwem w przodku ścianowym obejmującego: ścianowy system mechanizacyjny, system monitorowania środowiska górniczego i system teleinformatyczny,
- wprowadzenie nadążnego układu automatycznej regulacji napięcia wstępnego łańcucha przenośnika zgrzeblowego,
- opracowanie opartego na sztucznej inteligencji systemu automatycznego sterowania procesem pozyskiwania węgla z podbieranej warstwy,
- robotyzacja kombajnów ścianowych stosowanych w ścianach wysokich.

6. PROGNOZA ROZWOJU SYSTEMÓW TRANSPORTU

Jerzy Antoniak, Marek Jaszczuk, Leszek Kowal, Aleksander Lutyński, Jerzy Pasek, Edward Pieczora

6.1. Scenariusz rozwoju systemów odstawy urobku przenośnikami taśmowymi

Przenośniki taśmowe stanowią powszechnie stosowany środek odstawy urobku ze ścian wydobywczych. Aktualnie powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest transport urobku systemem przenośnikowym pod szyb, a w nielicznych przypadkach wprost na powierzchnię kopalni. Proponowane obecnie przez producentów rozwiązania cechuje nowoczesność. W napędach stosowane są sprzęgła hydrodynamiczne, rozruszniki tyrystorowe lub przemienniki częstotliwości. Przenośniki mogą być wyposażane w pętlicowe zasobniki taśmy oraz stacje napinające ciężarowe, wciągarkowe, hydrauliczne i nadażne. Trasa przenośnika wykonywana jest w sposób zabezpieczający taśmę przed uszkodzeniami. Jednocześnie możliwe jest krzywoliniowe prowadzenie trasy przenośnika, zarówno w płaszczyźnie pionowej, jak i poziomej. W przenośnikach stosowane są niepalne przekładkowe i jednolicie tkane taśmy przenośnikowe, o wysokiej trwałości [1, 49]. Obecnie w przenośnikach taśmowych odstawy głównej najczęściej stosowane są taśmy o szerokości 1200 mm. Stosowane szerokości i prędkości taśmy zapewniają odbiór urobku. Przy pracy przenośnika w poziomie stosowane moce silników napędowych zapewniają budowę przenośników o długości do 3000 m. Przenośniki taśmowe mogą pracować z systemami sterowania, które umożliwiają automatyzację pracy i monitorowanie podstawowych parametrów techniczno-ruchowych. Niestety w przeważającej liczbie kopalń stosuje się systemy odstawy o przestarzałych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Przeciętna długość przenośnika wynosi około 200 m, w związku z tym relatywnie mała jest moc ich układów napędowych. W nielicznych przypadkach stosowane są urządzenia łagodnego rozruchu i nowoczesne stacje napinające taśmę. Powszechnie stosowane są stacje napinające o stałym położeniu bębna napinającego. Trasy przenośników są przestarzałe i nie zabezpieczają taśmy przenośnikowej przed uszkodzeniami. Stosunkowo niewielki jest zakres monitorowanych parametrów pracy przenośników.

W polskim górnictwie węgla kamiennego występują przypadki ograniczania koncentracji wydobywania ze ścian ze względu na zbyt małą wydajność odstawy przenośnikowej. W celu uniknięcia przerw w wy-

dobyciu związanych z przeciążeniem przenośników taśmowych planuje się w przyszłości zainstalowanie przenośników z taśmą o szerokości 1400 mm, a w dalszej kolejności wyposażenie napędów w przemienniki częstotliwości. Przewiduje się też dostosowanie tych przenośników do przewozu załogi.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

Biorąc pod uwagę prognozę wydajności ścianowych systemów mechanizacyjnych:

- na poziomie 4000 t/h,
- na poziomie 3000 t/h,

konieczne będzie zastosowanie przenośników taśmowych o następujących parametrach:

- dla 4000 t/h: szerokość taśmy 1600 mm przy prędkości 3,6 m/s oraz nachyleniu krążników bocznych zestawu 35°,
- dla 3000 t/h: szerokość taśmy 1400 mm przy prędkości taśmy 3,6 m/s oraz nachyleniu krążników bocznych zestawu 35°.

Powszechnym zastosowaniem w przenośnikach taśmowych odstawy głównej będą:

- napędy z przemiennikami częstotliwości, pozwalające na zmianę prędkości taśmy w zależności od parametrów strugi urobku, a także na potrzeby przewidywanej jazdy ludzi,
- nadszarpne stacje napinające,
- w przenośnikach taśmowych podścianowych zasobniki pętlicowe o dużej zdolności magazynowania taśmy,
- taśmy o wysokiej wytrzymałości, z rdzeniami, zależnie od potrzeb i usytuowania: jednolicie tkanych z linkami stalowymi lub aramidowymi,
- systemy monitorujące stan taśmy przenośnikowej,
- systemy sterujące pracą przenośników oraz monitorujące parametry techniczno-ruchowe,
- układy zintegrowanego sterowania ciągami przenośników,
- nowoczesne rozwiązania stacji przesypowo załadowniczych, zmniejszających zapylenie (przesypy zamknięte) oraz ograniczające obciążenie dynamiczne i zużycie taśmy,
- nowoczesne rozwiązania krążników o niższych oporach ruchu, niższym poziomie emitowanego hałasu i większej trwałości,
- hamulce mechaniczne instalowane przy zmiennej konfiguracji trasy na wznoszących i opadających odcinkach.

Systemy odstawy urobku będą się charakteryzowały:

- zwiększoną liczbą przenośników transportujących urobek na powierzchnię,
- ograniczoną liczbą i pojemnością zbiorników wyrównawczych w systemie,
- stosowaniem przenośników o większych długościach, co korzystnie wpłynie na dyspozycyjność i koszty odstawy,
- ograniczeniem poziomu emitowanego hałasu,
- mniejszym pyleniem,
- mniejszymi kosztami transportu urobku.

W zakresie przenośników taśmowych należy oczekiwać następujących etapów rozwoju systemów transportu:

- zaprojektowanie i uruchomienie produkcji energooszczędnych przenośników taśmowych o szerokości taśmy 1,4 m oraz 1,6 m,
- opracowanie komputerowych metod projektowania przesypów dużej wydajności i ograniczających pylenie,
- opracowanie konstrukcji przesypów zapewniających ochronę taśmy przenośnikowej i pełne zabezpieczenie przed pyleniem,
- opracowanie i wdrożenie taśm trudno palnych i o właściwościach antystatycznych z rdzeniem z linek aramidowych,
- wykonanie i badania prototypu nowych krążników o zwiększonej średnicy, zapewniających zmniejszenie poziomu hałasu i ograniczających opory ruchu, o zmniejszonej masie własnej i zwiększonej trwałości,
- opracowanie i wdrożenie układów automatyzacji i monitorowania systemów przenośnikowych,
- zaprojektowanie nowoczesnych napędów średniej i dużej mocy na napięcie zasilania 3,3 kV, wyposażonych w silniki zintegrowane z przemiennikami częstotliwości oraz w przetworniki umożliwiające pełną diagnostykę napędów,
- zaprojektowanie przenośników wznoszących i opadających, o dużych wydajnościach, umożliwiających przewóz załogi,
- zaprojektowanie i wdrożenie sterowanych układów hamulcowych nowej generacji, uwzględniających obciążenie przenośnika taśmowego.

W rozwoju technologii transportu przenośnikami taśmowymi przewiduje się następujące przedsięwzięcia:

- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania ciągiem przenośników taśmowych,
- wprowadzenie, jako powszechnego, łączenia taśm przenośnikowych technologią wulkanizacji na gorąco,

- wyeliminowanie prowadzenia taśm przy użyciu krażników z wyprzedzeniem (we wszystkich zestawach krażnikowych) i zastosowanie specjalnych zestawów prowadzących taśmę liniowo,
- wprowadzenie do systemów odstawy urobku przenośników o zwiększonej wydajności, o prędkości taśmy do 4,1 m/s,
- zwiększenie udziału systemów informatycznych w gospodarce materiałowej przenośników taśmowych (system rejestracji wymian, uszkodzeń, napraw i łączy taśm oraz zużycia poszczególnych elementów przenośnika).

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Wprowadzenie wyżej opisanych zmian związane będzie z realizacją prac badawczo-rozwojowych ukierunkowanych na:

- doskonalenie układów sterowania systemami odstawy,
- doskonalenie systemów monitorowania, ze szczególnym uwzględnieniem przenośników pracujących po wzniosie, użytkowanych pomiędzy poziomami wydobywczymi kopalni oraz odstawiającymi urobek na powierzchnię.

6.2. Scenariusz rozwoju technologicznego transportu pionowego linowego

W polskim, jak i światowym górnictwie podstawową technologią transportu pomiędzy wyrobiskami podziemnymi, a powierzchnią kopalni jest transport pionowy linowy.

Transport pionowy linowy jest stosowany w około 250 szybach, do głębokości około 1300 m.

System mechanizacyjny transportu pionowego-linowego składa się z następujących podstawowych maszyn i urządzeń [47]:

- maszyna wyciągowa,
- liny nośne i liny wyrównawcze,
- naczynia wydobywcze,
- systemy prowadzenia naczyń,
- koła linowe i odciskowe,
- systemy komunikacji i sterowania,
- systemy bezpieczeństwa,
- system zasilania,
- systemy diagnostyczne.

Do rozwoju technologii transportu pionowego linowego przyczyniają się głównie kraje, w których eksploatacja prowadzona jest na głębokości 3000-4000 m. Ocenia się, że ekonomicznie opłacalna eksploatacja złóż

rud może odbywać się na głębokości do 5000 m. Przy tak głębokich szybach stosowane są rozwiązania dwu lub trzystopniowe, z szybami pionowymi lub rzadziej nachylonymi, w których stosuje się po dwa lub trzy urządzenia wyciągowe o głębokości ciągnięcia do około 2000 m każdy. W krajach, w których pokłady zalegają bardzo głęboko, poszukuje się także rozwiązań umożliwiających zastosowanie układu jedno-stopniowego przy wykorzystaniu środków technicznych umożliwiających transport z głębokości od 3500 do 4000 m.

Obecnie stosowane rozwiązania urządzeń transportu pionowego można usystematyzować następująco [3]:

- układy jednobębnowe z bębniami nawojowymi jednoliniowe, bez lin wyrównawczych, stosowane w szybach do głębokości około 400 m,
- układy z ciernym sprzężeniem liny z linopędnią typu Koepe jedno lub wieloliniowe, z linami wyrównawczymi, stosowane w szybach o głębokości od 400 m do 1200 m (1500 m) i przeznaczone do obsługi głównie jednego poziomu,
- układy dwubębnowe z bębniami nawojowymi jednoliniowe, z linami wyrównawczymi, obecnie rzadko stosowane w szybach o głębokości od 400 m do 1200 m (1500 m), przeznaczone do obsługi kilku poziomów,
- układy dwubębnowe w systemie Blair'a, wieloliniowe (dwulinowe), z linami wyrównawczymi, stosowane w szybach o głębokości od 1500 m do 2500 m (3000 m),
- układy jednobębnowe jednoliniowe (lub wieloliniowe), bez lin wyrównawczych stosowane przy głębieniu szybów.

W polskim górnictwie głębokość szybów rzadko przekracza 1000 m. Jednak stopniowe wykorzystywanie złóż płytko zalegających wymusza prowadzenie eksploatacji na coraz niższych poziomach i transport urobku z głębokości 1300 m. Przy takich uwarunkowaniach w polskim górnictwie głównie eksploatowane są urządzenia wyciągowe z maszynami wyciągowymi z ciernym sprzężeniem liny na linopędni typu Koepe, w układzie jedno lub wieloliniowym. Jest to system efektywny ekonomicznie. Ponadto stosowane są układy bębnowe jedno lub dwubębnowe.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

Do roku 2020 nie planuje się inwestycji związanych z budową nowych szybów, a tym samym wyposażania ich w nowe, nowoczesne rozwiązania maszyn wyciągowych. Przewiduje się natomiast pogłębianie istniejących szybów, co wiąże się z potrzebą adaptacji ich wyposażenia do nowych warunków ruchu, w tym przebudowy lub budowy nowych maszyn wyciągowych. Dotyczy to zarówno górniczych wyciągów szybowych wydobywczych – skipowych (które obecnie stanowią około 33%

całej populacji górniczych wyciągów szybowych), jak i transportowych – klatkowych, którymi prowadzona jest jazda ludzi, transport materiałów oraz transport urobku wozami. Obecnie zdolności wydobywcze wyciągów skipowych sięgają 1200 (1500) ton/dobę (przy prędkości jazdy 16 m/s, udźwigu użytecznym 30 ton i głębokości ciągnięcia 1000 m). Potrzeba zwiększania zdolności wydobywczych może wiązać się z koniecznością budowy nowych maszyn wyciągowych i dostosowywania elementów wyposażenia szybów do następujących parametrów ruchu: prędkość jazdy 20 m/s, udźwig 50 ton przy głębokości ciągnięcia 1300-1500 m, co pozwoli na osiągnięcie zdolności wydobywczych na poziomie do 20000 ton/dobę.

Modernizacja, w odniesieniu do poszczególnych elementów i zespołów, będzie obejmowała:

Maszyny wyciągowe

W przypadku, gdy część mechaniczna maszyny wyciągowej może być dalej eksploatowana, ekonomicznie uzasadnione jest prowadzenie modernizacji w zakresie układów: zasilania i sterowania.

Modernizacja, obejmująca zaawansowane technologicznie systemy napędowe (silniki wraz ze sterowaniem), powinna uwzględniać także systemy sterowania hamulców, zarówno hydraulicznych, jak i pneumatycznych. Hamulce maszyn wyciągowych muszą spełniać odpowiednie wymagania, zwłaszcza w zakresie odporności cieplnej. W tej dziedzinie ważne jest prowadzenie intensywnych badań nad doskonaleniem układzin ciernych hamulca, jak również nad postacią konstrukcyjną tarcz hamulcowych.

W zakresie badań materiałowych istotne jest również doskonalenie układzin linopędni współpracujących z linami nośnymi.

W przypadku konieczności zaprojektowania i budowy nowych maszyn wyciągowych polskie zaplecze projektowe i produkcyjne, posiada wystarczający potencjał i doświadczenie pozwalające na budowę nowoczesnych maszyn o udźwigu do 30 t (50 t) i prędkościach jazdy do 20 m/s.

Liny

Szczególnie dużo uwagi należy poświęcić dalszemu doskonaleniu rozwiązań lin zarówno nośnych, jak i wyrównawczych przede wszystkim w aspekcie poprawy ich trwałości. Konieczny jest także dalszy rozwój metod diagnostycznych umożliwiających ocenę stanu technicznego lin w trakcie eksploatacji, w aspekcie bezpieczeństwa prowadzenia ruchu górniczymi wyciągami szybowymi.

Systemy komunikacji i sterowania

W najbliższych latach należy wyposażyć wszystkie wyciągi szybowe w urządzenia łączności bezprzewodowej, zapewniające niezawodną komunikację, zwłaszcza w sytuacjach awaryjnego zatrzymania wyciągu podczas jazdy ludzi lub w innych sytuacjach związanych na przykład z okresowymi przeglądami względnie prowadzonymi w szybie pracami remontowymi.

Systemy bezpieczeństwa

Systemy bezpieczeństwa powinny wykorzystywać układy pomiarowe, a także rozbudowane systemy diagnostyczne. Zgodnie z zasadami zarządzania niezawodnością instalacji technicznych, należy dążyć do sprzętowego rozdzielania funkcji sterowania od funkcji zabezpieczających.

Przewiduje się, przy rosnącej liczbie równocześnie przewożonych osób, wprowadzenie, awaryjnego systemu grawitacyjnego opuszczania załogi do najbliższego poziomu, przy wykorzystaniu zintegrowanego sterowania układami hamulcowymi. Jest to szczególnie istotne w sytuacji, gdy głębokie lub pogłębiane szyby nie posiadają przedziałów drabinowych, a jedynie drugi czynny przedział zjazdowy lub wyciąg awaryjnowizyjny.

Układy napędowe

Przewiduje się wprowadzanie do napędu nowych lub modernizowanych maszyn wyciągowych silników prądu przemiennego. Zaletą zastosowania takiego rozwiązania, zarówno dla układu silnika szybkoobrotowego z reduktorem, jak i silnika napędzającego bezpośrednio element pędny, jest redukcja kosztów. Koszt wolnoobrotowych silników prądu stałego jest kilkakrotnie wyższy od ekwiwalentnego silnika indukcyjnego.

Systemy diagnostyczne

Dalszy rozwój rozwiązań układów sterowania i zabezpieczeń związany będzie z zastosowaniem inteligentnych systemów diagnostycznych, opartych o elementy sztucznej inteligencji i na bieżąco rozszerzanej bazie danych. System powinien umożliwiać predykcję uszkodzeń w oparciu o analizę trendów. Dzięki temu zapewni możliwość bieżącej analizy stanu technicznego i stanu bezpieczeństwa górniczego wyciągu szybowego w trakcie normalnej eksploatacji.

Niezbędne będzie także opracowanie i wdrożenie programowanego układu pozwalającego na automatyczne testowanie zarówno urządzeń głównych maszyny wyciągowej, jak i urządzeń peryferyjnych (czujniki, przetworniki, itp.).

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Warunkiem wprowadzenia przedstawionego powyżej zakresu zmian będzie realizacja następujących kierunków prac badawczo-rozwojowych:

- doskonalenie systemów sterowania hamulców (pneumatycznych i hydraulicznych),
- badania w zakresie doskonalenia materiałów na wykładziny lino-pędni i okładzin hamulcowych,
- badania możliwości zastosowania w górniczym wyciągu szybowym lin płaskich jako lin nośnych,
- wprowadzanie nowoczesnych systemów diagnostyki z wykorzystaniem bezprzewodowej transmisji danych, opartych o elementy sztucznej inteligencji i bazy danych,
- opracowanie programowanego układu pozwalającego na automatyczne testowanie urządzeń głównych maszyny wyciągowej i urządzeń peryferyjnych,
- opracowanie rozwiązań układów napędowych wyposażonych w silniki indukcyjne z przemiennikami częstotliwości,
- doskonalenie układów bezprzewodowej łączności głosowej i sterowniczej szybowej,
- opracowanie zawiesia wielolinowego o zwiększonej nośności.

6.3. Scenariusze rozwoju systemów transportu pomocniczego

Uwarunkowania gospodarcze wymagają obniżenia kosztów wydobycia, poprawy bezpieczeństwa oraz zmniejszenia uciążliwości prac. Osiągnięcie wyżej wymienionych zamierzeń jest możliwe dzięki zastosowaniu maszyn i urządzeń nowej generacji o dużej wydajności, trwałości i niezawodności. Mając na uwadze efektywne wykorzystanie tych maszyn, niezwykle ważnym, mającym istotny wpływ na uzyskanie korzystnych wyników techniczno-ekonomicznych kopalń, jest kompleksowe rozwiązanie transportu, tak w zakresie transportu maszyn, urządzeń i materiałów do przodków wydobywczych, jak i ich przemieszczania pomiędzy przodkami. Oprócz spełnienia wymagań efektywnościowych, nowoczesne systemy transportowe muszą spełniać wymogi bezpieczeństwa i ergonomii pracy [7].

Rozwiązanie efektywnego i bezpiecznego transportu maszyn i urządzeń w podziemnych wyrobiskach górniczych wymaga zastosowania systemów transportowych pozwalających na:

- zwiększenie potencjału technicznego środków transportu pozwalającego na eliminację praco- i czasochłonnego demontażu, a następnie powtórnego montażu wyposażenia technicznego (zwłaszcza sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej),

- eliminację przeładunków na drodze transportu,
- poprawę bezpieczeństwa poprzez monitorowanie położenia przemieszczanego ładunku w celu możliwości natychmiastowej reakcji w sytuacjach krytycznych,
- wprowadzenie konteneryzacji, zwłaszcza w zakresie dostaw materiałów,
- łatwą i szybką zmianę konfiguracji jezdni szynowej,
- wyeliminowanie środków transportu z napędem linowym,
- uniwersalność środków transportu z uwzględnieniem możliwości przewozu załóg górniczych,
- możliwość stałego nadzoru, przy wykorzystaniu systemu komputerowego, przebiegu transportu jednostki ładunkowej na terenie całego zakładu górniczego.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania należy rozwijać następujące kierunki prac związane z rozwojem technologii:

- dostosowanie infrastruktury wyrobisk chodnikowych (transportowych) do przyszłych technologii transportu,
- poprawa bezpieczeństwa prowadzenia prac transportowych, w tym w aspekcie toksyczności spalin emitowanych przez silniki wysokoprężne,
- optymalizacja systemów transportowych oraz środków transportu w aspekcie maksymalizacji ich efektywności,
- minimalizacja skutków oddziaływania na środowisko naturalne,
- analiza efektywności ekonomicznej stosowania systemów transportowych i środków transportu.

Scenariusz rozwoju kolei podziemnej

Istniejąca infrastruktura kopalnianej kolei podziemnej (torowiska, zajezdnie, wyposażenie techniczne) oraz wieloletnie tradycje stosowania w krajowym górnictwie tego systemu transportu sprawiają, że w rozpatrywanym horyzoncie czasowym nie nastąpi jego likwidacja, a zatem ta technologia powinna być dalej rozwijana. W kopalniach posiadających infrastrukturę umożliwiającą stosowanie lokomotyw elektrycznych (przewodowych bądź akumulatorowych) nadal będzie stosowany ten rodzaj taboru trakcyjnego. W związku z tym należy spodziewać się rozwoju konstrukcji tego typu lokomotyw ukierunkowanego na zastosowanie:

- silników elektrycznych nowej generacji dostosowanych do lokalnych potrzeb,

- nowej generacji baterii akumulatorowych (nie wymagających obsługi, nie wydzielających wodoru podczas ładowania, o dużej pojemności w stosunku do masy),
- nowoczesnych energoelektronicznych przekształtnikowych układów zasilających,
- elektronicznych układów sterujących i diagnostycznych przekazujących bezprzewodowo informacje o stanach pracy maszyn i urządzeń do służb serwisowych.

Zalety napędów spalinowych będą powodować coraz powszechniejsze stosowanie lokomotyw spalinowych w kopalnianej kolei podziemnej w kolejach podwieszanych. Istotnym czynnikiem będzie możliwość wykorzystania, już posiadanych przez kopalnie zajezdni, komór tankowania i przeszkolonej w tym zakresie obsługi. Ograniczenie mogą stanowić warunki wentylacyjne, a przede wszystkim emisja szkodliwych spalin do atmosfery kopalnianej. Należy mieć również na uwadze fakt, iż lokomotywy tego typu są źródłem hałasu oraz emisji ciepła.

Rozwój kolei podwieszanych i spągowych z napędem własnym

Rosnąca liczba napędów spalinowych wykorzystywanych w kopalniach oraz istniejąca już infrastruktura skłoniły wielu użytkowników do zastąpienia napędów linowych kolei podwieszanych i spągowych napędami własnymi. Rozwiązanie to pozwala na eliminację niedogodności transportu linowego w wyrobiskach nachylonych, związanej z ograniczeniem drogi transportu długością liny ciągnącej. Pojawiające się nowe rozwiązania lokomotyw podwieszonych i ciągników szynowych o zwiększonej sile uciągu wynikającej ze zwiększającej się masy maszyn i urządzeń górniczych, które ze względu na efektywność i bezpieczeństwo transportu są przewożone w całości. Rozwój tego typu transportu ukierunkowany zatem będzie na zwiększenie nośności i trwałości jezdni szynowych. Ma to znaczenie zwłaszcza przy jezdniach podwieszonych, które tradycyjnie są zamocowane do obudowy chodnikowej. Nowe rozwiązania jezdni podwieszonych polegające na wzmocnieniu profilu szyn jezdnych, pociągają za sobą konieczność wprowadzenia nowych typów zawiesi i systemu podwieszania z wykorzystaniem niezależnego kotwienia.

Zintegrowany system transportu

Istotną cechą zintegrowanego systemu transportu jest możliwość transportowania bez przeładunków ciężkich, wielkogabarytowych ładunków w całości dzięki zastosowaniu platformy transportowej. Warunkiem osiągnięcia założonego celu jest zastosowanie szynowych kolei spągowych z napędem własnym, z torem ułożonym na całej drodze transportu, z uwzględnieniem głównych i oddziałowych dróg transportu (w tym odcinków nachylonych).

Z uwagi na możliwość pokonywania znacznych nachyleń dochodzących do 30° i to zarówno przy wzniosie, jak i upadzie systemy takie będą wymagały stosowania maszyn z podwójnymi układami napędowymi. Na poziomych odcinkach toru siła pociągowa będzie realizowana poprzez wymuszenie sprzężenia ciernego lub konwencjonalnie-adhezyjnego. Na nachyleniach natomiast będzie stosowany drugi napęd zębatkowy. Na efektywność takiego transportu będzie miała wpływ relacja długości poziomej i nachylonej drogi transportu oraz liczba koniecznych do zastosowania ciągników.

Zastosowanie uniwersalnej platformy transportowej, mogącej poruszać się po poziomych i nachylonych odcinkach trasy umożliwia jej stosowanie z klasyczną lokomotywą, jak i z ciągnikiem. Istnieje także możliwość stosowania na odcinkach poziomych lokomotyw, a następnie przepinanie załadowanej platformy do ciągnika pracującego na nachylonej części trasy, dzięki czemu unika się przeładunku przewożonego obiektu z platformy na platformę. Ciągniki będą mogły również poruszać się na trasie o profilu ceownika. Podwójny system napędowy, działający na zasadzie sprzężenia ciernego lub zębatego pozwala na osiąganie większych prędkości przejazdowych na odcinkach poziomych i większych sił uciagu na odcinkach nachylonych.

Rozwój napędów urządzeń transportowych

Dalszy rozwój napędów urządzeń transportowych będzie zmierzał do zastosowania silników spalinowych o większej mocy, w celu zwiększania prędkości transportu. W nowych rozwiązaniach ciągników są stosowane silniki o mocy powyżej 100 kW. W związku z powyższym oraz tendencją do zwiększania udziału napędów spalinowych istnieje konieczność uzyskania maksymalnej sprawności układu napędowego oraz udoskonalenia układów odprowadzania spalin i zmniejszania ich toksyczności.

Ponadto prognozuje się rozwój napędów spalinowo-elektrycznych, które dają możliwość odzysku energii w trakcie hamowania (przede wszystkim podczas zjazdu po upadzie) i jej akumulację. Będzie to etap wstępny wprowadzania napędu hybrydowego spalinowo-elektrycznego do napędów maszyn górniczych. Taki rodzaj napędu pozwoli na wykorzystywanie w większym zakresie, w porównaniu z napędem konwencjonalnym, pracy silnika spalinowego w optymalnym zakresie prędkości obrotowej.

Rozwój hybrydowych napędów dla pojazdów samochodowych może przyczynić się do zmniejszenia kosztu zakupu komponentów tych układów, co może stymulować rozwój napędów hybrydowych dla gór-

nictwa węglowego i przyspieszyć ich wprowadzenie na skalę przemysłową. Doskonalenie nowej generacji akumulatorów i silników elektrycznych, może spowodować wydłużenie dróg transportowych, na których będą użytkowane, a tym samym staną się konkurencyjne dla napędów spalinowych, także na długich trasach. Napędy spalinowe i elektryczne będą rozwijane zgodnie z uwarunkowaniami zrównoważonego rozwoju.

Kierunki prac zapewniających rozwój technologii

Istniejące obecnie rozwiązania technologiczne szynowych systemów transportowych w podziemnych wyrobiskach kopalń węgla kamiennego pozwalają na ich dalsze efektywne stosowanie. Zasadniczym kierunkiem ewolucyjnego rozwoju tych systemów będzie ich automatyzacja, w celu wprowadzenia systemów transportu bez udziału ludzi. Niezbędny do tego będzie rozwój niezawodnych systemów automatyki oraz bezprzewodowej transmisji sygnałów.

W ciągu najbliższych lat prognozuje się szersze wprowadzenie lokomotyw spalinowych lub alternatywnie lokomotyw elektrycznych (przewodowych bądź akumulatorowych), z układami napędowymi nowej generacji o zwiększonej mocy. Szczególnego znaczenia nabiorą systemy zintegrowanego transportu, eliminujące konieczność wielokrotnego za- i wyładunku ciężkich elementów (głównie sekcji obudowy zmechanizowanej) w trakcie ich transportu od podszybia do miejsca użytkowania. Konieczny jest również dynamiczny rozwój konteneryzacji w przypadku transportu drobnych elementów.

Czynnikami warunkującymi rozwój omawianych technologii będą:

- zapewnienie środków finansowych na restrukturyzację techniczną szynowych systemów transportowych,
- rozwój komponentów do układów napędowych, w tym nowoczesnych silników i układów sterowania,
- rozwój zaawansowanych układów automatyki oraz elementów i układów sterujących o dużej niezawodności i pewności ruchowej,
- przygotowanie infrastruktury w podziemiach kopalni mającej wpływ na konfigurację tras systemów transportowych.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

Wprowadzanie napędów spalinowych do wyrobisk górniczych skutkować będzie nie tylko zwiększeniem efektywności systemu transportowego, ale może powodować pogorszenie komfortu pracy załogi. Napęd spalinowy jest źródłem: emisji zanieczyszczeń gazowych, ciepła jak również hałasu.

Z tego względu prace badawczo-rozwojowe muszą być ukierunkowane na minimalizację wpływu tych czynników na warunki pracy. Proponuje się prowadzenie prac zmierzających do:

- zwiększenia sprawności silników spalinowych,
- zmniejszenia emisji szkodliwych składników spalin,
- zmniejszenie emisji ciepła i hałasu ze spalinowej jednostki napędowej,
- opracowanie napędów hybrydowych spalinowo-elektrycznych,
- opracowanie napędów elektrycznych z nową generacją akumulatorów i silników elektrycznych,
- intensywnego rozwoju automatyzacji szynowych systemów transportu.

6.4. Transport samojezdnymi wozami oponowymi

Rozwój systemów transportu opartych o samojezdne wozy oponowe będzie uwarunkowany głównie rozwojem systemów eksploatacyjnych i warunkami geologiczno-górnictwymi.

Do podstawowych czynników warunkujących rozwój tej technologii w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego należy zaliczyć:

- potrzebę techniczną, wynikającą z rozwoju technologii eksploatacyjnych,
- skuteczność technologii w realizacji potrzeby technicznej,
- aktualny poziom techniczny wyposażenia i zakres jego użytkowania,
- spełnianie wymogów bezpieczeństwa,
- minimalizację skutków oddziaływania na środowisko,
- sytuację ekonomiczną kopalń,
- zrównoważony rozwój.

Jedną z najważniejszych technologii procesu eksploatacji węgla jest alokacja wyposażenia technicznego ściany. Jest to operacja czasochłonna i pracochłonna. Stwarza ona szereg zagrożeń związanych z wykonywaniem operacji za- i wyładunku elementów o dużej masie, w ograniczonej przestrzeni. Stosowanie różnych środków technicznych na poszczególnych odcinkach jej drogi stwarza zagrożenia. Ograniczona nośność poszczególnych środków transportu zastosowanych w systemie alokacji często powoduje potrzebę demontażu sekcji obudowy zmechanizowanej, co wydłuża czas trwania tej operacji. Biorąc pod uwagę fakt, że o efektywności alokacji decyduje głównie transport sekcji obudowy ze ściany, oraz transport i montaż w rozcince ścianowej, podjęto prace mające na celu doskonalenie tej technologii. W górnictwie światowym

najbardziej efektywnym systemem alokacji wyposażenia technicznego są samojezdne wozy oponowe.

Stosowane są wozy z napędem elektrycznym akumulatorowym lub z silnikami wysokoprężnymi. W większości kopalń jest stosowana zasada, że wozy z napędem elektrycznym akumulatorowym wykorzystywane są do transportu na krótsze odległości, a przy dłuższych drogach transportu stosowane są wozy z silnikami wysokoprężnymi. Są również przypadki stosowania wozów z napędem elektrycznym akumulatorowym, w samych ścianach, a przy transporcie pomiędzy wyrobiskami, wozów z silnikami wysokoprężnymi. Wozy z napędem elektrycznym akumulatorowym mają szereg zalet, z których najważniejsze to: minimalizacja skutków oddziaływania na środowisko, wyeliminowanie hałasu, redukcja ciepła wydzielanego do atmosfery kopalnianej, duży moment obrotowy silnika napędu przy małych prędkościach.

Wozy do transportu sekcji obudowy zmechanizowanej są samoładownicze i samowyładownicze. Dzięki temu zwiększa się ich wydajność i redukuje ich liczbę. Zmniejsza to koszty inwestycyjne oraz koszty samej operacji. Ponadto sprzyja to lepszemu utrzymaniu dróg transportu poprzez mniej intensywne niszczenie nawierzchni. Zmniejszenie liczby wozów ogranicza również częstość występowania utrudnień w ruchu związanych z blokowaniem drogi przejazdu.

Wozy mogą być wykorzystywane do transportu materiałów pomocniczych, części zamiennych i środków eksploatacyjnych poprzez wyposażenie ich w specjalne palety, łyżki transportowe, czy też boczne widły. Dzięki temu mogą być stosowane także do transportu drewna, elementów obudowy chodnikowej, siatek do wykładki, kotwi, rur, taśm przenośnikowych, przewodów elektrycznych i hydraulicznych, materiałów pędnych i środków smarnych. Na podkreślenie zasługuje łatwość zmiany modułu transportowego oraz prostota operacji za- i wyładunku, które są realizowane przez operatora wozu.

Stosowane napędy i układy hamulcowe na wszystkie koła zapewniają pewność ruchu i zatrzymania, a także utrzymania zatrzymanego wozu na pochyłości przy wzniosie i upadzie.

Stosowanie wozów związane jest z koniecznością utrzymania dobrego stanu nawierzchni spągu wyrobisk, którymi prowadzony jest transport. Do utrzymywania dróg transportu stosowane są osobne maszyny do: wyrównania nierówności nawierzchni poprzez ich niwelację, rozpraszania żwiru i wyrównywania jego warstwy. Maszyny te wykorzystywane są także do budowy nawierzchni w nowych wyrobiskach.

Zastosowanie wozów oponowych do transportu sekcji obudowy zmechanizowanej wymaga odpowiedniego zabezpieczenia wyrobiska w trakcie wyprowadzania lub wprowadzania do niego sekcji obudowy. Stosowany jest do tego system indywidualnych stojaków hydraulicznych.

Kierunki prac związane z rozwojem technologii

Biorąc pod uwagę przedstawione uwarunkowania w rozwoju technologii transportu samojedznymi wozami oponowymi w górnictwie węgla kamiennego w Polsce przewiduje się następujące etapy prac:

- wykonanie chodników o wymiarach umożliwiających stosowanie wozów oponowych,
- zakup maszyn do budowy i utrzymania nawierzchni dróg transportowych w podziemiach kopalń,
- przygotowanie infrastruktury technicznej związanej z miejscami obsługi technicznej i warsztatami remontowymi,
- opracowanie i wdrożenie metody prognozowania i oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej,
- opracowanie systemu alokacji, przy wykorzystaniu wozów oponowych, z uwzględnieniem problematyki zabezpieczenia wyrobisk,
- zakup samojedznych wozów oponowych,
- wdrożenie technologii alokacji w zakładach górniczych.

Kierunki prac badawczo-rozwojowych

W celu realizacji przedstawionego scenariusza rozwoju proponuje się następujące kierunki prac:

- opracowanie metody prognozowania i oceny stanu technicznego sekcji obudowy zmechanizowanej,
- opracowanie systemu alokacji, przy wykorzystaniu wozów oponowych, z uwzględnieniem problematyki zabezpieczenia wyrobisk.

7. PODSUMOWANIE

Zdzisław Kłeczek, Antoni Kozieł, Włodzimierz Sikora

Na proces produkcji węgla kamiennego składa się szereg technologii. Do najważniejszych należą technologie górnicze, mechanizacyjne, infrastruktura systemowa, obejmująca układy zasilania, sterowania i automatyki, oraz technologie przeróbki. Przeprowadzona dyskusja dotycząca wielkości zasobów węgla w aspekcie ich dostępności i uwarunkowań geologiczno-górnich oraz wielokryterialna analiza dotychczasowego stanu technologii przemysłu wydobywczego skłania do sformułowania kierunków ich rozwoju.

W polskim górnictwie węgla kamiennego będzie się utrzymywać ekonomicznie uzasadniona tendencja dążenia do uzyskania wysokiej koncentracji wydobywania. Wraz ze zmniejszającą się liczbą ścian, czynnych poziomów czy kopalń, zwiększać się będzie wymagana wielkość wydobywania. Uzyskanie pożądanej wielkości wydobywania zależeć będzie od wielu, często wzajemnie powiązanych czynników geologiczno-górnich i techniczno-organizacyjnych. Efekty związane będą z projektowanymi systemami eksploatacji i mechanizacji, uwzględniającymi uwarunkowania związane z załeganiem złoża.

Już obecnie wydobywanie węgla kamiennego przebiega w bardzo złożonych warunkach. Eksploatacja prowadzona jest na coraz większych głębokościach, w rejonach zaburzeń tektonicznych, w obszarach oddziaływania zaszłości eksploatacyjnych, w filarach ochronnych obiektów podziemnych i powierzchniowych, oraz w obszarach o dużej metanowości i w trudnych warunkach klimatycznych.

Opisany stan rzeczy skłania do prognozy, iż w trakcie prowadzenia przyszłej eksploatacji nastąpi intensyfikacja występowania zagrożeń: tąpniętami, metanowego, pożarami, klimatycznego oraz wyrzutami gazów i skał.

Udoskonalenie istniejących, a także opracowanie nowych metod oceny stanu zagrożenia i stosowanej profilaktyki, pozwoli w przyszłości na rozwój bezpiecznych technologii prowadzenia robót górniczych. Służyć temu będzie także doskonalenie konstrukcji maszyn i urządzeń, wprowadzenie układów sterowania i automatyki oraz systemów nadzoru i monitoringu.

Sukcesywne szczypanie zasobów węgla kamiennego wymusi sięgnięcie po zasoby zlokalizowane w filarach resztkowych, a tendencja łączenia kopalń pozwoli na wybieranie szybowych filarów ochronnych oraz filarów oporowych. Nieregularne obszary resztkowe w rejonach

o dużym zagrożeniu metanowym, pożarowym i tąpnięciami wymuszają stosowanie specyficznych rozwiązań technicznych. Spowoduje to również konieczność odpowiedniej koordynacji rozcięcia i wybierania złoża, stosowania określonego systemu eksploatacji i adekwatnego sposobu kierowania stropem, utrzymania właściwego natężenia eksploatacji, czy wdrożenia profilaktyki ograniczającej zagrożenia naturalne. Stąd też dotychczasowe sposoby prowadzenia robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych będą musiały, w coraz większym stopniu, uwzględniać skalę tych zagrożeń. Również technologie pomocnicze: wentylacja i odwadnianie będą nierozłącznie wiązać się ze stosowanymi głównymi technologiami eksploatacji.

Wzmiankowane szczypanie zasobów złóż, zwłaszcza w pokładach średnich i grubych, spowoduje konieczność sięgnięcia do zaniechanych, ze względów ekonomiczno-technicznych, zasobów w pokładach cienkich. Wybieranie tych pokładów spowoduje powrót do strugowych technologii urabiania oraz wiązać się będzie z rozwojem kombajnów i sekcji obudowy zmechanizowanej do ścian niskich.

W scenariuszach rozwoju mechanizacji skupiono się na procesach składających się na technologie pozyskiwania węgla w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego, począwszy od momentu udostępnienia pokładu węgla, aż do wytransportowania uzyskanego urobku na powierzchnię. W takim rozumieniu ciąg technologiczny podzielono na autonomiczne podsystemy składające się z różnych maszyn, w powiązaniu z różnymi układami organizacyjnymi.

Analiza technologii i technik mechanizacyjnych związanych z wykonywaniem korytarzowych wyrobisk udostępniających i przygotowawczych wskazuje na tendencję wzrostu stosowania urabiania mechanicznego. Już aktualnie wykonuje się ponad 90% wyrobisk z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych, a postęp drażenia wyrobisk urabianiem mechanicznym dochodzi obecnie do 16,5 m na dobę.

W ścianowych wyrobiskach eksploatacyjnych stosuje się standardowe wyposażenie mechanizacyjne, z użyciem kombajnów ścianowych, umożliwiających urabianie i jednoczesne ładowanie urobku na środek odstawy jakim jest ścianowy przenośnik zgrzeblowy. Zabezpieczenie wyrobiska ścianowego realizowane jest przez sekcje obudowy zmechanizowanej, przystosowane konstrukcyjnie do zawałowej lub podsadzkowej likwidacji wybranej przestrzeni.

W ostatnich latach, z uwagi na koncentrację wydobywania, widoczna jest tendencja zwiększania mocy kombajnów, a także przenośników zgrzeblowych w związku ze zwiększającymi się długościami ścian.

W celu efektywnego wykorzystania potencjału produkcyjnego wyposażenia technicznego niezbędne będzie wprowadzenie właściwego zasilania, oraz zaawansowanych układów sterowania i automatyki systemów mechanizacyjnych. Prognozowany rozwój systemów sterowania i automatyki obejmie zespoły maszyn stosowanych w przodkach korytarzowych i ścianowych oraz urządzenia transportu urobku, materiałów i przewozu ludzi. Zasadnicze znaczenie w przypadku rozwoju wyżej wymienionej infrastruktury systemowej będzie miał, przede wszystkim, aspekt bezpieczeństwa.

Urządzenia do transportu stanowią bowiem integralną część procesu produkcyjnego, ze względu na istniejącą strukturę złóż oraz strukturę podziemną kopalń. Stosunkowo krótkie wybiegi przodków ścianowych prowadzą w konsekwencji do częstych alokacji maszyn i urządzeń z wyeksploatowanego przodka, do nowo zbrojonego. Jest to poważna operacja logistyczna, której czas powinien być jak najkrótszy, gdyż każda przerwa w produkcji wiąże się ze stratami ekonomicznymi. Również szybki przewóz ludzi do miejsca pracy wydłuża dyspozycyjny czas pracy, a tym samym zwiększa wykorzystanie sprzętu, jak również, przy często kilkukilometrowych drogach, pozwala uniknąć zbędnego zmęczenia, co poprawia wydajność pracy. Istotne będzie również stworzenie odpowiednich warunków pracy w aspekcie zagrożenia klimatycznego. Wzrost temperatury w przodkach ścianowych ogranicza czas pracy załóg górniczych. Stąd koniecznością będzie wprowadzenie układów centralnej lub lokalnej klimatyzacji (schładzanie powietrza).

Istotnym, z metodologicznego punktu widzenia, będzie wybór technologii rozwojowych. Przy wykorzystaniu wiedzy szerokiej grupy ekspertów wyłoniono innowacyjne technologie, które stały się przedmiotem dalszych analiz i były podstawą zbudowania scenariuszy ich rozwoju.

Sformułowano również i zhierarchizowano kierunki prac badawczych, umożliwiających rozwój wytypowanych technologii, a także osiągnięcie celów strategicznych i częściowych górnictwa węgla kamiennego. Do najważniejszych kierunków zaliczono:

- opracowanie systemu zabezpieczenia sekcji obudowy zmechanizowanej przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu,
- rozwój ścianowej obudowy zmechanizowanej w aspekcie minimalizacji masy w stosunku do podporności,
- opracowanie obudowy strefy skrzyżowania ściana–chodnik, z układem monitorowania obciążenia,
- zwiększenie efektywności systemów mechanizacyjnych drażenia wyrobisk korytarzowych,

- zwiększenie skuteczności systemów zwalczania zapylenia w wyrobiskach korytarzowych i ścianowych,
- wprowadzenie zintegrowanego systemu sterowania kompleksem ścianowym, wraz z systemem monitorowania środowiska górniczego w przodku oraz systemem transmisji teleinformatycznej,
- opracowanie nowoczesnych systemów ciągnięcia, hamowania, sterowania i kontroli pracy maszyn wyciągowych dla zwiększających się głębokości eksploatacji,
- wykorzystanie metanu do zasilania energetycznego urządzeń chłodniczych,
- efektywne technologie eksploatacji cienkich pokładów,
- bezpieczne technologie zbrojenia i alokacji wyposażenia ścianowego,
- zastosowanie technologii kotwienia w zmieniających się warunkach geomechanicznych,
- innowacyjne technologie wiertnicze w celu prowadzenia profilaktyki przeciwtańpaniowej,
- układy kontroli położenia i sterowania maszyn wchodzących w skład kompleksów chodnikowych.

Redaktorzy niniejszej monografii dziękują wszystkim realizatorom projektu celowego pod tytułem „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” za stworzenie wizji rozwoju systemów mechanizacyjnych, umożliwiającej skuteczny dobór technologii do prognozowanych warunków geologiczno-górnich.

Autorzy monografii wyrażają jednocześnie nadzieję, że rezultaty ich prac posłużą decydentom i przedsiębiorcom w podejmowaniu działań na rzecz rozwoju systemów mechanizacyjnych dla górnictwa węgla kamiennego w Polsce i na świecie.

LITERATURA

1. Antoniuk J.: Urządzenia i systemy transportu podziemnego w kopalni, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 2000,
2. Bednarz R., Kozieł A., Pieczora E.: Perspektywy technologii drażenia wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego, *Maszyny Górnicze* 2002, nr 92,
3. Carbogno A.: Urządzenia wyciągowe w szybach głębinowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowo–Techniczna Transport Szybowy, t.1, Szczyrk 24-26 wrzesień 2003,
4. Darski J., Kicki J., Sobczyk E.: Raport o stanie gospodarki zasobami złóż węgla kamiennego. Studia, Rozprawy, Monografie IGSMiE PAN nr 85, Kraków 2001,
5. DBT Presents Longwall Top Coal Caving. *Coal International* 2006, nr 4,
6. Dolipski M., Cheluszka P., Sobota P.: Drażenie wyrobisk korytarzowych i kierunki rozwoju kombajnów chodnikowych urabiających mechanicznie, *Maszyny Górnicze* 2000, nr 84,
7. Drwięga A., Pieczora E., Suffner H., Janas S.: Nowoczesne maszyny transportu pracujące w kopalniach węgla kamiennego i przewidywane kierunki ich rozwoju, *Maszyny Górnicze* 2007, nr 4,
8. Drzewiecki J., Kabiesz J.: Ogólne kryteria innowacyjności technologii górniczych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik IGSMiE PAN, Tom 24 -Zeszyt 1/2* Kraków 2008,
9. Hierarchizacja technologii eksploatacji i przeróbki węgla kamiennego w zakresie ścianowych systemów mechanizacyjnych i systemów sterowania maszyn i urządzeń ścianowych. Projekt celowy: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego (zad. 3.2), Gliwice 2007 (praca nie publikowana),
10. Jaszczuk M.: Wariant optymistyczny scenariusza rozwoju ścianowych systemów mechanizacyjnych w polskim górnictwie węgla kamiennego. *Gospodarka surowcami mineralnymi. Kwartalnik IGSMiE PAN. Tom 24 – Zeszyt 1/2*, Kraków 2008,
11. Jaszczuk M.: Perspektywy rozwoju systemów mechanizacyjnych w Polsce, *Napędy i Sterowanie* 2008, nr 4 (108),
12. Jaszczuk M.: Hierarchizacja ścianowych systemów mechanizacyjnych stosowanych w pokładach poziomych i słabo nachylonych w aspekcie innowacyjności (2), *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2008, nr 2 (445),

13. Jaszczuk M.: Kryteria oceny innowacyjności ścianowych systemów mechanizacyjnych stosowanych w pokładach poziomych i słabo nachylonych (1), *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2008, nr 1 (444),
14. Jaszczuk M.: Ścianowe systemy mechanizacyjne, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 2007,
15. Jaszczuk M.: Uwarunkowania rozwoju technologicznego ścianowych systemów mechanizacyjnych, *Maszyny Górnicze* 2007, nr 4,
16. Jaszczuk M., Kania J.: Warunki skutecznego i efektywnego wybierania pokładów węgla systemem ścianowym. *Prace Naukowe – Monografie CMG KOMAG* nr 17, Gliwice 2007,
17. Jaszczuk M., Kozieł A., Sikora W.: Etapy rozwoju ścianowych systemów mechanizacyjnych w polskim górnictwie węgla kamiennego, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa*, 2008, nr 6,
18. Jaszczuk M., Kozieł A., Kot D.: Koncepcja zintegrowanego systemu sterowania maszyn ścianowych, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2008, nr 5,
19. Kłeczek Z.: Perspektywy rozwoju górnictwa węgla w Polsce, *Maszyny Górnicze* 2007 nr 2,
20. Korski J.: Ewolucja technologii podbierkowej wybierania bardzo grubych pokładów węgla w górnictwie chińskim, *Wiadomości Górnicze* 2003, nr 3,
21. Kotwica K.: Scenariusze rozwoju technologicznego drążenia wyrobisk korytarzowych w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik IGSMiE PAN*. Tom 24 – Zeszyt 1/2, Kraków 2008,
22. Kotwica K.: Perspektywy rozwoju technologii i technik mechanizacyjnych do drążenia wyrobisk korytarzowych w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego, *Maszyny Górnicze* 2007, nr 4,
23. Kozieł A., Mazurkiewicz T.: Rozwój technologiczny przemysłu wydobywczego węgla kamiennego w ocenie ekspertów. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik IGSMiE PAN*. Tom 24 – Zeszyt 1/2, Kraków 2008,
24. Kozieł A., Mazurkiewicz T.: Scenariusze rozwoju technologii mechanizacji przemysłu wydobywczego do 2020 roku w ocenie ekspertów, *Maszyny Górnicze* 2008, nr 1,
25. Kozieł A., Turek M. (redakcja naukowa): Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego. *Monografia - Konferencje „Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego”*. CMG KOMAG, Gliwice 2007,

26. Kozieł A.: Praca zbiorowa: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego. Rozdział 5.3 - Innowacyjne, priorytetowe technologie w przemyśle węgla kamiennego do 2020 roku, GIG, Katowice 2008,
27. Kozieł A.: Praca zbiorowa: Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego. Rozdział 5.4 – Scenariusze rozwoju innowacyjnych technologii, GIG, Katowice 2008,
28. Krauze K.: Wykorzystanie statycznych strugów węglowych do eksploatacji cienkich pokładów, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2008, IGSMiE PAN, Sympozja i Konferencje, nr 72, Kraków 2008,
29. Kuciński J.: Organizacja i prowadzenie projektów foresight w świetle doświadczeń międzynarodowych. IPPT PAN, Warszawa 2006,
30. Longwall systems. Coal Magazine, March 2006, Issue 10
31. Matuszewski K.: Kierunki poprawy w zakresie przewietrzania, zwalczania zagrożeń pożarowych, gazowych, pyłowych oraz klimatycznych w polskich kopalniach węgla kamiennego, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2004, IGSMiE PAN, Sympozja i Konferencje, nr 68, Kraków 2004,
32. Mika M.: Tendencje i kierunki rozwoju urządzeń kompleksów ścianowych. Prace naukowe GIG, Seria Konferencje nr 50, Katowice 2005,
33. Musioł D.: Analiza układów przewietrzania rejonów ścian w podsieciach wentylacyjnych w aspekcie zagrożenia metanowego, pożarowego i technicznego. Wiadomości Górnicze 2000, nr 6,
34. Ocena innowacyjności technologii górniczych – technologie podstawowe i pomocnicze – infrastrukturalne. Gliwice, Katowice, Kraków, Pol. Śl., CEiAG EMAG, CMG KOMAG 2007 (praca nie publikowana),
35. Przegląd technologii i technik mechanizacyjnych stosowanych w kopalniach węgla. Projekt celowy „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego” Podzadanie 1.2.1. Praca zbiorowa CMG KOMAG, 2006 (praca nie publikowana),
36. Saaty T. L.: Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process, Vol. 1, AHP Series, RWS Publications, 502 pp., 1990 extended edition,
37. Scenariusze rozwoju mechanizacji procesów eksploatacji w górnictwie węgla kamiennego. Podzadanie 4.2. Praca zbiorowa. CMG KOMAG, 2007 (praca nie publikowana),

38. Sikora W.: Innowacje w scenariuszach rozwoju mechanizacji procesów eksploatacji w górnictwie węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik IGSMiE PAN. Tom 24 – Zeszyt 1/2, Kraków 2008,
39. Sikora W.: Scenariusz rozwoju technologii wydobywania węgla w warunkach utrudnień górniczych, Maszyny Górnicze 2007, nr 4,
40. Sikora W.: Kombajny chodnikowe stosowane w kopalniach węgla kamiennego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górniczo, zeszyt 246, Gliwice 2000,
41. Sikora W.: Pozytywne i negatywne strony technik urabiania: strugowej i kombajnowej w systemach ścianowych – tendencje rozwoju, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1997, CPPGSMiE PAN, Kraków 1997,
42. Szlęzak N., Borowski M., Obracaj D.: Kierunki zmian w systemach przewietrzania ścian eksploatacyjnych z uwagi na zwalczanie zagrożeń wentylacyjnych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik IGSMiE PAN. Tom 24 – Zeszyt 1/2, Kraków 2008,
43. Trenczek S., Wasilewski S.: Innowacyjność systemowego zasilania, informatyki i automatyki w procesach technologicznych wydobywania węgla. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik IGSMiE PAN. Tom 24 – Zeszyt 1/2, Kraków 2008,
44. Turek M.: Analiza struktury procesu produkcji węgla kamiennego w aspekcie rozwoju technologicznego. GIG, Katowice 2006 (praca nie publikowana),
45. Turek M.: Nie pozostawiamy pokładów cienkich. Przegląd Górniczy, 2005 nr 10,
46. Zając E.: Organizacja produkcji w kopalniach węgla kamiennego, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994,
47. Zmysłowski T.: Górnicze maszyny wyciągowe. Część mechaniczna, Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice 2004,
48. Zorychta A., Chojnacki J., Krzyżowski A., Chlebowski D.: Ocena możliwości wybierania resztkowych partii pokładów w polskich kopalniach węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwartalnik IGSMiE PAN. Tom 24 – Zeszyt 1/2, Kraków 2008,
49. Żur T.: Przenośniki taśmowe w górnictwie, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1979.

Scenariusze rozwoju technologicznego mechanizacji podstawowych procesów produkcyjnych w górnictwie węgla kamiennego

Streszczenie

Monografia stanowi syntetyczne opracowanie wyników projektu celowego foresight pod tytułem „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego”, realizowanego w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego „Wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw”, działanie 1.4.5, w zakresie technologii i techniki mechanizacji robót eksploatacyjnych, przygotowawczych oraz systemów transportu.

Projekt koordynowany przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach zrealizowano z udziałem: Akademii Górniczo-Hutniczej, Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG, Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk i Politechniki Śląskiej.

W pracy przedstawiono naturalne i techniczne dominanty rozwoju procesu wydobywczego węgla w warunkach polskich kopalń węgla kamiennego, wiążące się z charakterem bazy zasobowej, poziomem i zakresem występowania zagrożeń naturalnych oraz ograniczeń wynikających z konieczności ochrony środowiska. Dokonano analizy czynników naturalnych wpływających na rozwój mechanizacji oraz warunków eksploatacyjnych.

Do głównych parametrów determinujących wybór technologii eksploatacji zaliczono grubość pokładu, jego nachylenie, głębokość zalegania, geometrię pól ścianowych oraz udział zasobów zalegających w niekorzystnych warunkach geologiczno-górnictwowych. Uwarunkowania eksploatacyjne dotyczą w szczególności wybierania węgla z pokładów ciekich i grubych, z filarów ochronnych, z pokładów zagrożonych tapaniami oraz metanem oraz w warunkach zagrożenia klimatycznego.

Dokonano oceny innowacyjności stosowanych obecnie systemów mechanizacyjnych, w celu ich hierarchizacji, w aspekcie opracowania scenariuszy rozwoju technologicznego górnictwa węgla kamiennego w Polsce do 2020 roku. W tym celu posłużono się wielokryterialną metodą oceny Analizy Hierarchicznej Problemu (AHP). W świetle przyjętych kryteriów, pod pojęciem innowacyjności rozumiano przydatność

technologii ze względu na bezpieczne i efektywne pozyskiwanie węgla w prognozowanych warunkach geologiczno-górnictwowych.

Analizę przeprowadzono w czterech etapach, z uwzględnieniem kryteriów ogólnych i szczegółowych (subkryteria), obejmujących problematykę: efektywności, bezpieczeństwa, ochrony środowiska i uniwersalności.

Przedstawiono scenariusze rozwoju odpowiednio: mechanizacji drażenia wyrobisk korytarzowych, ścianowych systemów mechanizacyjnych, w tym układów automatyki, sterowania i diagnostyki oraz rozwoju systemów transportu przenośnikami taśmowymi, transportu linowego oraz transportu pomocniczego.

Przeprowadzona analiza kształtowania się zasobów węgla kamiennego oraz wieloparametrowa ocena dotychczasowego stanu technologicznego górnictwa węgla kamiennego pozwoliła na sformułowanie kilku wybranych wariantów kierunków jego rozwoju.

W górnictwie węgla kamiennego utrzymywać się będzie ekonomicznie uzasadniona tendencja dążenia do uzyskania koncentracji wydobycia. Pożądane efekty zależą od właściwie zaprojektowanych systemów eksploatacji, ale przede wszystkim od korzystnych uwarunkowań związanych z zaleganiem złoża.

Sukcesywne szczyptywanie zasobów węgla spowoduje konieczność sięgnięcia po zasoby zlokalizowane w filtrach reszkowych, szybowych i ochronnych, jak również powrót do wybierania zaniechanych, ze względów ekonomicznych, zasobów zalegających w pokładach cienkich.

Generalnym założeniem rozwoju technologii mechanizacyjnych będzie zapewnienie bezpieczeństwa procesowego, uwarunkowanego w dużej mierze dyspozycyjnością transportu poziomego i transportu pionowego.

Konieczne będzie skrócenie czasu oraz zmniejszenie pracochłonności operacji alokacji maszyn i urządzeń ścianowych. Szybki przewóz ludzi do miejsca pracy może wydłużyć dyspozycyjny czas pracy, a tym samym zwiększyć produktywność użytkowanego wyposażenia technicznego. W celu osiągnięcia celów strategicznych i częściowych górnictwa ustalono kierunki prac badawczych służące rozwojowi proponowanych w scenariuszach technologii mechanizacyjnych.

Scenarios of technological development of mechanization of main production processes in the hard coal mining industry

Abstract

The monograph is a comprehensive study on the results of the targeted foresight project entitled: "Scenarios of technological development of hard coal mining industry" realized within European Regional Development Fund "Improvement of Competitiveness of Enterprises" action 1.4.5 as regards mechanization technology, development work, mining and transportation.

The project coordinated by the Central Mining Institute in Katowice has been realized in cooperation with: AGH University of Science and Technology, EMAG Centre, KOMAG Mining Mechanization Centre, Mineral and Energy Economy Research Institute and Silesian University of Technology.

Natural and technical dominant features of development of mining process in Polish mines associated with the character of reserves base, level of natural hazards as well as with limitations resulting from environmental protection regulations were presented. Analysis of natural factors influencing a development of mechanization and operational conditions was carried out.

Seam thickness, its inclination, depth of disposition, geometry of longwall panels as well as share of reserves deposited in disadvantageous mining and geological conditions belong to the parameters that determine a selection of mining technology. The mining conditions especially concern coal winning from thin and thick seams, from protective pillars, from seams threatened by bumping hazard and methane explosion as well as mining in climatic hazard conditions.

Assessment of innovativeness of currently used mechanization systems was made to hierarchize them in the aspect of scenarios of technological development of the mining industry in Poland till 2020. To reach this target the multi-criteria Analytical Hierarchy Process (AHP) assessment method was used. In the light of accepted criteria as the innovativeness we mean usefulness of technology for safe and effective winning of coal in the expected mining and geological conditions.

Analysis was carried out in four stages by taking into account main and detailed criteria (sub-criteria), which include the following problems: effectiveness, safety, environmental protection and versatility.

Scenarios of development of the following were presented: mechanization of roadway drivage, longwall mechanization systems including automatics, control and diagnostics systems as well as development of transportation with belt conveyors, rope transportation and auxiliary transportation.

Analysis of hard coal reserves as well as multi-parameters assessment of hard coal mining state-of-art technology will enable to formulate a few selected variants of its development trends.

In the hard coal mining industry trends towards economically justified concentration of mining will be maintained. Desired effects will depend on properly designed mining systems, but first of all on advantageous conditions associated with seam deposition.

Gradual depletion of coal reserves will cause the necessity to reach for the reserves localized in residual and protective pillars as well as return to winning the reserves deposited in thin seams, which were abandoned due to economical reasons.

Ensuring the process safety, conditioned mainly by availability of vertical and horizontal transport is a general assumption for a development of mechanization technologies.

Shortening of time and reduction of labour consumption of allocation of longwall machines and equipment will be indispensable. Fast transportation of people to the work place can extend availability of technical equipment increasing at the same time its productivity. Directions of research projects, which would support development of mechanization technology suggested in the scenarios, have been established.

ISBN: 978-83-60708-20-0