

PRACE NAUKOWE
**GŁÓWNEGO
INSTYTUTU
GÓRNICCTWA**



№

854

Renata PATYŃSKA

**Wpływ kierunku eksploatacji pokładów węgla
na zagrożenie tapaniami**

KATOWICE 2003

**Prace Naukowe
Głównego Instytutu Górnictwa**

STUDIA – ROZPRAWY – MONOGRAFIE

Nr 854

Renata PATYŃSKA

**Wpływ kierunku eksploatacji pokładów węgla
na zagrożenie tąpnięciami**

**EFFECT OF THE DIRECTION OF COAL SEAM MINING
ON THE ROCKBURST HAZARD**

KATOWICE 2003

Rada Programowa ds. Wydawnictw: *prof. dr hab. inż. Jakub Siemek (przewodniczący), prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak, prof. dr hab. inż. Bernard Drzęzła, prof. dr hab. inż. Józef Dubiński, prof. dr hab. inż. Joanna Krajewska Pinińska, prof. dr hab. inż. Korneliusz Miksch, prof. dr hab. inż. Janusz Roszkowski, prof. dr hab. inż. Antoni Tajduś, prof. dr hab. inż. Janusz W. Wandrasz, prof. dr hab. inż. Piotr Wolański*

Komitet Kwalifikacyjno-Opiniodawczy: *prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński (przewodniczący), doc. dr hab. inż. Krystyna Czaplicka, prof. dr hab. inż. Jan Hankus, prof. dr hab. inż. Władysław Konopko, prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek, doc. dr hab. Kazimierz Lebecki, prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan, prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka, prof. dr hab. Jerzy Sablik, doc. dr hab. inż. Jan Wachowicz*

Przygotowanie do druku i druk: Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych
Głównego Instytutu Górnicztwa
40-166 Katowice, Pl. Gwarków 1

Recenzent:
prof. dr hab. inż. Antoni Kidybiński

Redakcja wydawnicza
Ewa Gliwa
Redakcja techniczna i korekta
Barbara Jarosz

ISSN 1230-2643

Printed in Poland

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Katowice, GIG 2003. Wyd. 1. Nakład 100 egz. Ark. wyd. 3,3. Format B5.
Przygotowanie do druku i druk: Zespół Wydawnictw i Usług Poligraficznych
Głównego Instytutu Górnicztwa
Oprawa: Zakład Poligraficzny „Węglogryf”, Katowice

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	7
2. KONSEPCJA ROZWIĄZANIA PROBLEMU	8
3. TEKTONIKA GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO	9
3.1. Deformacje nieciągłe – uskoki.....	12
3.2. Strukturalne osłabienie skał – łupność	14
4. SEJSMICZNOŚĆ INDUKOWANA A ZAGROŻENIE TĄPANIAMI	17
4.1. Badania mechanizmów powstawania wstrząsów.....	18
5. BADANIA WPŁYWU KIERUNKU BIEGU ŚCIAN NA GENEROWANĄ AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNĄ	22
5.1. Wybór poligonu badawczego.....	22
5.2. Badania wykonane w ścianie 240	25
5.3. Badania wykonane w ścianie 243a	29
5.4. Badania wykonane w ścianie 243b	32
5.5. Wpływ uskoków na zmianę aktywności sejsmicznej górotworu	35
5.6. Zasięg stref uskokowych.....	35
5.7. Prędkość postępu ścian a zagrożenie tąpaniami	38
6. ROZKŁAD ENERGII W ZALEŻNOŚCI OD ZAANGAŻOWANIA TEKTONIKI LOKALNEJ	40
6.1. Analiza wartości energii wstrząsów sejsmicznych w strefach tektoniki lokalnej ścian	46
7. KIERUNEK ŁUPNOŚCI SKAŁ STROPOWYCH A AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA.....	52
WNIOSKI.....	53
LITERATURA.....	54

Streszczenie

Podstawę do określania wpływu kierunku eksploatacji pokładów węgla na stan zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami stanowią wyniki pomiarów i obserwacji dołowych. Konfrontacja uzyskiwanych wyników z geologiczno-górnictwymi uwarunkowaniami eksploatacji wskazuje na możliwość ograniczenia zagrożenia tąpnięciami przez właściwe usytuowanie kierunku biegu ścian względem zalegania pokładu, szczególnie zaś przy uwzględnieniu płaszczyzn strukturalnych osłabień górotworu – naturalnych i eksploatacyjnych. Najistotniejszym problemem powodującym zakłócenia właściwego biegu ścian we wszystkich niemalże warunkach dołowych i polach eksploatacyjnych są zmiany struktury górotworu, w tym głównie uskoki. Przechodzenie frontem ścian przez strefy uskokowe w istotny sposób zaburza ich planowy bieg. Pomiar i ocena stref spękań w obrębie uskoków pozwala na wyznaczenie miejsc o zróżnicowanym stopniu zaangażowania tektoniki lokalnej.

Występowanie dużej liczby spękań naturalnych (pierwotnych) w czole ściany i jej otoczeniu należy traktować jako czynnik korzystny. Przekonanie, że strefy odprężone to strefy spękane, w których zagrożenie tąpnięciami nie występuje lub występuje w stopniu ograniczonym jest słuszne. Należy jednak zaznaczyć, że liczba spękań eksploatacyjnych jako wtórnych, wynikających z naruszenia równowagi górotworu przy wybieraniu pokładu, zależy przede wszystkim od usytuowania linii frontu eksploatacji w stosunku do kąta nachylenia systemów nieciągłych górotworu. Szczegółowa znajomość zależności przestrzennej sieci powierzchni spękań, niedostępnych pól jest sprawą dużej wagi i daje możliwość właściwego zaprojektowania kierunku eksploatacji. Wiąże się to zarówno z bezpieczeństwem pracy, jak i obniżeniem kosztów profilaktyki, stosowanej w czasie biegu ścian zagrożonych wstrząsami.

W związku z powyższym, rezultatem proponowanych rozwiązań jest sposób określania stref zaangażowania tektoniki lokalnej i zalecanych kierunków zorientowania frontów eksploatacyjnych względem kierunków naturalnego osłabienia górotworu.

Podstawę analizy stanowił obszerny materiał pomiarowy uzyskany podczas eksploatacji pokładu 620 w Zakładzie Wydobywania Surowców Mineralnych „Jadwiga” Spółka z o.o. W pokładzie tym wykonywano rutynowe pomiary służące do określenia charakteru spękań i cech skał w polach ścian, z wydzieleniem stref zaburzonych (zuskokowanych) i stref bez zaburzeń. Szczegółowa analiza aktywności sejsmicznej rejestrowanej w trakcie biegu ścian, pozwoliła na określenie zasięgu stref i ich wpływu na wartość emisji wstrząsów.

Przeprowadzono także wnikliwą analizę pomiarów jakościowych i ilościowych wstrząsów sejsmicznych, a następnie oceniono charakter i cechy strukturalne skał stropowych w otoczeniu pokładu, ze szczególnym uwzględnieniem uskoków lokalnych stwierdzonych badaniami i potwierdzonych robotami górnictwymi.

Upowszechnienie uzyskanych wyników może przyczynić się do ograniczenia występowania wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu i wynikających stąd zagrożeń dla załóg górniczych

Słowa kluczowe: pokład węgla; eksploatacja podziemna; zagrożenie tąpnięciami; kierunek eksploatacji; oddziaływanie.

Abstract

A basis for determining the effect of mining of coal seams on the tremor and rockburst hazard condition is provided by the result of underground measurements and observations. The comparison of the obtained results with the mining-geological conditions of the mining operation points at the possibility to reduce the rockburst hazard through adequate positioning of the directions of the course of longwalls in relation to the deposition of the seam, and in particular considering the structural planes of the rock mass weakening, both natural and caused by mining. The most important problem which causes disturbances in the natural course of the longwalls in nearly all underground conditions and mining panels are the changes in the rock mass structure, and in that, principally, faults. The process of longwall front traversing across the fault zones considerably disturbs their natural course. The measurements and assessment of the crack zones within the reach of faults enables to determine the places with a diversified degree of engagement of the local tectonics.

The occurrence of a large number of natural original fissures in the longwall head should be considered as a positive factor. The opinion that the distressed zones are the cracked zones in which there is no, or is only a limited, rockburst hazard is correct. However, it should be noted that the number of mining - induced cracks, as secondary ones, that have resulted from disturbing the rock mass equilibrium when extracting the seam, depends mainly on the location of the mining front line in relation to the angle of inclination of discontinuous rock mass systems. The detailed knowledge of the spatial relationship of the spatial network of crack surfaces, non - opened panels is a matter of vital importance, and provides the possibility of proper planning of the mining direction. This is related both to the safety at work, and reduction of the costs of prevention being applied in the course of rockburst - endangered longwalls.

In connection with the above, a result of the proposed solutions is the method of determining the zones of engagement of the local tectonics, and the recommended directions of orientation of mining fronts in relation to the directions following which the rock mass is naturally weakened.

A basis for the analysis was an extensive measuring material obtained in the course of mining of the N 620 seam at Jadwiga mine. In the seam, routine measurements were performed serving to determine the character of cracking and the characteristics of the rock in longwall panels, with the separation of disturbed (faulty) zones and undisturbed zones. A detailed analysis of seismic activity recorded in the course of the longwalls has enabled to determine the range of the zones and their impact on the value of tremor emission.

Also, a discerning analysis of qualitative and quantitative measurements of seismic tremors was performed, and then the character and structural characteristics of the roof rock in the seam neighbourhood were evaluated, with particular consideration of local faults discovered in the tests and confirmed by mining operations.

The dissemination of the obtained results can contribute to limiting the occurrence of high-energy rock mass tremors and the hazard for mining crew resulting from them.

Keywords: coal seam; underground mining; rockburst hazard; direction of mining; influence.

1. WPROWADZENIE

Stan zagrożenia łąpaniami ma złożony charakter i nie ma uniwersalnej teorii, zgodnie z którą we wszystkich przypadkach geologiczno-górnichych można by uzyskać podobne wyniki badań modelowych do uzyskiwanych w praktyce. Od wielu lat obserwuje się więc ciągle poszukiwania, zmierzające do wyjaśnienia związków sejsmiczności z tektoniką w sąsiedztwie wyrobisk ścianowych.

Analiza pochodzenia wstrząsów górniczych wykazała, że zjawiska sejsmiczne najczęściej indukowane są działalnością człowieka. Głównie wywołuje je eksploatacja i udostępnianie złóż, zwłaszcza resztkowych partii pokładów. Jednym z rodzajów wstrząsów są wstrząsy wysokoenergetyczne. Są to wstrząsy o charakterze regionalnym. Ich powstawanie ma związek z nieciągłościami tektonicznymi i jest efektem istnienia naprężeń aktualnych lub rezydualnych, a co za tym idzie efektem oddziaływania naprężeń eksploatacyjnych na naturalną strukturę górotworu.

Mimo stwierdzenia, że rola czynnika naturalnego w generowaniu wstrząsów o wysokiej energii jest bardzo istotna – dotychczas nie opracowano wiarygodnego modelu deformacji i stanu naprężeń w górotworze, służącego do korelowania wyników badań nad sejsmicznością obszaru z tektoniką regionalną. Określenie charakteru takich zależności pozwala na ilościowe szacowanie parametrów zjawisk sejsmicznych oraz zastosowanie odpowiednich metod profilaktycznych. Na rozwiązania z tego zakresu istnieje wciąż zapotrzebowanie.

Celem analizy aktywności sejsmicznej górotworu jest zwrócenie uwagi na problem zagrożenia wstrząsami, których wielkość i częstość zależy od struktury górotworu, wzajemnego usytuowania płaszczyzn osłabionej spójności górotworu i kierunku przemieszczania się frontów ścian.

Podstawę do określenia wpływu kierunku eksploatacji pokładów węgla na stan zagrożenia wstrząsami i łąpaniami stanowią wyniki pomiarów i obserwacji dołowych. Konfrontacja tych wyników z geologiczno-górnichymi uwarunkowaniami eksploatacji wskazuje na możliwość ograniczenia zagrożenia łąpaniami przez właściwe usytuowanie kierunku biegu ścian względem zalegania pokładu, szczególnie zaś przy uwzględnieniu płaszczyzn strukturalnych osłabień górotworu, naturalnych i eksploatacyjnych. Najistotniejszym problemem powodującym zakłócenia właściwego biegu ścian we wszystkich niemalże warunkach dołowych i polach eksploatacyjnych są znaczące i najbardziej widoczne zmiany struktury górotworu, w tym głównie łupność i uskoki. Przechodzenie frontem ścian przez strefy uskokowe w istotny sposób zaburza ich planowy bieg. Ocena aktywności sejsmicznej w strefach uskokowych pozwala zatem na wyznaczenie miejsc o różnicowanym stopniu zaangażowania tektoniki lokalnej, a tym samym o różnym wydatku energetycznym rejestrowanych wstrząsów sejsmicznych w tych rejonach.

Liczba spękań eksploatacyjnych jako wtórnych, wynikających z naruszenia równowagi górotworu przy wybieraniu pokładu, zależy przede wszystkim od usytuowania linii frontu eksploatacji w stosunku do płaszczyzny uskoku. Szczegółowa znajomość zależności przestrzennej płaszczyzn uskokowych i ich zasięgu, nieudostępnionych pól jest sprawą dużej wagi i daje możliwość właściwego

zaprojektowania kierunku eksploatacji. Wiąże się to zarówno z bezpieczeństwem pracy, jak i obniżeniem kosztów profilaktyki stosowanej w czasie biegu ścian zagrożonych wstrząsami.

W niniejszym opracowaniu omówiono zależności między kierunkiem biegu ścian względem strukturalnego osłabienia górotworu a aktywnością sejsmiczną indukowaną eksploatacją i wynikającym z niej zagrożeniem tąpnięciami. Podstawę określenia takich zależności stanowiły szczegółowe pomiary wykonane w wytypowanych ścianach pokładu 620 Zakładu Wydobywczego Surowców Mineralnych „Jadwiga” Spółka z o.o.

2. KONCEPCJA ROZWIĄZANIA PROBLEMU

Przeważa pogląd, że zjawiska sejsmiczne indukowane w kopalniach działalnością człowieka mają związek z kierunkiem biegu ścian w stosunku do kierunku nieciągłości tektonicznej oraz struktury górotworu. Zaproponowane i często spotykane modele, metody lub sposoby klasyfikacji warunków górniczo-geologicznych dotyczą wycinkowych aspektów tego zjawiska.

Brak kompleksowych rozwiązań praktycznych, dotyczących wpływu kierunku eksploatacji na zagrożenie tąpnięciami, był wyzwaniem do podjęcia tego tematu. Podstawę stanowił obszerny materiał pomiarowy uzyskany podczas eksploatacji pokładu 620 w ZWSM Jadwiga. W pokładzie tym wykonywano pomiary służące do określenia charakteru i cech strukturalnych węgla i skał stropowych, a także rejestrowano wstrząsy zaistniałe w czasie jego eksploatacji.

Przeprowadzono wnikliwą analizę pomiarów jakościowych osłabionej spoiwości węgla i skał, a następnie oceniono charakter i cechy strukturalne skał stropowych i pokładu, ze szczególnym uwzględnieniem uskoków lokalnych stwierdzonych badaniami i potwierdzonych robotami górniczymi. Każdy z analizowanych rejonów podlegał ścisłej kontroli aktywności sejsmicznej. Konfrontacja wymienionych cech strukturalnych z aktywnością sejsmiczną pozwoliła na wyszczególnienie stref o zróżnicowanej aktywności, zmiennym stopniu zaangażowania tektoniki i struktury otaczającej pokład.

Dokładne określenie zasięgu stref naprężeniowo-deformacyjnych wokół wyrobisk wybierkowych jest, jak dotąd, skomplikowane. Wynika to przede wszystkim z oddziaływań wyrobisk wybierkowych na górotwór, różnorodności skał i ich własności geomechanicznych. Warunki górniczo-geologiczne czynią problematyczne założenie co do jednorodności, izotropowości i (często też) ciągłości analizowanego masywu górotworu. System eksploatacji, a ściślej systemy kierowania stropem (podsadzka, zawał) zmuszają do przyjmowania uproszczonych założeń i modeli. Analizując zjawiska występujące w górotworze w sąsiedztwie wyrobisk wybierkowych coraz częściej odchodzi się od klasycznych rozwiązań analitycznych, wykorzystując analizę stanu naprężeń i wyniki pomiarów oraz obserwacji prowadzonych w kopalniach.

Upowszechnienie uzyskanych wyników może przyczynić się do ograniczenia występowania wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu i wynikających stąd zagrożeń dla załóg górniczych.

3. TEKTONIKA GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Klasyfikacja tektoniki [27] ma szczególne znaczenie w projektowaniu i prowadzeniu bezpiecznej eksploatacji górniczej. Skorelowanie stref dyslokacji, wielkości i kierunków naprężeń rezydualnych ma duże znaczenie przy wyjaśnianiu mechanizmu najsilniejszych wstrząsów. Nie ulega wątpliwości, że najsilniejsze wstrząsy są wynikiem poślizgu na powierzchniach uskokowych, wywołanego naprężeniami ścinającymi, których źródłem jest eksploatacja górnicza. Warunki powstawania tych uskoków, ich wiek, wykształcenie powierzchni, wypełnienie szczeliny uskokowej oraz wielkość naprężeń normalnych mają istotne znaczenie dla stabilnego lub zmiennego przebiegu deformacji, zbliżającego się frontu eksploatacji. Badanie, a następnie wyjaśnienie związków między sejsmicznością tych obszarów a własnościami i parametrami systemów spękań, uskoków pozwalają na określenie wielkości zagrożenia wstrząsami indukowanymi eksploatacją złoža.

Znajomość struktury górotworu w połączeniu z optymalnym i bezpiecznym rozcięciem i eksploatacją złoža jest szczególnie ważna w pobliżu stref uskokowych. Można przypuszczać, że dokładne poznanie tektoniki, w połączeniu z odpowiednio zaprojektowaną profilaktyką, pozwoli na ograniczenie oraz zmniejszenie energii generowanych wstrząsów. Przy prowadzeniu eksploatacji na dużych głębokościach, w warunkach wysokich naprężeń tektonicznych, pomocne jest formowanie odpowiedniej strefy spękań wokół wyrobisk górniczych, zwłaszcza z uwzględnieniem pierwotnej struktury górotworu, przy zbliżaniu się frontów eksploatacji do uskoków.

Profilaktyka tapaniowa stosowana w polskich kopalniach węgla polega zawsze na destrukcji struktury pokładu i/lub skał otaczających, w szczególności stropowych, co spowoduje się do tworzenia w nich spękań i szczelin w wyniku eksploatacji odprężającej, strzelania wyprzedzającego, nawadniania lub ukierunkowanego hydroszczelinowania. Przyjmując takie postępowanie za słuszne, występowanie dużej liczby spękań pochodzenia naturalnego należy traktować jako czynnik korzystny, zaś strefy pokładu i górotworu silnie spękane jako strefy odprężone, niezagrożone tapaniami. Należy jednak zaznaczyć, że liczba spękań w pokładach jest zmienna i waha się od kilku do kilkudziesięciu spękań na metr kwadratowy. O ile w jednym przypadku pokład dzieli się na „cegły” o krawędzi 20–25 cm, to w innym wymiary „cegiełek” są znacznie mniejsze – 2–3 cm. Tym samym podatność pokładu na odkształcenie i zdolność do akumulacji energii sprężystej jest różna i zależy od stopnia spękania. W strefach silnie spękanych należy oczekiwać rozproszenia energii sprężystości, podczas gdy strefy mało spękane stanowić mogą w pewnym sensie resztki, w których koncentrują się wysokie naprężenia. Może to być przyczyną lokalnych koncentracji naprężeń w strefach mało spękanych. Niemniej jednak części

pokładu, w których występuje duża liczba spękań (powyżej 10 na metr kwadratowy) należy traktować jako nieskłonne do tapania.

Analizując wpływ czynników naturalnych na stan zagrożenia tapaniami można stwierdzić, że w większości publikacji [8, 13, 16, 25] nie poświęcono należytej uwagi spękanom górotworu. Mimo to autorzy, np. A. Goszcz i M. Kuś [15] twierdzą, że na pewno wpływają one na jego wytrzymałość.

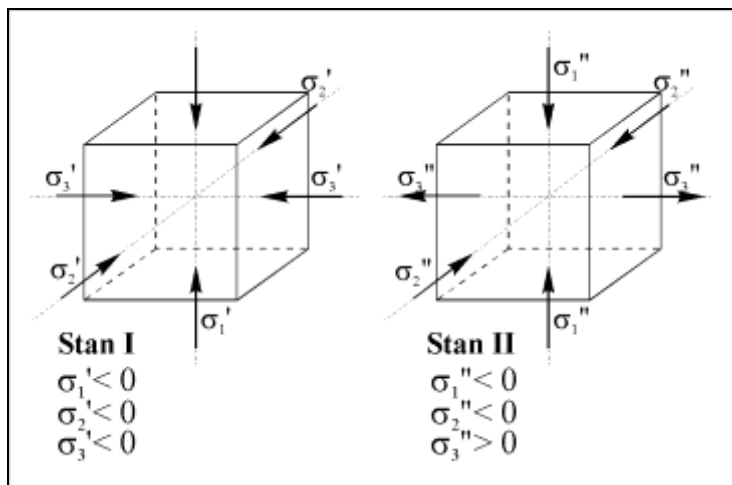
Wyniki badań i obserwacje kopalniane wskazują na niewątpliwy związek wstrząsów, których konsekwencją są tapania, z załamywaniem się grubych i mocnych warstw skalnych, a także wpływ pierwotnej i wtórnej strefy spękań na intensywność tego zjawiska. Zaobserwowano [4, 12], o czym wspominał także A. Sałustowicz, [36], że niejednokrotnie po zaistnieniu zjawiska dynamicznego, widocznie są w stropie głębokie szczeliny, których przed tąpnięciem nie było. Wcześniejsze badania W. Budryka [3] także wykazały, że spękania takie tworzą się regularnie co 80 m wzdłuż linii łupności górotworu, a miejsca tąpnięć pokrywają się dokładnie z tymi liniami.

Szczegółowe badania strukturalne skał Górnśląskiego Zagłębia Węglowego doprowadziły do wyodrębnienia dwóch systemów struktur charakteryzujących się różnymi kierunkami fałdowania. Kierunek południkowy w tektonice fałdowej uznany został za główny, z czasem odchylił się jednak stopniowo ku wschodowi i osiągnął kierunek równoleżnikowy. Strefy fałdów o kierunkach osi zbliżonych do równoleżnikowych zostały na tej podstawie uznane za pierwotne, zaś wtórne strefy fałdów południkowych za ukształtowane w konsekwencji późniejszych nacisków. Wzdłuż uskoków systemu południkowego, odbywały się ponownie ruchy pionowe oraz poziome, przeważnie lewoskrętne. Zuskokowanie, powstanie rowów i zrębów tektonicznych łączy się właśnie z tymi ruchami.

Wyjaśnieniem zjawisk w fazach największej deformacji zajmował się W. Jaroszewski [20], który stwierdził, że spękania górotworu są wynikiem oddziaływania pola naprężeń, ze składowymi leżącymi w płaszczyźnie poziomej. Układ, w którym oś pośredniego naprężenia głównego jest pionowa, powstał wyłącznie pod wpływem poziomej kompresji tektonicznej lub wskutek działania regionalnej pary sił. Istniał on w wąskim przedziale warunków, gdyż każdy spadek lub wzrost ciśnienia nadkładu powodował, że pozycję pionową uzyskiwano kosztem wartości pośredniej naprężenia minimalnego lub maksymalnego. Zatem, według Jaroszewskiego, uskoki przesuwcze powstały, gdy naprężenie poziome prostopadłe do kompresji było mniejsze niżby to wynikało z ciśnienia grawitacyjnego na danej głębokości.

Deformacje pokładów i skał otaczających doprowadziły nie tylko do zróżnicowania tektoniki górotworu karbońskiego, ale również do zmian podstawowych parametrów geomechanicznych skał. W okresie ruchów górotwórczych w skałach pojawiły się naprężenia tektoniczne, przy czym w warunkach geotechnicznych GZW, w których nastąpiło przemieszczanie skał, możliwe było powstanie dwóch różnych jakościowo stanów naprężeń.

Występowanie różnych stanów naprężenia, zilustrowanych schematycznie na rysunku 1, ma doniosłe konsekwencje geomechaniczne. Długotrwałe ściskanie ośrodka skalnego prowadzi bowiem do jego kompaktacji, wzrostu wytrzymałości i sprężystości, zaś poziome rozciąganie powoduje rozwój spękań, wzrost porowatości i osłabienie ośrodka.



Rys. 1. Schemat dwóch stanów naprężeń tektonicznych: stan I – wszystkie naprężenia ściskające; stan II – naprężenia σ_1 oraz σ_2 – ściskające, a naprężenie σ_3 – rozciągające [15, 16, 17]

Fig. 1. Scheme of two states of tectonic stress: state I – all the stresses compressive; state II – stresses σ_1 and σ_2 – compressive, stress σ_3 – tensile [15, 16, 17]

Według A. Goszcza [17] w obszarach, w których występował w przeszłości geologicznej stan I naprężeń (rys.1), należy oczekiwać zagrożeń tąpnięciami i wstrząsami, w obszarach stanu II – zagrożeń wodnych, zawałów, obwałowań i tym podobnych. Ponadto w strefach, w których występuje stan II powstają deformacje stałe w postaci spękań, szczelin, pęknięć kłiważowych, mikrospękań i inne. Wytrzymałość i sprężystość masywu skalnego przez ten stan zostaje obniżona.

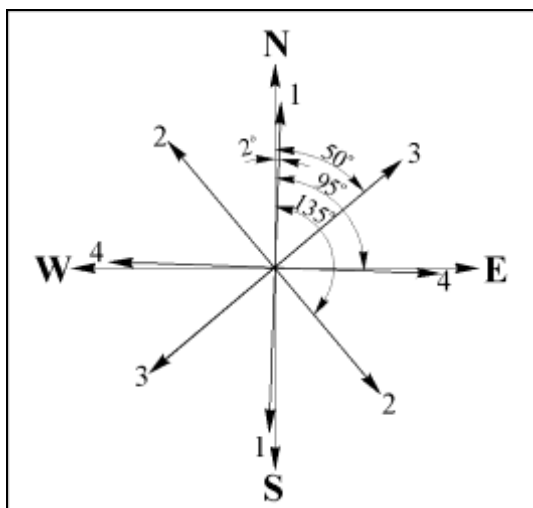
W wyniku procesów tektonicznych pierwotne formy zalegania złóż skalnych uległy zakłóceniom [33, 34], wytworzyły się bowiem w nich sfałdowania, spękania, uskoki, intruzje.

Spękania powstały w wyniku działania dużych naprężeń rozciągających lub ścinających, które nie zawsze muszą ujawniać się w postaci szczelin. Mogą to być jedynie układy powierzchni osłabionej spójności, bez dostrzegalnego rozdzielenia materiału pierwotnego. Powierzchnie spękań grupują się przeważnie w różne układy w przybliżeniu równoległych płaszczyzn z określoną orientacją przestrzenną. Jeżeli spękanie jest rozwarte – tworzą one szczelinę. W zasadzie każdy masyw skalny jest w mniejszym lub większym stopniu spękany.

3.1. Deformacje nieciągłe – uskoki

Uskok to struktura utworzona w wyniku przerwania ciągłości skał i przesunięcia rozspojonych części wzdłuż tak zwanej powierzchni uskokowej lub strefy uskokowej, powstających w procesie ścinania. Rezultatem rozspojenia ośrodka pierwotnie ciągłego jest uskok pierwotny, natomiast uskok wtórny tworzy się przez ślizg wzdłuż istniejącej powierzchni nieciągłości. Warstwy skalne przesunięte wzdłuż płaszczyzny uskoku w dół noszą nazwę skrzydła zrzuconego, warstwy nienaruszone lub podniesione – skrzydła wiszącego. Ilościowo uskok charakteryzują: kąt kierunkowy rozciągłości, kąt upadu powierzchni uskokowej oraz wysokość zrzutu uskoku, tzn. pionowa odległość skrzydeł. Uskoki występują przeważnie w zespołach, tworząc rozległe strefy uskokowe.

Analiza mapy tektonicznej północnej części GZW, na której zaznaczono uskoki o zrzucie większym od 1 m, pozwoliła na wydzielenie czterech ich systemów [16, 17]. Wyznaczone kierunki (rys. 2) odpowiadają czterem różnym fazom górotwórczym. Południkowa orientacja szczelin uskoków wskazuje, że przyczyną ich powstawania były deformacje spowodowane naciskiem wywieranym na górotwór od strony zachodniej.



Rys. 2. Orientacja systemów uskoków w północnej części GZW [16, 17]

Fig. 2. Orientation of the fault systems in the north part of the Upper Silesia Coal Basin [16, 17]

System 4 jest zgodny z kierunkiem głównych struktur fałdowych w północnej części GZW (do których należy Niecka Bytomska, Siodło Główne).

Orientacja uskoków systemu 2 oraz deformacja fałdowa o osiach zgodnych z nią, powstała w wyniku nacisku wywieranego na blok GZW o kierunku zbliżonym do SWW.

Ponieważ system 1 prawdopodobnie związany jest z fazą tworzenia głębokiego podłoża, pozostaje wyjaśnienie genezy systemu 3. Przypuszcza się, że uskoki z 3

systemu spowodowane zostały ruchami przesuwными. Przytoczona klasyfikacja czterech systemów uskoków wyklucza możliwość przypadkowej orientacji szczelin.

W praktyce oznacza to, że jeżeli robotą górniczą napotka się na nieudokumentowany dotychczas uskok, można z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć jego przebieg, przypisując go do jednego z wyżej wymienionych systemów. Dowiedziono także, że istnieje wyraźna zgodność między orientacją uskoków a orientacją spękań górotworu.

Dotychczasowe obserwacje uskoków, polegające na określaniu ich przestrzennego zorientowania i położenia względem głównych struktur fałdowych, pozwalają na znalezienie zależności genetycznych między strukturami tektonicznymi w badanym górotworze. Sporządzenie charakterystyki powierzchni stref uskokowych umożliwia prześledzenie przebiegu dyslokacji w przekroju pionowym i w płaszczyźnie poziomej. Obserwowano i opisano [5] cechy geometryczne uskoków we wszystkich badanych obszarach górniczych oraz pomierzono ich orientację przestrzenną. Pobieźna analiza wykazała, że zdecydowana większość z nich zapada pod bardzo stromymi kątami (powyżej 95% ogólnej liczby pomierzonych powierzchni uskoków ma kąt upadu nie mniejszy od 75°). Są to systemy uskoków o kierunkach:

- NW-SE – które mają orientację zbliżoną do dyslokacji podłużnych względem osi struktur fałdowych;
- SW-NE – które zajmują pozycję uskoków poprzecznych do osi struktur fałdowych;
- N-S – które stanowią najliczniejszą grupę dyslokacji w badanym terenie. Charakterystyczną cechą tych struktur jest szeroka, dochodząca nawet do 300 m strefa uskokowa, złożona z wielu szczelin, z przestrzenią międzyszczelinową wypełnioną brekcją lub iłem tektonicznym. Widoczne są ugięcia przyuskokowe. Spotykana jest zmienność upadu powierzchni uskokowych w pionie. Cechy strefy ślizgowej pozwoliły zaszeregować uskoki do grupy struktur pierwotnych [32]. Tworzą one system skomplikowanych rowów i zrębów tektonicznych;
- W-E – które mają niewielki procentowy udział w tektonice dysjunktywnej zbadanego obszaru. Ich bezpośrednie obserwacje wykazały różnice pod względem nieciągłości. W konsekwencji ich obecność uzupełnia obraz nieciągłej deformacji górotworu karbońskiego.

Mając na uwadze duże zróżnicowanie form stref uskokowych, liczni badacze zaproponowali szereg klasyfikacji uskoków. I tak, A. Kidybiński [21] na podstawie wyników badań prowadzonych między innymi przez M. Skinderowicza [37], opracował podział nieciągłych deformacji tektonicznych na podstawie kryterium geometrycznego. Wydzielił on siedem głównych form deformacji, a w nich: uskoki normalne, odwrócone, pionowe, poziome, leżące, spękania oraz zgniecenia warstw.

Badania W. Wojnara [44] pozwoliły na opracowanie geotechnicznej klasyfikacji uskoków, obejmującej cztery główne klasy, tj.: uskoki regionalne, lokalne, miejscowe oraz pokładowe.

Próbę podziału uskoków podjął także J. Górecki [18], dzieląc je na dwie klasy:

- Klasa I – to uskoki regionalne, o zasięgu przekraczającym rozmiary obszarów górniczych i zrzuć $h > 10$ m (najczęściej od kilkudziesięciu do kilkuset metrów),
- Klasa II – to lokalne uskoki właściwe danemu obszarowi górniczemu, które podzielone są na grupy:
- grupa 1 – uskoki o zrzutach $h > 10$ m,
 - grupa 2 – uskoki o zrzutach od 10 do kilku metrów,
 - grupa 3 – uskoki pokładowe, o zrzutach od kilku metrów (na ogół nie więcej niż 2–3 m) do 0,2 m,
 - grupa 4 i 5, uskoki o zrzutach $h < 0,2$ m i paraklasy, nierejestrowane na mapach górniczych, praktycznie bez znaczenia jako elementy tektoniczne naruszające ciągłość złoża.

Na podstawie najnowszej klasyfikacji uskoków R. Dadleza i W. Jaroszewskiego [5] sporządzono geometryczny ich podział, według:

- a. kąta upadu powierzchni uskokowej: uskoki pionowe, strome, połogie (lisferyczne) i poziome,
- b. kierunku ruchu uskokowego względem orientacji powierzchni uskokowej: **uskok zrzutowy** – w tym uskok normalny, odwrócony i progowy; **uskok przesuwczy**, lewoskrętny lub prawoskrętny, **uskok zrzutowo-przesuwczy** jako: normalno-przesuwczy, inwersyjno-przesuwczy, progowo-przesuwczy,
- c. toru ruchu uskokowego: uskok translacyjny, rotacyjny,
- d. zwrotu ruchu uskokowego względem struktury ogólnej: uskok antytetyczny, homotetyczny,
- e. przebiegu uskoków względem ogólnego trendu strukturalnego: uskok podłużny, poprzeczny, skośny.

Uskoki regionalne i lokalne, o dużych zrzutach, rozgraniczają obszary górnicze i dzielą je na bloki eksploatacyjne. Każdy z bloków zazwyczaj wymaga osobnego udostępnienia, wobec czego ilościowa charakterystyka intensywności występowania uskoków regionalnych i dużych lokalnych nabiera istotnego znaczenia w pracach projektowych.

3.2. Strukturalne osłabienie skał – łupność

Według T. Ryncarza [34] przez strukturę skały rozumie się te właściwości jej budowy, które są uwarunkowane rozmiarami oraz kształtem i charakterem powierzchni ziaren mineralnych (dla skał spoistych i zwięzłych) lub okruchów skalnych (dla skał okruchowych). Pod pojęciem tekstury skał rozumie się te właściwości, które uwarunkowane są sposobem przestrzennego ułożenia ziaren oraz stopniem wypełnienia przez nie przestrzeni zajmowanej przez skalę. Do cech tekstury zalicza się między innymi łupność (cios) i uwarstwienie. Zgodnie z tą definicją, łupność jest zdolnością skał do łatwiejszego pęknięcia (pod działaniem sił) wzdłuż określonego układu płaszczyzn, w którym występuje osłabiona spójność między

ziarnami. Łupność jest wynikiem różnych procesów fizycznych, którym podlegały skały w czasie tworzenia się i w okresie późniejszym. Drugą cechą tekstury jest uwarstwienie skał, uwarunkowane kolejnością powstawania nakładających się utworów skalnych o różnym składzie chemicznym i mineralnym, różnej ziarnistości lub różnej orientacji ziaren. Płaszczyzny rozdzielające poszczególne warstwy, czyli płaszczyzny uwarstwienia, są przeważnie również płaszczyznami osłabionej spójności. Zwykle układ płaszczyzn łupności nie pokrywa się z układem płaszczyzn uwarstwienia.

Łupność skał stropowych, która dla procesu ruchu skał w otoczeniu wyrobiska wybierkowego ma znaczenie podstawowe, jest od dawna przedmiotem zainteresowania górników. Łupność górotworu, według K. Pawłowicza (1966) [32], zależy od:

- własności fizykomechanicznych skał (głównie wytrzymałości na ściskanie, ścinanie, zginanie),
- płaszczyzn osłabionej spójności występujących w górotworze:
 - w postaci powierzchni równoległych do powierzchni ograniczających warstwy skalne,
 - w postaci powierzchni nieregularnych spękań (cios-łupność, szczelinowość),
- układu i nachylenia warstw w rozumieniu różnego usytuowania względem pokładu warstw o rozmaitej grubości, wytrzymałości, sztywności i tym podobnych.

Zdolność skał do dzielenia się na bloki wzdłuż pewnych płaszczyzn scharakteryzował M. Nieć [30] i nazywał ją podzielnością, która może być utajona lub jawna. Gdy nie ma widocznego odstępu między powierzchniami podzielności, mówi się o spękaniach, a gdy są wyraźne – o szczelinach. Spękania i szczeliny mogą być wypełnione treścią mineralną.

Łupność opisana została także przez W. Jaroszewskiego [20] jako skłonność masywu skalnego do podziału na mniej lub bardziej regularne bloki. Podzielność skał można sklasyfikować następująco:

- a. podzielność pierwotna (teksturalna):
 - warstwowość (skały osadowe),
 - łupność (skały magmowe),
 - łupkowatość (skały metamorficzne);
- b. podzielność wtórna:
 - mechaniczna (przeważnie tektoniczna):
 - kompresyjna,
 - tensyjna;
- c. termiczna (oddzielność).

Oprócz podzielności geologicznie pierwotnej i wtórnej w najbliższym otoczeniu wyrobisk podziemnych występują z reguły spękania spowodowane odprężeniem

górotworu wokół wyrobiska i przebiegające w przybliżeniu równolegle do jego ociosów. Noszą one nazwę spękań eksploatacyjnych lub wyprzedzających (w przypadku frontu wyrobisk eksploatacyjnych) bądź spękań ociosowych (w przypadku ociosów chodników) i przebiegają najczęściej wzdłuż płaszczyzn kłiważu.

Najnowszą teorią opisującą strukturę górotworu jest teoria przyjęta przez R. Dadleza i W. Jaroszewskiego [5], zgodnie z którą spękanie to powierzchnia nieciągłości mechanicznej czyli przerwanie ciągłości (skały), bez makroskopowo dostrzegalnego przemieszczania wzdłuż tej powierzchni. Jeżeli takie przemieszczenie występuje ma się do czynienia z uskokiem. Według tych autorów spękania są nie tylko tektoniczne. Należą do nich na przykład rozspojenia powodowane wysychaniem osadu, termicznym skurczem skał magmowych i inne.

Według A. Sałustowicza [36] płaszczyzny łupności przebiegają zwykle w kierunku zbliżonym do kierunków prostopadłych ($70-85^\circ$) do uwarstwienia i są płaszczyznami osłabionej spójności. „(...) Mogą przebiegać w masywie od spągu ku caliznie w kierunku eksploatacji albo odwrotnie od calizny ku spągowi (...)”. W pierwszym przypadku jest to łupność leżąca, która powoduje obsuwanie się (poślizg) grubych brył skalnych (nasila się zjawisko opadu stropu). W drugim przypadku ma się do czynienia z łupnością wiszącą, która jest groźniejsza od łupności leżącej ponieważ proces niszczenia warstw skalnych zachodzi gwałtowniej (nasila się liczba wstrząsów i zjawisk dynamicznych calizny węglowej między innymi w postaci wyrzutu calizny). Stąd teza A. Sałustowicza: Urabianie węgla w ścianie jest dużo łatwiejsze, wtedy gdy jest ona równoległa do jednego kierunku łupności, aniżeli wtedy gdy jest skośna lub prostopadła (...)”. A. Sałustowicz zalecał sytuowanie frontu ściany równolegle do łupności, co ułatwiałoby prowadzenie systematycznych zawałów. Przy stropie słabym, trudnym do utrzymania, ściana powinna przebiegać pod pewnym kątem do łupności, co zapobiega przedwczesnemu zawałowi. Uważał, że utrzymanie stropu chodnika jest łatwiejsze, gdy oś chodnika jest prostopadła do łupności. Chodniki takie utrzymują się nawet bez obudowy.

Duże znaczenie w przypadku urabiania i utrzymania stropu, według A. Sałustowicza, ma również kierunek nachylenia płaszczyzn łupności w przekroju pionowym. Przy łupności leżącej urabianie jest łatwiejsze, a wydajność większa niż przy łupności wiszącej. Jeżeli chodzi o utrzymanie stropu w ścianie, to łupność leżąca zwiększa jego wytrzymałość dzięki dobremu oparciu o caliznę. Przeciwnie przy łupności wiszącej – strop zawala się łatwo i przy słabych skałach jest trudniejszy do utrzymania.

Prognoza skłonności górotworu do tąpań opracowana z uwzględnieniem łupności była także przedmiotem badań B.S. Vinokura, A.V. Rusakova, G.F. Jakuseva [42]. W publikacji [42] przedstawiono zależności stopnia zagrożenia tąpaniami od kierunków płaszczyzn łupności. Ustalono, że stopień zagrożenia tąpaniami jest największy przy kierunkach rzutów płaszczyzn łupności prostopadłych i równoległych do osi wyrobiska korytarzowego, a najmniejszy tworzących z osią tych wyrobisk kąt $40-50^\circ$.

Konieczność jakościowej oceny wpływu osłabionej spójności na górotwór w otoczeniu prowadzonej eksploatacji zmusza do dalszych, wnikliwych badań opisywanych zjawisk i tektoniki GZW. Ocena aktywności sejsmicznej w górotworze lokalnie zaburzonym i o znanych cechach pierwotnych pozwala na właściwą ocenę stanu zagrożenia tąpnięciami.

4. SEJSMICZNOŚĆ INDUKOWANA A ZAGROŻENIE TĄPNĘCIAMI

Większość istniejących teorii dotyczących tąpnięć bazuje na naprężeniowym charakterze ich mechanizmu. W wyniku działalności górniczej w powiązaniu z pewnymi szczególnymi własnościami naturalnymi górotworu może dojść do wytworzenia takiego wtórnego stanu naprężenia (zwanego na ogół koncentracją naprężeń), przy którym dochodzi do przekroczenia wyężenia krytycznego i gwałtownej dezintegracji (kruche go pęknięcia) górotworu, które może prowadzić do wystąpienia wstrząsu górotworu i nagłego zniszczenia wyrobiska. Analiza zaistniałych tąpnięć potwierdza w większości przypadków naprężeniowy charakter mechanizmu tąpnięcia. Są jednak przypadki, których nie można wyjaśnić mechanizmem naprężeniowym.

Jedną z koncepcji mechanizmu tąpnięcia jest mechanizm statecznościowy określony stopniem stateczności. Gdy stopień ten ma zbyt małe wartości, wówczas może dojść do nagłej utraty stateczności układu pod wpływem nawet niewielkiego impulsu, przy czym skutki, na przykład: przemieszczenia, mogą być nieproporcjonalnie duże w porównaniu z wielkością impulsu.

Inne wyjaśnienie mechanizmu tąpnięcia jest związane ze zjawiskiem fali uderzeniowej. Impuls, spowodowany na przykład załamaniem się mocnej warstwy stropowej, może wywołać falę, która – mając charakter uderzeniowy – może w szczególnej sytuacji spowodować skutki charakterystyczne dla tąpnięcia.

Mechanizm tąpnięć stropowych stanowił przedmiot długoletnich badań A. Goszcza [17]. Podał on prawdopodobny mechanizm tąpnięcia stropowego, który nazwał mechanizmem poślizgowym.

Do tej grupy hipotez należałoby zaliczyć hipotezę efektywnej energii wstrząsu powodującego tąpnięcie. Mianowicie, przyjmując – zgodnie z definicją – że tąpnięcie jest zniszczeniem lub istotnym uszkodzeniem wyrobiska lub jego odcinka, zakres tych uszkodzeń będzie proporcjonalny do energii przetransmitowanej z ogniska wstrząsu do wyrobiska. Najniższa energia wstrząsu wyzwalana przy tąpnięciu w warunkach GZW wynosi $E_0^n = 5 \cdot 10^3$ J. W. Konopko [24] określił ją mianem elementarnej energii tąpnięcia. W takim przypadku tąpnięcie może wystąpić wtedy i tylko wtedy, gdy ognisko wstrząsu znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska.

Według W. Konopko (1994) [24] niezależnie od przyjętych kryteriów – tąpnięcie definiowane jest jako gwałtowne uszkodzenie bądź zniszczenie wyrobiska powodowane gwałtownym zniszczeniem struktury pokładu (skały) w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska i dynamicznym przemieszczeniem węgla (skał) do wyrobiska. Zaistnienie takiego zjawiska wynika z własności pokładu (skał) pozwalającej na

kumulowanie energii sprężystej i jej gwałtowną zamianę na energię zniszczenia struktury pokładu (skał) i dynamicznego przemieszczania (wyrzucenia) węgla (skał) do wyrobiska, najczęściej z równoczesnym zniszczeniem obudowy.

Istotne znaczenie w kształtowaniu się stanu równowagi górotworu w sąsiedztwie wyrobisk wybierkowych mają formy geologiczne eksploatowanego złoża, własności skał tworzących złożę, jak również – i to w decydującym znaczeniu – podatność na spękania i łupność skał zalegających w stropie.

Wymienione koncepcje nie wyczerpują wszystkich możliwości. Jedno jednak jest wspólne dla wymienionych przykładów – zjawisko tąpnięcia, jego intensywność zależy głównie od warunków naturalnych górotworu, a tym samym od jego struktury nieciągłej (łupności, uskoków, spękań).

Badanie związku między zaistniałym tąpnięciem a działalnością górniczą prowadzoną w pobliżu uskoku skłania do przyjęcia jako jednej z możliwych – koncepcji propagacji szczeliny uskokowej.

Niezależnie od konkretnego mechanizmu zjawiska, tąpnięcie może zaistnieć wyłącznie w przypadku nałożenia się na siebie pewnych szczególnych warunków naturalnych (geologicznych) i technicznych, wywołanych działalnością górniczą.

Prawie wszystkie prace dotyczące wstrząsów i tąpnięć wiążą powstawanie wstrząsów z występowaniem w profilu geologicznym grubych warstw piaskowców o dużej wytrzymałości i sztywności [2, 3, 22, 24], ale nie uściślają wpływu ich płaszczyzn osłabionej spoiwości.

4.1. Badania mechanizmów powstawania wstrząsów

W związku z tym, że w polskich kopalniach występuje wyjątkowo wysoka aktywność sejsmiczna indukowana działalnością górniczą, w celu skuteczniejszego jej zwalczania niezbędne jest bardziej wszechstronne rozpoznanie zarówno strukturalnych cech górotworu, jak i mechanizmu procesów zachodzących bezpośrednio w ognisku wstrząsu [7]. Zależności między rodzajem tego mechanizmu a położeniem ogniska wstrząsu w stosunku do frontu ściany potwierdzają tworzenie się blokowej struktury górotworu odprężonego, szczególnie przed frontem eksploatacji, przejawiającej się jako rozspajanie mocnych i grubych kompleksów skalnych i jako poprzeczne pęknięcia.

Przez wielu badaczy analiza ognisk wstrząsów górniczych jest rozumiana jako analiza przestrzennego położenia płaszczyzny pęknięcia w ognisku lub wywołujących go sił. Dotychczasowe badania dowodzą, że źródła sejsmiczne mogą być podzielone na objętościowe i na te, które wywołane są procesami pęknięcia. Przykładem pierwszego typu źródeł są eksplozje materiałów wybuchowych. Drugi typ źródeł sejsmicznych związanych z procesami pęknięcia jest charakterystyczny dla samowyzwalających się procesów dynamicznych, na przykład zjawisk sejsmicznych pochodzenia górniczego, które są przedmiotem badań mikrograwimetrycznych [11], sejsmologii i sejsmoakustyki górniczej.

Badania nad oddziaływaniem względnych ruchów bloków podłoża na zjawiska sejsmiczne w GZW prowadził między innymi zespół pod kierunkiem L. Tepera [40]. Prace dowiodły fizycznej sensowności korelowania propagacji fal sejsmicznych z nieciągłościami tektonicznymi ośrodka skalnego. W celu określenia związków między tektoniką a występowaniem wstrząsów, według autorów, należy porównać typy ognisk wstrząsów wyróżnione na podstawie analizy diagramów orientacji płaszczyzn nodalnych z aktualnym stanem naprężeń.

Większość wstrząsów rozpatrywanych jako „linia” wyprzedzało front ściany, a linia ta była w większości przypadków równoległa do frontu ściany. Z tego też powodu można mówić o wpływie warunków naturalnych (struktura górotworu) na aktywność sejsmiczną.

Według A. Goszcza [15, 16, 17] tektonika nie ma bezpośredniego wpływu na występowanie wstrząsów. Wyraźny wpływ mają naprężenia tektoniczne, które w przeszłości spowodowały zmianę własności geomechanicznych górotworu. Pod wpływem naprężeń tektonicznych w masywie skalnym powstały spękania o różnych wymiarach i uporządkowanej orientacji przestrzennej, wymuszonej przez rozkład naprężeń głównych. Konsekwencją tych spękań jest anizotropia wytrzymałościowa górotworu. Dlatego skały o większej wytrzymałości załamują się wzdłuż kierunków osłabienia, a ponieważ pękanie stropu jest jedną z przyczyn wstrząsów, należy oczekiwać, że ogniska wstrząsów powinny występować wzdłuż tych kierunków.

I.C. Wong [45], prowadząc podobne badania, dokonał korelacji pomiędzy naprężeniami tektonicznymi a mechanizmami tworzenia się ognisk bardzo silnych wstrząsów górniczych, występujących w poszczególnych Zagłębiach Europy i wykazał, że tektoniczne naprężenia kompresyjne odgrywają decydującą rolę w występowaniu tego typu sejsmiczności.

Z. Kłeczek i A. Zorychta, [22] na podstawie mechanizmu i warunków powstawania wstrząsów dokonali ich podziału na:

- a) wstrząsy powstające nad calizną – będące skutkiem zginania warstw stropowych i rezultatem ich pękania,
- b) wstrząsy powstające w zrobach – będące efektem utraty stateczności blokowej struktury górotworu, wynikającej ze spękania warstwy o dużej wytrzymałości i sztywności,
- c) wstrząsy będące skutkiem uaktywniania się zaburzeń uskokowych. Wstrząsy te należą do najrzadziej analizowanych. Próba wyjaśnienia tego typu zjawiska polegała dotychczas na potraktowaniu uskoku jako propagacji szczeliny.

Dotychczasowe wyniki badań nad mechanizmem tworzenia się ognisk wstrząsów wskazują, że mechanizm ten opisywany matematycznie podwójną parą sił, działających w ognisku punktowym, najlepiej odpowiada modelowi ogniska wstrząsu górniczego i warunkom geomechanicznym, tworzącym się w strefie formowania się ogniska [9]. Zatem mechanizm tworzenia się ogniska, odpowiadający modelowi ścinania stanowił, w tym przypadku, podstawę rozwoju metodyki określania parametrów płaszczyzny ścinania.

Szczegółową analizą wstrząsów górniczych w strefie bliskiej uskoku zajął się G. Mutke [29], który dowiódł, że zapisy takich wstrząsów stanowią doskonały materiał do weryfikacji badań nad mechanizmami tworzenia się ognisk wstrząsów górniczych i wyznaczonymi dla nich parametrami.

Analiza związku sejsmiczności z budową tektoniczną i przebiegiem eksploatacji w obszarze górniczym wykonana przez G. Sagana i W. Zuberka [35] wykazała, że głównymi czynnikami powodującymi występowanie wstrząsów są: wielkość wyeksploatowanej powierzchni, stopień zaangażowania tektonicznego i głębokość eksploatacji. Według tych badaczy wstrząsy występują zarówno w strefach zaangażowanych tektonicznie, jak i w strefach niezaburzonych tektonicznie. Ponadto stwierdzono, że liczne wstrząsy wystąpiły poza obszarami prowadzonej eksploatacji i zwykle lokalizowały się na liniach deformacji tektonicznych.

Badania korelacji między tektoniką a aktywnością sejsmiczną górotworu prowadził J. Dubiński [10]. Wykazał istnienie związku między geomechaniczną strukturą górotworu a poziomem sejsmiczności indukowanej robotami górniczymi. W celu określenia stanu struktury geomechanicznej oraz jej zmian zastosował sejsmiczną technikę pomiarową połączoną z tomograficznym odwzorowaniem pola prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych. Wyniki dołowych pomiarów sejsmicznych prowadzonych w celu wyprzedzającego rozpoznania geotechnicznej struktury górotworu przed frontem ścianowym wykazały wyraźny związek tej struktury z charakterem aktywności sejsmologicznej.

Próbę korelacji parametrów zuskokowania obszarów niecki Bytomskiej i siodła Głównego z parametrami aktywności sejsmicznej odpowiednich obszarów przeprowadzili G. Sagan, W. Zuberek [35]. Na podstawie analizy związków statystycznych między wskaźnikami budowy tektonicznej a wskaźnikami aktywności sejsmicznej wykazali ściśle zależności między obydwoma zjawiskami (bez i z uwzględnieniem wielkości zrzutu), wynikające przede wszystkim z liczby wstrząsów oraz z wielkości wyzwolonej energii sejsmicznej. Zjawiska sejsmiczne silne, lecz rzadkie koncentrują się w pobliżu uskoków, zaś niskoenergetyczne, lecz częste są związane głównie z eksploatacją. Dominujące pod względem liczby wstrząsy pojawiają się głównie w obszarach niezaburzonych tektonicznie.

Obserwowany w ostatnich latach rozwój metod pomiarowych [4] umożliwia lepsze rozpoznanie procesów (geodynamicznych) pękania, zachodzących w górotworze otaczającym wyrobiska górnicze. Jednym z głównych nośników informacji o rozwoju pękania jest sejsmiczna emisja górotworu. Emisja ta zawiera prekursorzy, które mogą być wykorzystane do określenia ryzyka wystąpienia wstrząsu [4].

Obliczenia numeryczne, wykonane przez zespół T. Majcherczyk, A. Tajduś, M. Cała [28], potwierdziły wpływ uskoków na wzrost zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami. Dowiodły istnienia wyraźnego wpływu uskoku na stan naprężeń w stropowych warstwach piaskowca występującego w otoczeniu wyrobisk. Stwierdzono także, że koncentracja naprężeń może doprowadzić do nagłego zniszczenia warstwy piaskowca połączonego z dynamicznym wyładowaniem energii (tąpnięciem). Z graficznych obrazów rozkładów naprężeń na modelu wynika, że strefy

maksymalnych koncentracji naprężeń, a tym samym największego zagrożenia tąpnięciami, występują w odległości do około 40 m od uskoku.

Podobne analizy prowadził A. Tyrała z zespołem w 1975 r. [41], a wyniki ich doświadczeń z zakresu oddziaływania uskoku tektonicznego na przebieg deformacji wskazały na zależność tego procesu od cech geologicznych i geometrycznych, charakteryzujących uskok oraz od usytuowania pola eksploatacyjnego względem płaszczyzny uskoku. Analiza danych skłoniła autorów do sformułowania następujących wniosków:

1. Aktywność uskoku tektonicznego rozumiana jako zdolność wywoływania anomalii rozkładów i wielkości deformacji powierzchni zależna jest od kąta nachylenia płaszczyzny uskokowej, własności szczeliny oraz od położenia pola eksploatacyjnego względem płaszczyzny uskoku.
2. Największą aktywnością charakteryzują się uskoki o kątach nachylenia w granicach od 60° do 90° i prostym przebiegu szczeliny uskokowej, przy czym jej wypełnienie dodatkowo ułatwia przemieszczenie się mas skalnych.
3. Położenie pola eksploatacyjnego względem płaszczyzny uskoku determinuje jedynie rozkład anomalii deformacji poeksploatacyjnej, w mniejszym stopniu wpływa na ogólnie pojętą aktywność uskoku.

Powyższe doświadczenia wykazały, że dla przypadku eksploatacji pokładów węgla w rowie tektonicznym złożonym z dwóch uskokuw z uwagi na zagrożenie tąpnięciami bezpieczniej jest najpierw prowadzić eksploatację po obu stronach uskokuw, a następnie między nimi.

Badania nad sejsmicznością indukowaną działalnością górniczą kopalń wykazały istnienie wstrząsów wynikających z różnych przyczyn i procesów ich powstawania [6, 11, 38]. Najwięcej wstrząsów indukowanych jest eksploatacją górniczą. Ogniska ich znajdowały się w pobliżu wyrobisk górniczych. Ten rodzaj sejsmiczności w warunkach GZW był przedmiotem szczegółowych badań Z. Wierzchowskiej [43] oraz innych badaczy i praktyków: A. Bilińskiego [1], A. Goszcza [17], J. Dubińskiego [10]. Specyfika prowadzonej eksploatacji oraz lokalne stany naprężeniowo-deformacyjne ukształtowane przez sytuację geologiczno-górniczą mają istotny wpływ na poziom i rozkład przestrzenny oraz energetyczno-ilościowy tego rodzaju sejsmiczności. Stąd wynika istotny wniosek o istnieniu zależności pomiędzy aktywnością sejsmiczną górotworu a działalnością górniczą. Rzadziej wstrząsy są związane z występowaniem aktywności sejsmicznej pozostającej tylko w częściowej zależności z eksploatacją górniczą. Przyczyn jej zaistnienia należy dopatrywać się zarówno w regionalnych zmianach naprężeń wynikających z działalności górniczej w dużych polach eksploatacyjnych (kilka ścian, oddziałów wydobywczych, kopalń), jak i istniejących naprężeń tektonicznych powiązanych ze strefami zaburzeń geologicznych tektoniki pierwotnej (uskoki) [15, 21, 40, 46].

5. BADANIA WPŁYWU KIERUNKU BIEGU ŚCIAN NA GENEROWANĄ AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNĄ

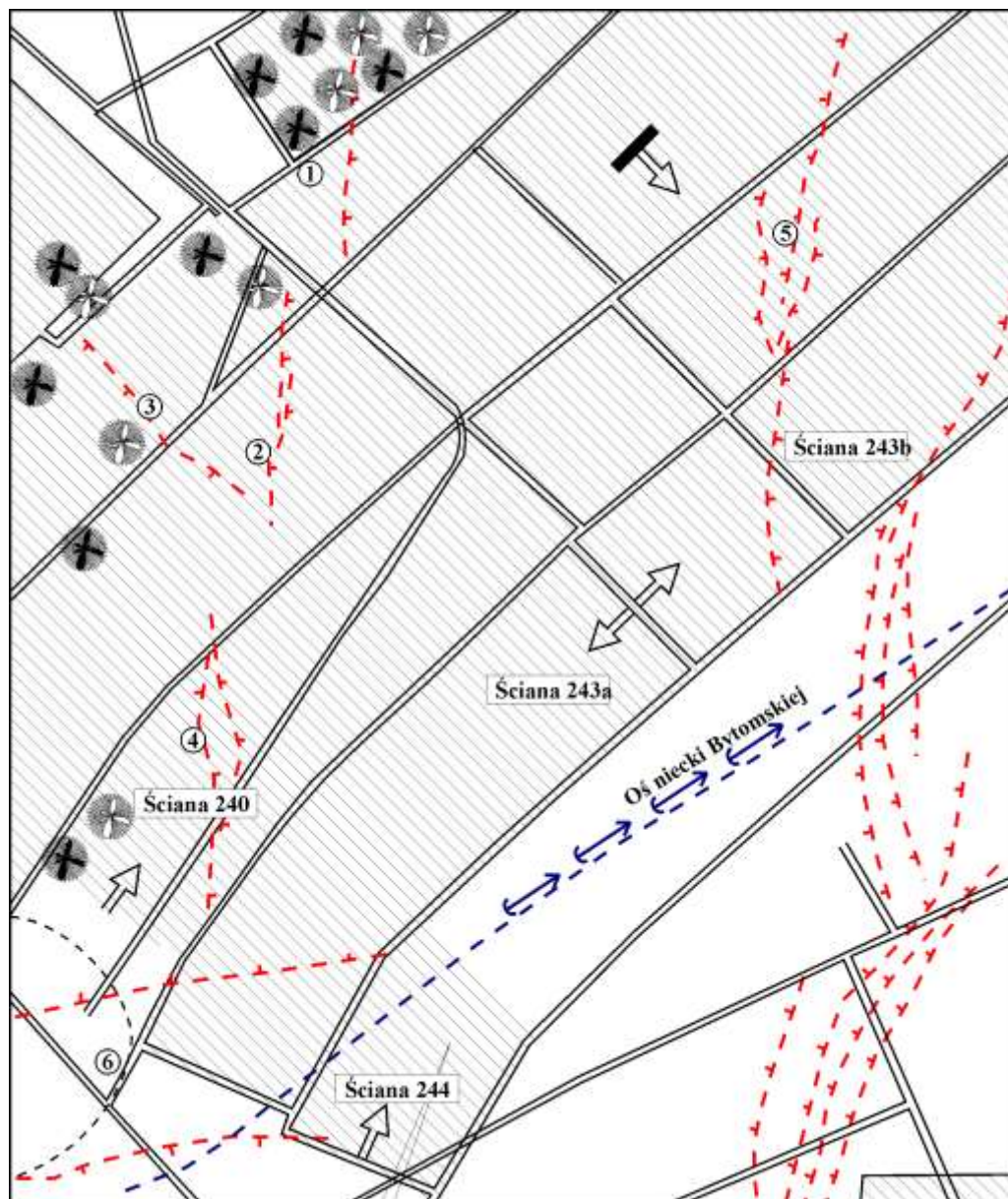
5.1. Wybór poligonu badawczego

W rozdziałach 4 i 5 wykazano, że na sejsmiczność rejonu, a tym samym i na zagrożenie tąpnięciami, poza warunkami geologicznymi, znaczny wpływ wywierają uprzednio dokonane roboty górnicze zarówno w danym pokładzie, jak i pokładach wyżej lub niżej leżących. Istotne zakłócenia w sejsmiczności indukowanej mogą powodować między innymi resztki, krawędzie, nierównomierne co do łącznej grubości wyeksploatowania złoża, nadmierne rozcięcie pokładu wyrobiskami korytarzowymi. W związku z tym znalezienie poligonu badawczego, na którym wymienione czynniki nie będą oddziaływały lub oddziaływanie ich będzie pomijalnie małe było trudne. Kopalnie GZW są bowiem stare, złoża w znacznym stopniu wyeksploatowane, skutki zaszłości eksploatacyjnych w większości pól wybierkowych spełniają istotną rolę odprężającą bądź koncentrują naprężenia, często na znacznych powierzchniach pól ścianowych. Dodatkowe wymagania stawiane poligonowi do badań szczegółowych – to występowanie uskoków w polu ścianowym, możliwych do przejścia frontem ściany oraz duże prawdopodobieństwo generowania licznych wstrząsów, w tym wysokoenergetycznych. Ponadto, jest wymagana zbliżona głębokość zalegania pokładu na całym wybiegu ściany (ścian) i względnie stała grubość pokładu. Wymienione kryteria spełniał pokład 620 w ZWSM Jadwiga Spółka z o.o. (rys. 3).

Eksploatacja tego pokładu w północno-zachodnim skrzydle Niecki Bytomskiej powodowała wstrząsy o różnej energii. Każdy ze wstrząsów opisany współrzędnymi x i y lokalizował epicentrum ogniska wstrząsu w płaszczyźnie poziomej i dotyczył wyłącznie otoczenia pokładu 620.

Chodnik podścianowy pola ściany 243 (chodnik do dna niecki) wydrążono na głębokości około 1200 m, z niewielkim odchyleniem od osi niecki. Ze względów technologicznych pole ściany 243 było podzielone na dwie części, z których część południowo-zachodnią eksploatowano ścianą 243a o kierunku przemieszczania się frontu z północnego wschodu na południowy zachód, a część północno-wschodnią – ścianą 243b o kierunku odwrotnym do przemieszczania frontu ściany 243a. Eksploatację ściany 243b rozpoczęto po zakończeniu eksploatacji ścianą 243a. Szczególne znaczenie dla badań miał przeciwny bieg ścian 243a i 243b ze względu na zgodny kierunek nachylenia powierzchni uskokowych uskoków występujących w polu wybiegu obu ścian. Resztki i krawędzie występują w pokładzie 510 zalegającym w odległości $h \geq 320$ m.

Zgodnie z wynikami badań, przeprowadzonych przez J. Dubińskiego [9], mierzalny wpływ resztek i krawędzi z pokładów wyżej zalegających obserwowano do odległości 90–110 m. Biorąc pod uwagę odległość pionową między pokładami 620 i 510 – można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że w pokładzie 620 stan naprężenia wynikał z jego geologicznych uwarunkowań.



Rys. 3. Schemat poligonu do badań szczegółowych (pokład 620, ZWSM Jadwiga Sp. z o.o.)

Fig. 3. Scheme of the ground for detailed testing (seam N: 620, Jadwiga mine)

W bezpośrednich stropach i spągach pokładów bilansowych ZWSM Jadwiga występują głównie łowce zapiaszczone bez wyraźnego warstwowania. Lokalnie stropy lub spągi wykształcone są w postaci mułowców, piaskowców lub łupków sapropelowych. Piaskowce występujące w bezpośrednich stropach pokładów charakteryzują się niewielkim rozprzestrzenieniem. Warstwy porębskie w obrębie Obszaru Górniczego ZWSM Jadwiga osiągają grubość około 500 m. W warstwach tych zaznacza się nieznaczna przewaga łowców i mułowców nad piaskowcami, których średni udział w profilu wynosi 45%. Występują pokłady od 610 do 625, które były intensywnie eksploatowane.

Pokład 620, który poddano szczególnej analizie ma grubość 1,6–2,2 m i nachylenie 0–35°. Zalega na głębokości 825–1200 m. Na całym obszarze górniczym ZWSM Jadwiga zaliczony został do III stopnia zagrożenia tąpnięciami. Nad pokładem 620 w odległości 160–180 m został czysto wyeksploatowany cienki (1,0–1,5 m) pokład 610. Najbliższe krawędzie i resztki pokładów grupy siodłowej zalegają w odległości powyżej 320 m. Pokład 620 został czysto wybrany w północno-zachodnim, południowym i północnym skrzydle Niecki Bytomskiej, systemem ścianowym z zawałem stropu na całą wysokość. Eksploatację tego pokładu w tym rejonie Niecki Bytomskiej rozpoczęto w 1969 roku i kontynuowano do roku 1999.

Pod względem litologicznym budowa geologiczna warstw porębskich w otoczeniu pokładu 620 badanego rejonu jest bardzo złożona. Warstwy w profilu sięgającym powyżej 200 m charakteryzują się dużą nieciągłością i zróżnicowaną miąższością. W serii tej dominują piaskowce, których udział wynosi 55,6%. Udział mułowców jest zmienny i wynosi około 22,5%. Mniejszy i bardziej stały jest udział łowców, który wynosi 19%. Łupki węglowe i węgle stanowią od 4,4 do 8,9% (tabl. 1).

W serii przeważają warstwy o niewielkich miąższościach. Udział warstw o miąższościach znacznych (dotyczy czterech warstw piaskowca) ponad 10 m, nie przekracza kilku procent, a warstwy te mają z reguły ograniczony zasięg. Jest to seria charakteryzująca się dużą podzielnością warstwową i sedymentacyjną budujących ją skał, co znacznie osłabia ich wytrzymałość, zwłaszcza na działanie sił rozciągających skierowanych prostopadle do uwarstwienia.

Tablica 1. Litologia serii porębskiej w stropie pokładu 620 ZWSM Jadwiga

Rodzaj skał	Udział, %	Sumaryczna miąższość warstw w profilu 200 m, m
Piaskowce	55,6	111,3
Mułowce	22,5	45
Łowce	19	38
Węgły i łupki węglowe	4,4 (max 8,9)	5,7

Obszar górniczy ZWSM Jadwiga w obrębie Niecki Bytomskiej obejmuje dwa systemy uskoków: równoleżnikowy i południkowy. System równoleżnikowy reprezentowany jest przez strefę zaburzeń rozciągającą się od osi głównej dna Niecki Bytomskiej. Drugi system południkowy reprezentowany jest przez kilka uskoków o zrzutach od kilku do kilkunastu metrów. Ponadto, w południowo-wschodniej części Niecki Bytomskiej występują uskoki o niewielkich zrzutach, ale o kierunkach pośrednich do wymienionych.

Aby określić wielkość zaangażowania tektonicznego w pokładzie 620 analizie poddano obszar o powierzchni około 1,96 km².

Liczba zlokalizowanych uskoków w skrzydle północnym Niecki Bytomskiej w analizowanym rejonie pokładu 620 wynosi 26. Mają one łączną długość 7720 m i wypadkowy zrzut S-W na zachód i południe. W większości wartości zrzutu wynoszą 0,3–10 m. Jedynie uskok biegnący wzdłuż osi dna Niecki Bytomskiej charakteryzuje się zrzutem 18–30 m. Kąt nachylenia płaszczyzn uskoków wynosi 65–88°, tylko sporadycznie 35–55°.

W polu badawczym wyróżniono dwa niezależne systemy uskoków: system południkowy NS o azymutach $\pm 30^{\circ}$ /N oraz system równoleżnikowy pokrywający się z osią Niecki Bytomskiej, o azymucie 70°/E. Wyróżnione wiązki uskoków równoleżnikowych to przede wszystkim uskoki liniowe i regularne. Wśród 21 uskoków południkowych w analizowanym rejonie pokładu 620 znajduje się 16 uskoków o zrzucie na zachód oraz 5 uskoków zrzucających na wschód.

Z analizy zaburzeń tektonicznych zaznaczonych na mapach poziomów i mapach pokładowych wynika, że skały karbońskie w obrębie tego obszaru są pokryte siecią drobnych uskoków. W większości przypadków są to uskoki o zrzutach mniejszych od 2,0 m. Sieć drobnych uskoków charakteryzuje się dużą zmiennością kierunków. Z uwagi na rozcięcie złoża robotami górniczymi, pomiary obejmowały cały obszar i koncentrowały się głównie w rejonie otwarcia pól ścianowych w pokładzie 620.

5.2. Badania wykonane w ścianie 240

Ściana 240 w pokładzie 620 ZWSM Jadwiga zlokalizowana była w północno-zachodnim skrzydle Niecki Bytomskiej. Odległość jej chodnika podścianowego od osi dna niecki wynosiła około 260 m w miejscu rozruchu ściany i około 400 m w miejscu zakończenia biegu. Długość ściany wynosiła 240–190 m, wysokość – równa grubości pokładu zmieniała się w przedziale 1,8–2,2 m, wybieg 1230 m, nachylenie około 13–15° (ściana podłużna). Front ściany przemieszczał się z południowego zachodu na północny wschód.

Pole wybiegu ściany 240 przecięte było dwoma systemami uskoków. Pierwszy z nich znajdował się w pobliżu miejsca rozruchu ściany. Zlokalizowano tam uskok o zrzucie 0,3–2,4 m i nachyleniu jego powierzchni wynoszącej 75°. Uskok przecinał chodnik podścianowy w odległości 23 m od przecinki ścianowej (miejsca rozruchu ściany 240). W odległości około 55 m od chodnika podścianowego uskok ten rozdwajał się, by w odległości 22 m od chodnika nadścianowego powtórnie połączyć

się w jeden. Przecinał on chodnik nadścianowy w odległości około 320 m od przecinki ścianowej (miejsca rozruchu ściany). Zrzut uskoku przebiegał w kierunku południowo-wschodnim. Ściana 240 rozpoczynała więc bieg w skrzydle wiszącym. Na dalszych około 590 m wybiegu ściany 240 nie napotkano na zaburzenia tektoniczne. Eksploatacja pokładu przebiegała bez zakłóceń aż do zespołu trzech uskoków o przebiegu równoległym do uprzednio opisanego uskoku, występującego w pobliżu miejsca rozpoczęcia biegu ściany 240.

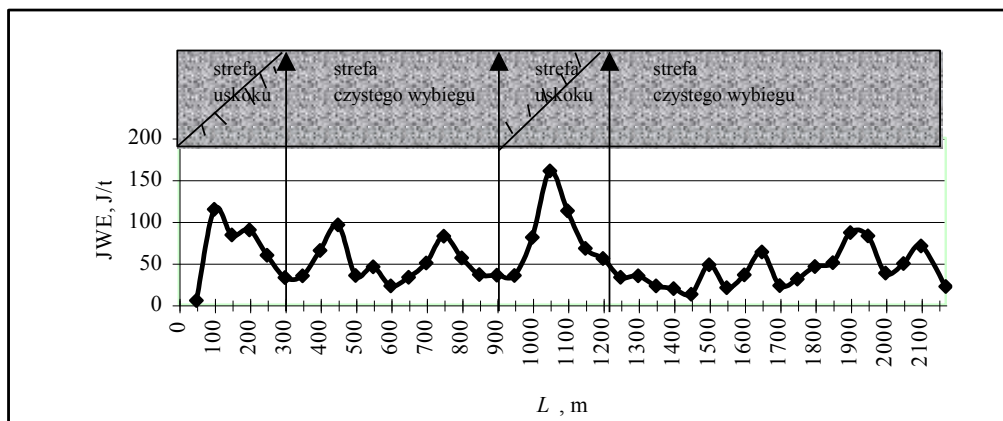
Wymienione trzy uskoki miały zrzuty odpowiednio: 1,7–1,8; 0,3–0,9 i 0,8–1,4 m, a nachylenie płaszczyzn uskokowych wynosiło 68–80°. Pierwsze dwa uskoki miały kierunek zrzutu zachodni, trzeci – wschodni. Ściana 240 zbliżała się do uskoków ze skrzydła zrzucanego, by przejść przez strefę utworzoną przez uskoki drugi i trzeci do skrzydła wiszącego. Ze względu na małą odległość między uskokami i ich zbliżone usytuowanie względem frontu ściany pod kątem około 50°, uskoki te są w dalszej części pracy traktowane jako jedno miejsce zaburzone tektonicznie. W tej strefie nie jest możliwe wyodrębnienie oddziaływania pojedynczego z trzech istniejących uskoków. Eksploatację ścianą 240 rozpoczęto w maju 1989 roku, a zakończono w listopadzie 1995 roku. Aktywność sejsmiczna generowana jej biegiem została przedstawiona poniżej.

Rząd energii wstrząsu, J	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
Liczba wstrząsów	4188	765	93	7

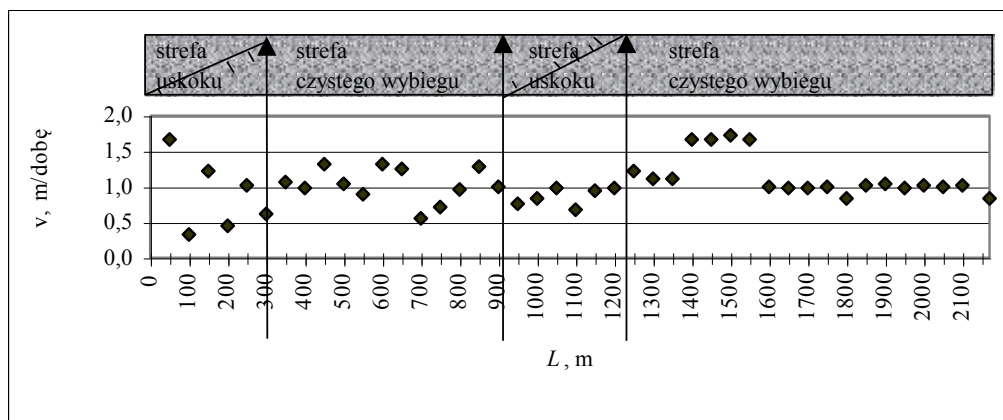
Łączna wartość wygenerowanej energii sejsmicznej wynosiła $6,18 \cdot 10^7$ J. Intensywność wstrząsów była zróżnicowana na całym wybiegu ściany. W celu ustalenia wpływu zaburzeń tektonicznych przeanalizowano jednostkowy wydatek energetyczny JWE określany w dżulach na tonę wydobywania. Cały wybieg pola ściany podzielono na 50-metrowe odcinki, dla których określono łączną wartość wydzielonej energii sejsmicznej oraz łączne wydobywanie. Uzyskane dane graficznie przedstawiono na rysunku 4a.

Zwrócono również uwagę na zmianę prędkości postępu ściany. Średnią prędkość na poszczególnych 50-metrowych odcinkach biegu ściany 240 przedstawiono na rysunku 4b. Poza nielicznymi wyjątkami kształtowała się w zakresie 0,7–1,4 m/dobę. Zależność jednostkowego wydatku energetycznego od prędkości postępu ścian przedstawiono na rysunku 5a, przy czym wartości te wyróżniono, podając je oddzielnie dla stref niezaburzonych (rys. 5b) i stref uskokowych (rys. 5c).

a)



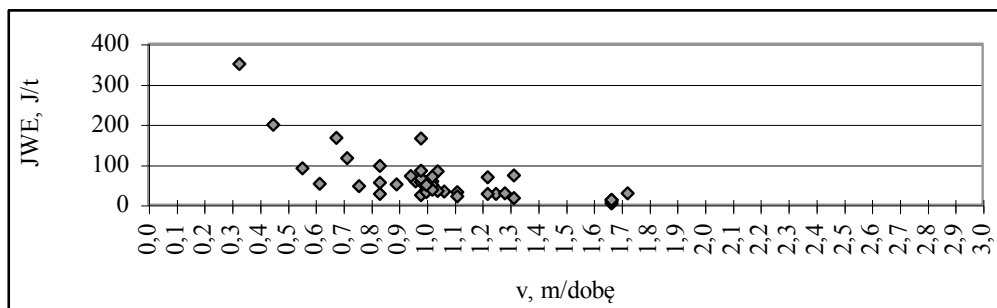
b)



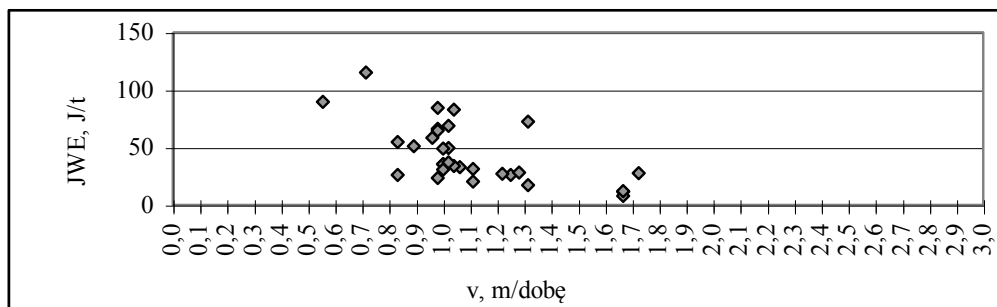
Rys. 4. Jednostkowy wydatek energetyczny JWE (a) i średnia prędkość postępu v (b) frontu ściany 240 na całym jej wybiegu: L – wybieg

Fig. 4. Unit expenditure of energy JWE (a) and average rate of longwall advance v (b) of N 240 longwall front in its whole reach: L – reach of longwall

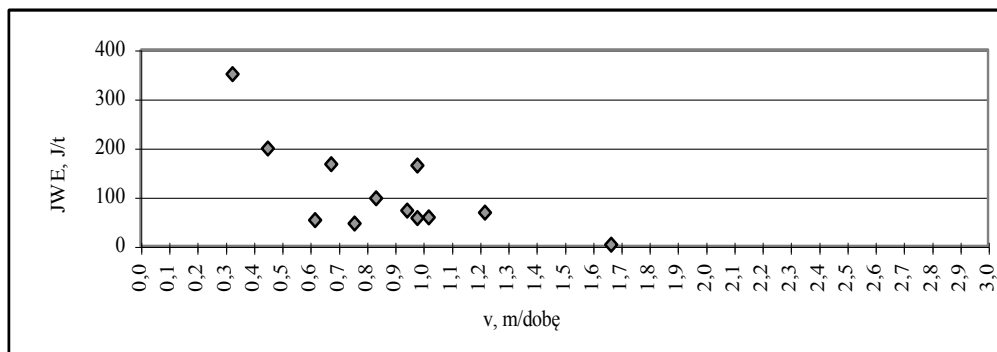
a)



b)



c)



Rys. 5. Zależność wydatku energetycznego JWE od średniej prędkości postępu v frontu ściany 240: a – na całym wybiegu ściany, b – w strefach niezaburzonych ściany, c – w strefach uskoków ściany

Fig. 5. Relationship of the expenditure of energy, JWE, vs. average advance rate v of N 240 longwall front: a – along the whole reach of the longwall, b – in undisturbed zones of the longwall, c – in the fault zones of the longwall

5.3. Badania wykonane w ścianie 243a

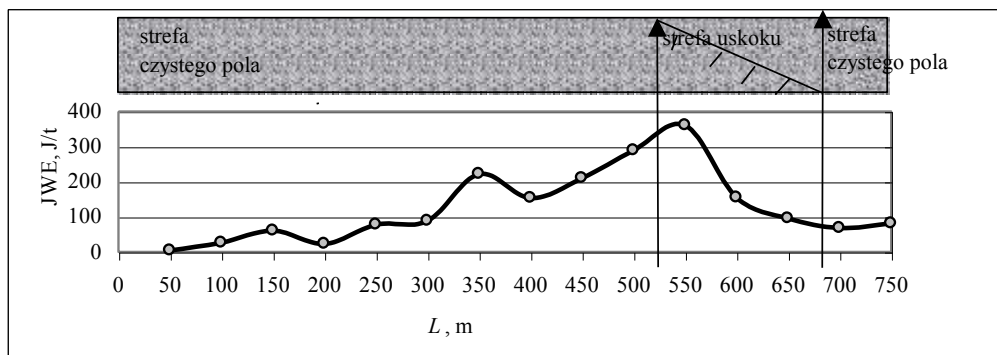
Poniżej pola ściany 240 zlokalizowano wybieg ściany 243, który ze względów technologicznych podzielono na dwa pola przeciwbieżnych ścian 243a i 243b, przy czym eksploatację pokładu 620 w polu ściany 243b rozpoczęto po zakończeniu biegu ściany 243a.

Ściana 243a miała długość 195 m. Jej wysokość tożsama z grubością pokładu wynosiła 1,7–2,0 m, nachylenie 5–13°, wybieg 750 m. Odległość chodnika podścianowego ściany 243a od osi dna Niecki Bytomskiej w miejscu rozruchu ściany wynosiła około 150 m, w miejscu zakończenia jej biegu – około 30 m. Uskok w polu ściany 243a stwierdzono w odległości około 524 m od miejsca jej rozruchu licząc wzdłuż chodnika podścianowego i około 700 m licząc wzdłuż chodnika nadścianowego. Zrzut uskoku wynosił 0,3–1,4 m, nachylenie powierzchni uskokowej 75°. Ściana 243a przechodziła strefę uskoku od skrzydła zrzuconego do wiszącego. Pokład 620 eksploatowano ścianą 243a w okresie od kwietnia 1995 roku do grudnia 1996 roku. Aktywność sejsmiczną generowaną biegiem ściany 243a przedstawiono poniżej.

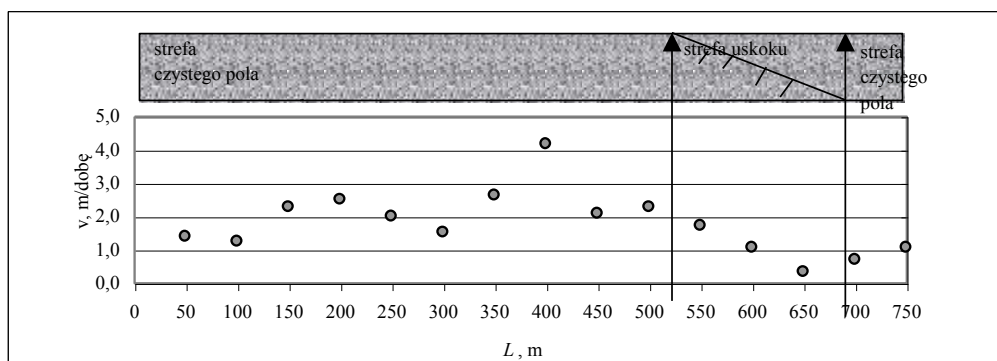
Rząd energii wstrząsu, J	10^3	10^4	10^5	10^6
Liczba wstrząsów	1184	212	24	13

Analogicznie jak dla ściany 240 również dla ściany 243a, przedstawiono graficznie zmianę jednostkowego wydatku energetycznego JWE w polu wybiegu ściany L (rys. 6a), średnią prędkość postępu ściany w poszczególnych 50-metrowych odcinkach jej wybiegu (rys. 6b) oraz zależność jednostkowego wydatku energetycznego JWE od prędkości postępu ściany – ogólną (rys. 7a), w części niezaburzonej (rys. 7b) oraz w części zaburzonej (rys. 7c).

a)



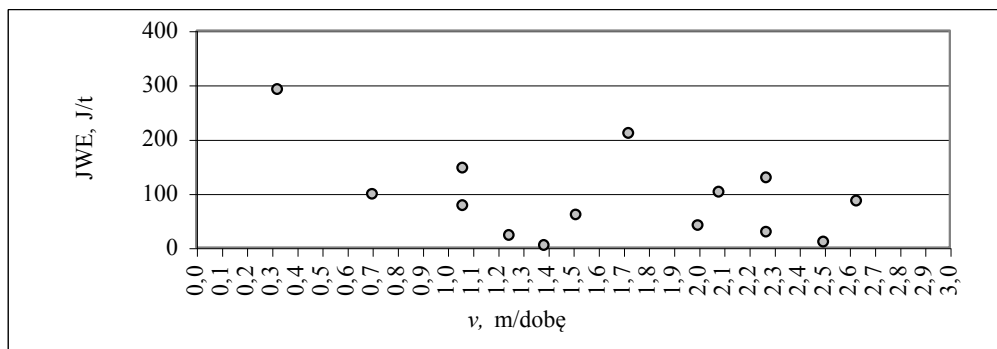
b)



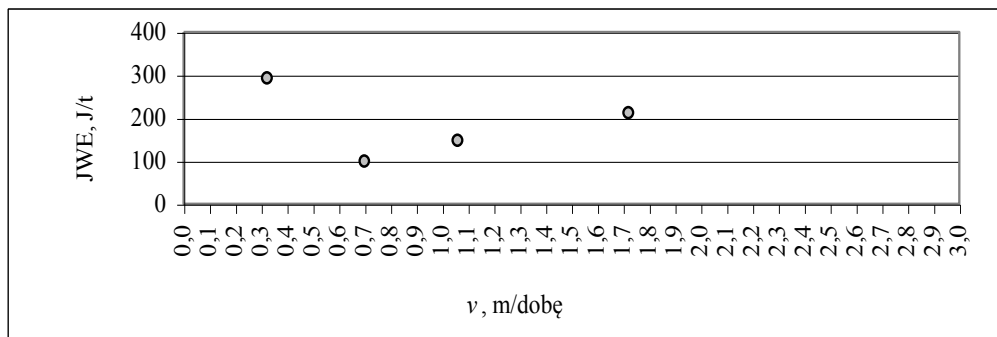
Rys. 6. Jednostkowy wydatek energetyczny JWE (a) i średnia prędkość postępu v (b) frontu ściany 243a na całym jej wybiegu: L – wybieg

Fig. 6. Unit expenditure of energy, JWE (a) and average advance rate v (b) of the N243 longwall front along its whole reach: L – reach of longwall

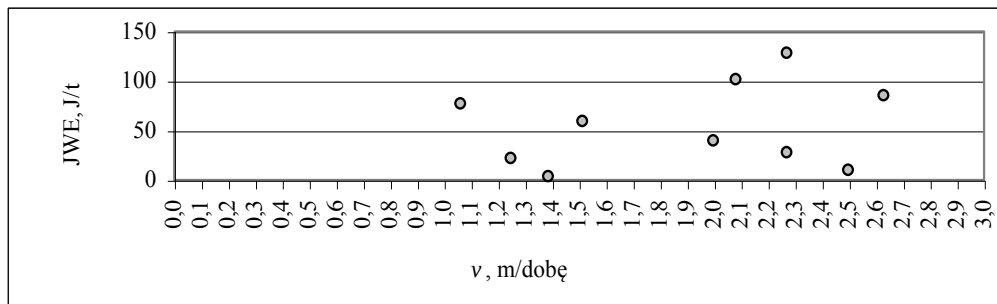
a)



b)



c)



Rys. 7. Zależność jednostkowego wydatku energetycznego JWE od średniej prędkości postępu v frontu ściany 243a; a – na całym wybiegu ściany, b – w strefach niezaburzonych ściany, c – w strefie uskoku ściany

Fig. 7. Relationship of the unit expenditure of energy JWE vs. average advance rate of N 243 longwall: a – along the whole reach of the longwall, b – in undisturbed zones of the longwall, c – in the fault zones of the longwall

5.4. Badania wykonane w ścianie 243b

Ściana 243b zlokalizowana była w północno-wschodniej części pola ściany 243, długość i wysokość miała identyczną jak ściana 243a. Jej wybieg wynosił 630 m. Nachylenie pokładu w polu ściany 243b zmieniało się w przedziale 7–15°. W miejscu rozpoczęcia biegu ściany odległość od chodnika podścianowego do osi dna Niecki Bytomskiej wynosiła około 150 m, w miejscu zakończenia jej biegu – około 170 m.

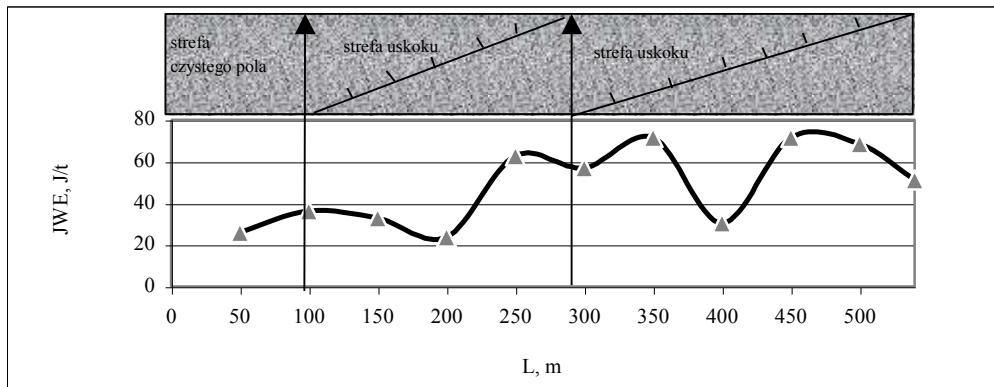
W polu ściany 243b – przeciwbieżnej do ściany 243a – występowały kolejno dwa uskoki o nachyleniu powierzchni uskokowej 68°. Pierwszy uskok zrzucający przecinał chodnik podścianowy w odległości 100 m od miejsca rozruchu ściany, drugi z uskoków – w odległości około 280 m.

W okresie biegu ściany 243b (od kwietnia 1996 roku do maja 1997 roku) wystąpiły wstrząsy górotworu zastawione w poniżej.

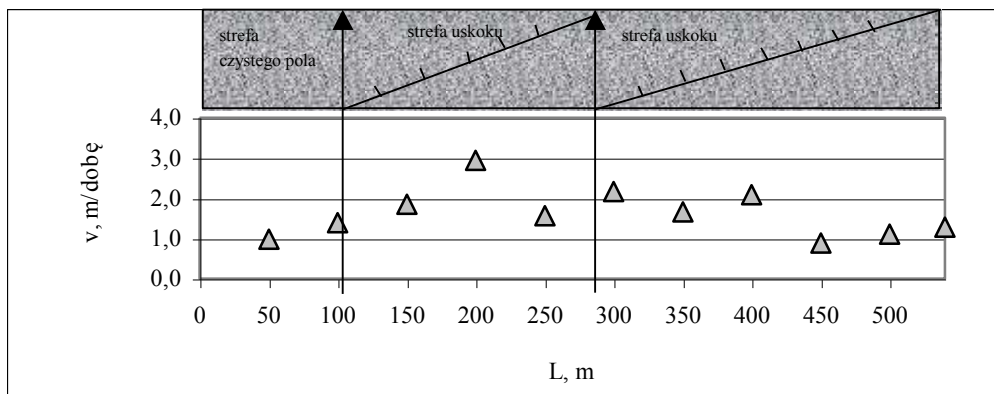
Rząd energii wstrząsu, J	10^3	10^4	10^5	10^6
Liczba wstrząsów	1880	235	17	0

Zmianę udziału generowanej energii JWE w polu ściany 243b na jej wybiegu L przedstawia rysunek 8a, zaś średnią prędkość postępu frontu ściany – rysunek 8b. Ogólną zależność jednostkowego wydatku energetycznego JWE od prędkości postępu ściany zilustrowano odpowiednio – rysunek 9a, przy czym w części niezaburzonej – rysunek 9b, a w części zaburzonej – rysunek 9c.

a)



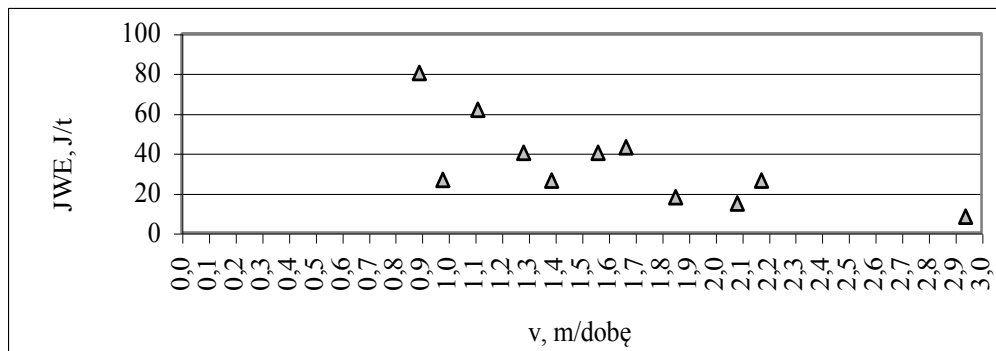
b)



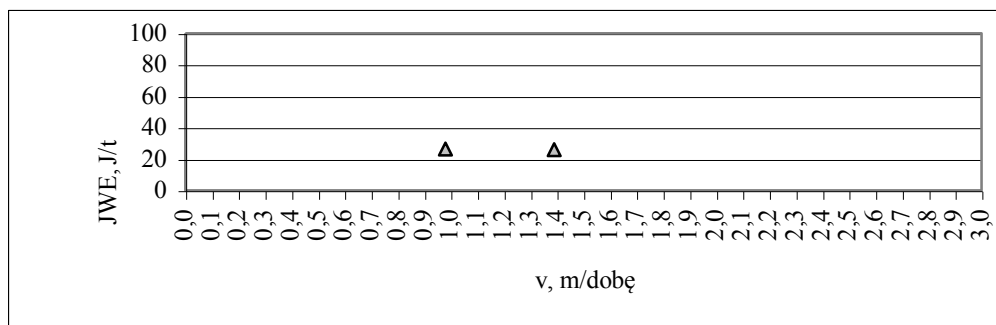
Rys. 8. Jednostkowy wydatek energetyczny JWE (a) i średnia prędkość postępu v (b) frontu ściany 243b na całym jej wybiegu: L – wybieg

Fig. 8. Unit expenditure of energy JWE (a) and average advance rate of the N 243b longwall along its whole reach: L – reach of longwall

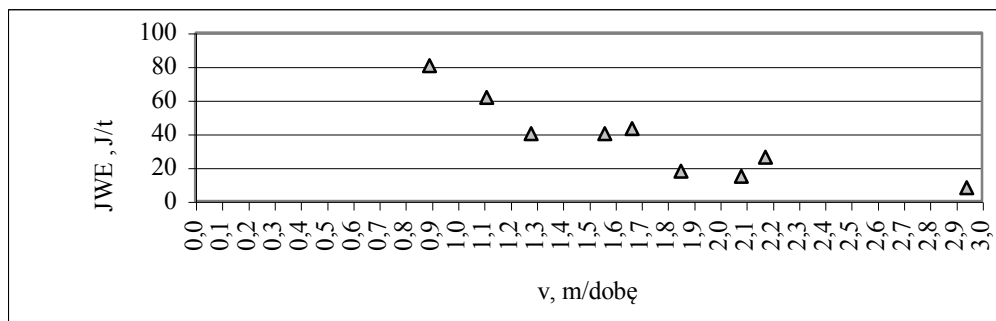
a)



b)



c)



Rys. 9. Zależność jednostkowego wydatku energetycznego JWE od średniej prędkości postępu w frontu ściany 243b: a – na całym wybiegu ściany, b – w strefie niezaburzonej ściany, c – w strefach uskokuw ściany

Fig. 9. Relationship of the unit expenditure of energy JWE vs. the average advance rate v of N 243b longwall front: a – along the whole reach of the longwall, b – in the undisturbed zone of the longwall, c – in the fault zones of the longwall

5.5. Wpływ uskoków na zmianę aktywności sejsmicznej górotworu

Badania wykonane w ścianach 240, 243a i 243b w okresie ich eksploatacji (od maja 1989 roku do maja 1997 roku) jednoznacznie wykazały zróżnicowanie jednostkowego wydatku energetycznego JWE w zależności od stanu pierwotnego i wtórnego naruszenia struktury górotworu. Dla ścian o kierunku biegu zgodnym z kierunkiem biegu ścian wyższego piętra, to jest dla ściany 243b i 240, jednostkowy wydatek energetyczny wynosił:

- w ścianie 243b odpowiednio: 26 J/t, 39 J/t, 58 J/t,
- w ścianie 240 w polu bez zaburzeń – 45 J/t, przy zbliżaniu się frontem do uskoku od strony skrzydła wiszącego – 64 J/t, przy zbliżaniu się frontem do uskoku od strony skrzydła zrzuconego – 85 J/t.

Front ściany 243a przemieszczał się przeciwbieżnie w odniesieniu do frontu ściany 240 w wyższym piętrze. Stąd też JWE generowany biegiem ściany 243a był znacznie wyższy i wynosił:

- w polu bez zaburzeń – 98 J/t,
- przy zbliżaniu się frontu ściany od strony skrzydła zrzuconego – 170 J/t.

Dla wymienionych pól ścianowych, przyjmując za 100% wartość jednostkowego wydatku energetycznego generowanego w polu bez zaburzeń, uzyskano:

- przy zbliżaniu się frontu ściany od strony skrzydła wiszącego (łupność) – 142 %,
- przy zbliżaniu się frontu ściany od strony skrzydła zrzuconego (łupność) – 189 %,
- przy prowadzeniu ściany 243a przeciwbieżnie w odniesieniu do kierunku wybierania piętra wyższego zanotowano zwiększenie JWE aż o 377% w polu bez zaburzeń i o 293% w skrzydle zrzuconym w prowadzonej w identycznych warunkach ścianie 243b.

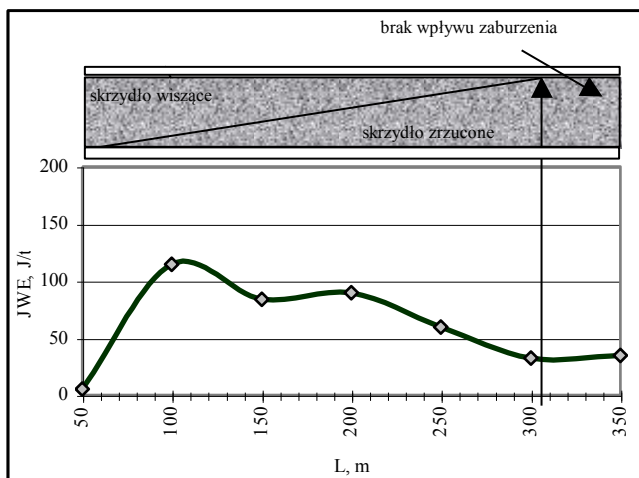
5.6. 5.6. Zasięg stref uskokowych

W celu prawidłowego dobrania rodzaju i zakresu metod profilaktyki tąpaniowej istotne jest ustalenie odległości frontu eksploatacyjnego od powierzchni uskokowej, przy której zmienia się aktywność sejsmiczna górotworu, a tym samym i stan zagrożenia tąpnięciami. Jednoznaczne informacje z tego zakresu można uzyskać, konfrontując wartości jednostkowego wydatku energetycznego JWE w strefach zaburzonych i poza nimi, przy czym pod pojęciem strefy zaburzonej rozumie się taki wybieg ściany, w którym zlokalizowano uskok lub jego wiązkę. Wybieg pola ściany poza strefą uskoku jest polem bez zaburzeń. A zatem mówi się, że front ściany wchodzi w strefę uskoku jeżeli linia frontu zbliża się do płaszczyzny uskoku, a ten przecina chodnik przyścianowy i dalej biegnie w polu ściany.

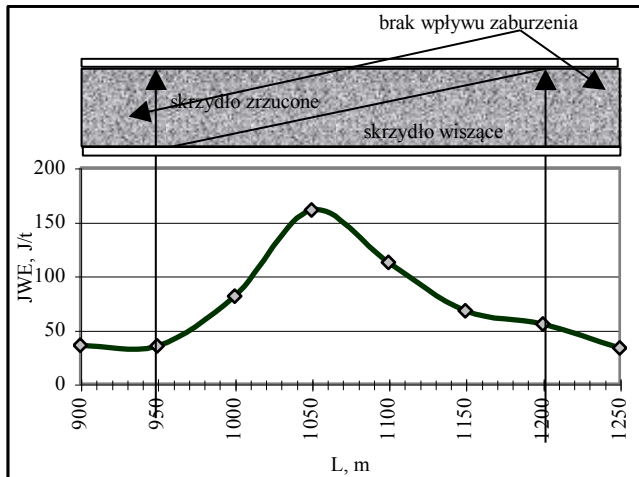
Z załączonych wykresów (rys. 10) wynika, że aktywność sejsmiczna generowana robotami górniczymi w odległościach ± 50 m od uskoku jest porównywalna. Zwrócić uwagę należy również na większą intensywność spękania górotworu w strefach przyuskokowych i związane z tym zwiększone zagrożenia opadem skał (zagrożenie

obwałami i/lub zawalami). Szczególnie dotyczy to skrzyżowań ścian z chodnikami, gdzie nawet niskoenergetyczny wstrząs górotworu może spowodować zawał skał stropowych. Często zdarzenie takie traktowane jest jako tąpnięcie. W. Szuścik proponuje nawet wprowadzenie pojęcia „tąpań nieeksplozyjnych ze stropu” [39].

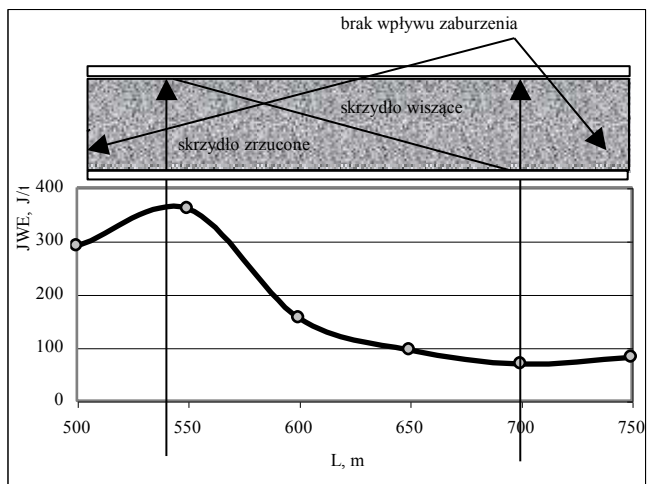
a)



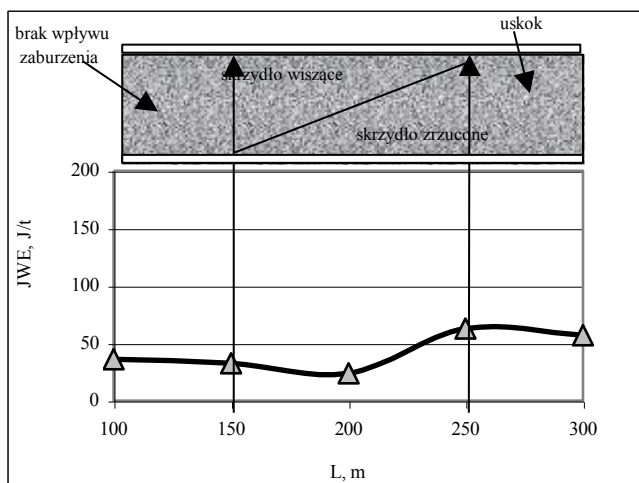
b)



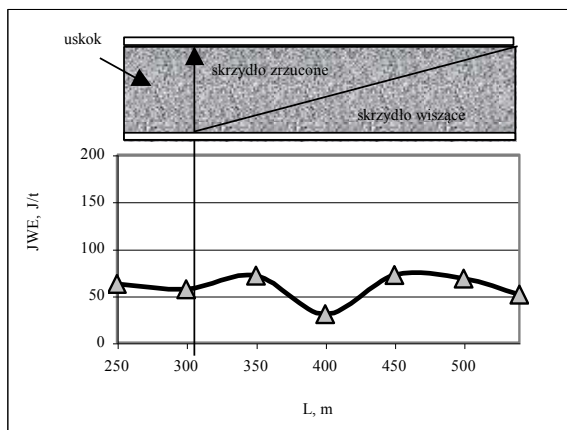
c)



d)



e)



Rys. 10. Jednostkowy wydatek energetyczny JWE w obrębie stref uskokowych; a – ściana 240 – uskok wisząco-zrzucający, b – ściana 240 – uskok zrzucająco-wiszący, c – ściana 243a – uskok zrzucająco-wiszący, d – ściana 243b – uskok wisząco-zrzucający, e – ściana 243b – uskok zrzucająco-wiszący; L – wybieg

Fig. 10. Unit expenditure of energy JWE within the limits of the fault zones; a – N 240 longwall hang-thrust fault, b – N 240 longwall thrust-hang fault, c – N 243a longwall thrust-hang fault, d – N 243b longwall hang-thrust fault, e – N 243b longwall thrust-hang fault; L - reach of longwall

W celu zobrazowania oddziaływań górotworu, a więc generowanych w nim wstrząsów, sytuacje zbliżone i porównywalne przedstawiono na rysunku 10a i 10d – gdy front ściany wychodzi ze strefy uskoku w skrzydle zrzucanym, a wartości JWE wynoszą 40–60 J/t; rysunek 10b i e – gdy front wychodzi ze strefy uskoku w jego skrzydle wiszącym, a wartości JWE wynoszą około 50–60 J/t, ale już kierunek przeciwny biegu frontu, który oddaje rysunek 10c, spowodował wzrost JWE do wartości 350 J/t; rysunek 10b i e – front ściany wchodzi w strefę uskoku od strony skrzydła zrzucanego, a wartość JWE wynosi 40–50 J/t.

5.7. Prędkość postępu ścian a zagrożenie tąpnięciami

Problem optymalizacji prędkości eksploatacji ścian budzi najwięcej kontrowersji zarówno wśród naukowców, jak i praktyków górniczych. Do powszechnej praktyki należy ograniczanie postępu frontu eksploatacyjnego, a nawet prędkości postępu chodników w warunkach podwyższonego zagrożenia tąpnięciami, co znalazło odzwierciedlenie w postanowieniach Komisji ds. Tąpań.

Niektórzy badacze wymieniają różne optymalne prędkości postępu ścian, na przykład A. Biliński uważa za najkorzystniejsze postępy do 1,0 m/dobę lub powyżej 3,0 m/dobę [2], natomiast Z. Kłeczek i A. Zorychta [22, 23] analizując zmianę parametrów wytrzymałościowo-deformacyjnych skał w zależności od prędkości ich obciążenia doszli do wniosku, że: „(...) istnieją krytyczne prędkości obciążenia, przy

których całkowita energia posiada ekstrema lokalne (...)”. Stanowi to pewną analogię do ustalenia podanego uprzednio przez A. Bilińskiego. Niemniej jednak zwracają uwagę na to, że „(...) *pomimo istnienia związku pomiędzy wartością całkowitej energii akumulowanej w próbce a stopniem zagrożenia tąpnięciami, niewskazane jest przenoszenie uzyskanych wyników ilościowych do praktyki. Ta niemożność wynika z tego, że co prawda istnieje proporcjonalność między prędkością postępu przodka a prędkością obciążenia pokładu lecz ilościowo związek między tymi wielkościami jest na razie nieznany (...)”.*

Zakrojone na szeroką skalę badania, prowadzone z wykorzystaniem analizy porównawczej zmian aktywności sejsmicznej górotworu w zależności od prędkości postępu ścian o łącznym czasie ich pracy około 20 lat, doprowadziły do wniosku, że dla każdych warunków geologiczno-górnich można wyróżnić przedział prędkości postępu ściany, przy którym stwierdzono najniższą generowaną energię sejsmiczną. Nie udało się jednak zdefiniować uwarunkowań geologiczno-górnich decydujących o tym [26]. Wynika to – między innymi – z niejednoznaczności prędkości postępu ścian. W. Konopko, rozpatrując powyższe w funkcji czasu, wykazał nieporównywalność parametru prędkości postępu ścian w skali miesiąca, tygodnia, doby, zmiany wydobywczej czy też pojedynczego cyklu produkcyjnego. Wyraził więc pogląd, że problem ten powinien być rozpatrywany albo w dłuższym czasie, na przykład miesiąca, albo w skali mikro, chociażby w czasie wykonania zabioru.

Różnorodność poglądów co do wpływu prędkości postępu przodków, w szczególności ścianowych, na zmianę stanu zagrożenia tąpnięciami wynika więc z różnych doświadczeń, zmienności rozpatrywanych danych empirycznych, a nawet z subiektywnej oceny i interpretacji tych samych wyników badań.

W analizowanych warunkach średnie prędkości postępu frontów ścian na 50-metrowych odcinkach (w przybliżeniu jednomiesięcznych) i generowany przy tym jednostkowy wydatek energetyczny przedstawiono na rysunkach 5a-c, 7a-c i 9a-c. Na ich podstawie można wyciągnąć paradoksalny wniosek, że maksymalne wartości JWE notowano przy najmniejszych postępach ścian. W rzeczywistości w przypadkach wzrostu aktywności sejsmicznej obligatoryjnie ograniczono postęp ścian, licząc się ze zmniejszeniem wzrastającego zagrożenia tąpnięciami. Pomijając więc najmniejsze wartości postępu ścian, wynikające z decyzji kierownictwa kopalni – z przedstawionych na wymienionych rysunkach rozkładów punktów pomiarowych nie można jednoznacznie wnosić o zależności JWE od prędkości postępu ścian. Uzasadnia to, nieuwzględnianie ewentualnych zmian aktywności sejsmicznej górotworu od prędkości postępu ścian w strefach niezaburzonych i zaburzonych. Jest rzeczą zrozumiałą, że ze względów technologicznych prędkości postępu ścian w strefach zaburzonych są mniejsze niż w miejscach bez zaburzeń. Wynika to przede wszystkim z warunków przechodzenia frontami ścian przez uskoki, między innymi opanowania opadów skał lub/czy też urabiania skały płonnej.

6. ROZKŁAD ENERGII W ZALEŻNOŚCI OD ZAANGAŻOWANIA TEKTONIKI LOKALNEJ

Rejestracja wstrząsów generowanych w czasie wybierania pokładu 620 ścianami 240, 243a i 243b pozwoliła na wyszczególnienie stref w zależności od wielkości aktywności sejsmicznej wywołanej eksploatacją. Przy bliższej analizie okazało się, że aktywność ta zmienia się wraz ze zmianą tektoniki lokalnej w otoczeniu każdej z obserwowanych ścian. Ponieważ istnieje obszerna baza pomiarowa, dotycząca wstrząsów wraz z ich lokalizacją rejestrowaną w polach wybieranych ścian, istnieje możliwość szukania przyczyn ich zmienności chociażby ze względu na tektonikę lokalną na wybiegach pól ścianowych. W każdej ze ścian napotkano i zlokalizowano robotami górniczymi uskoki lub ich wiązki. I tak:

- ścianę 240 przecinają 2 strefy uskoków,
- ścianę 243a – 1 strefa uskokowa,
- ścianę 243b – 2 strefy uskoków.

Z wyjątkiem uskoku w polu ściany 243a, o azymucie zbliżonym do równoleżnikowego, uskoki pozostałe mają azymuty o kierunku południkowym. Zestawienie rejestrowanych energii wstrząsów w czasie prowadzonych robót eksploatacyjnych wykazywało różnorodność wstrząsów zarówno pod względem ilości, jak i wielkości w każdym metrze wybranego pola eksploatacji. Z rozkładu wstrząsów wynika, że każda ze ścian miała strefy energetyczne związane z tektoniką lokalną pokładu 620. Można zatem wydzielić w każdym z wybiegów ścian pola niezaburzone oraz takie, w których zlokalizowano uskok lub jego wiązkę.

1. Ściana 240 – prowadzona w kierunku północno-wschodnim została wybrana (2170 m) w okresie od 2.05.1989 do 18.11.1995 roku. Wyróżniono w niej cztery strefy zmiennej tektoniki lokalnej (tabl. 2).

Szczegółowa analiza rozkładu energii w strefach pozwala na następującą ich ocenę:

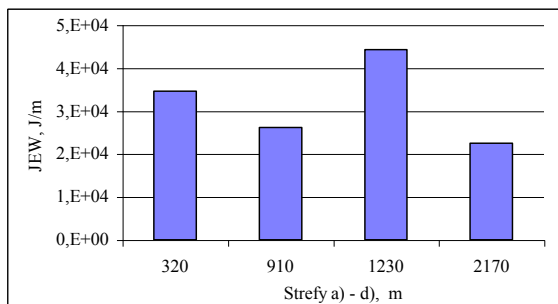
- Strefa I** – ściana w rozruchu, znajduje się w skrzydle wiszącym w stosunku do płaszczyzny najbliższego uskoku w polu. Dwa uskoki lokalne w strefie tej ściany mają zrzućy od 1,7 m do 2,4 m. Linia frontu ściany usytuowana jest w stosunku do linii uskoku pod kątem 60°. Długość strefy w otoczeniu uskoku wynosi 320 m. Liczba wstrząsów przeliczona na 1 m wybiegu w strefie wynosi 2,99. Wartość średnia energii generowanej wybraniem metra wybiegu pola wynosi $3,5 \cdot 10^4$ J/m.
- Strefa II** – ściana prowadzona w polu bez zaburzeń. Długość wybiegu ściany w tej strefie wynosi około 590 m. Liczba wstrząsów przypadająca na metr bieżący tej strefy wynosi 2,06, natomiast energia wstrząsów generowanych eksploatacją tej strefy w przeliczeniu na metr wybiegu wynosi $2,61 \cdot 10^4$ J/m. Kąt położenia frontu ściany w odniesieniu do rzutu poziomego płaszczyzny łupności wynosi 60°.

- c) **Strefa III** – bieg ściany w strefie wiązki uskoków na odcinku około 320 m. Front ściany przemieszcza się w otoczeniu pojedynczej linii uskoku o zrzućcie 0,6 m pod kątem 80°, na dalszym odcinku biegu ściany, uskok rozwidła się tworząc wiązkę trzech uskoków o zrzutach kolejno 1,8 m, 0,4 m i 2,0 m. Kąt zawarty między wiązką a linią frontu ściany można przyjąć około 45°. Rejestrowana liczba wstrząsów przypadająca na metr bieżący ściany to 3,86, ich energia wynosi $4,43 \cdot 10^4$ J/m.
- d) **Strefa IV** – bieg ściany dotyczy końcowego odcinka pola i znajduje się w strefie skrzydła zrzuconego względem najbliższego uskoku lokalnego w ścianie. Długość tej strefy wynosi około 940 m. Liczba zarejestrowanych wstrząsów przeliczona na metr wybranego pola wynosi 1,75, a każdy ma energię $2,25 \cdot 10^4$ J/m. Kąt zawarty między linią frontu ściany a poziomym rzutem łupności skał stropowych wynosi 45°.

Tablica 2. Energia generowana eksploatacją ściany 240 w pokładzie 620 ZWSM Jadwiga

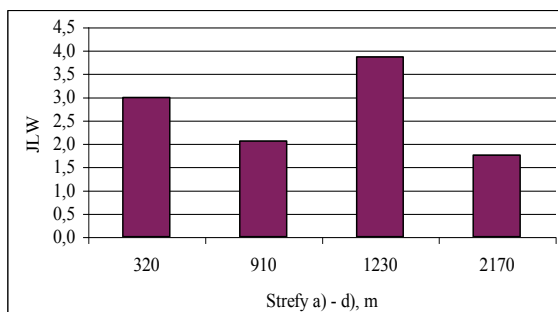
Podział pola ściany na strefy tektoniki lokalnej	Długość stref, m	Całkowita liczba wstrząsów w strefach	Całkowita energia w strefach, J	Energia przeliczona na 1 m wybiegu ściany, J/m	Liczba wstrząsów przeliczona na 1 m wybiegu ściany
I strefa, uskok W-Z (wisząco-zrzucający)	320	956	$1,1 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^4$	2,99
II strefa, pole bez zaburzeń Z (zrzucone)	590	1214	$1,5 \cdot 10^7$	$2,6 \cdot 10^4$	2,06
III strefa, uskok W-Z (wisząco -zrzucający)	320	1234	$1,4 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^4$	3,86
IV strefa, pole bez zaburzeń W (wiszące)	940	1649	$2,1 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^4$	1,75

Z tablicy wynika, że jednostkowa wartość energii wstrząsów generowanych w strefie I uskoku była o 35% wyższa niż w strefie II (bez zaburzeń tektonicznych), a liczba wstrząsów była wyższa o 45%. Odpowiednie porównanie stref III i IV wskazuje na przyrosty 91 i 121%. Średnio więc energia wstrząsów generowanych biegiem ściany 240 w strefach zaburzonych I i III była o 61% wyższa w odniesieniu do obserwowanej w strefach II i IV (niezaburzonych). Odpowiednio w strefach II i IV liczba wstrząsów była wyższa o 80%.



Rys. 11. Udział jednostkowej energii wstrząsów JEW rejestrowany w ścianie 240 w strefach: a–d tektoniki lokalnej; a – I strefa, uskoki W-Z; b – II strefa, pole bez zaburzeń Z; c) – III strefa, uskoki W-Z; d) – IV strefa, pole bez zaburzeń W

Fig. 11. Fraction of the unit energy JEW of tremors recorded in N 240 longwall in the zones a – d of local tectonics; a – zone I, E-W fault; b – zone II, undisturbed field W; c – zone III, E-W faults; d – zone IV, undisturbed field E



Rys.12. Udział jednostkowej liczby wstrząsów JLW rejestrowany w ścianie 240 w strefach tektoniki lokalnej

Fig.12. Fraction of the unit number of tremors JLW recorded in N 240 longwall in local tectonics zones

Reasumując powyższe dane można przyjąć, że maksymalna liczba wstrząsów przypada na metr bieżący wybranego pola ściany w strefach uskokowych I i III (rys. 12). W strefach tych odnotowano także maksymalną energię średnią przypadającą na metr bieżący biegu pola ściany (rys. 11).

2. Ściana 243a – prowadzona w kierunku południowo-zachodnim została wybrana (750 m) w okresie od 26.04.1995 do 27.12.1996 roku. W ścianie wyróżniono trzy strefy zmiennej tektoniki lokalnej (tabl. 3).

Analiza udziału i wielkość energii w strefach charakteryzuje je w następujący sposób:

- a) **Strefa I** – rozruch ściany w polu bez zaburzeń, południowo-zachodni kierunek przemieszczającego się frontu eksploatacyjnego. Długość strefy wynosi około 524 m. Kąt zawarty pomiędzy linią frontu ściany a poziomym rzutem płaszczyzn łupności skał stropowych wynosi około 40° . Liczba rejestrowanych wstrząsów przypadająca na metr bieżący wybranego pola wynosi około 1,89, natomiast generowana tą eksploatacją energia wynosi $6,43 \cdot 10^4$ J/m, średnia wartość energii w strefie to $3,4 \cdot 10^4$ J.

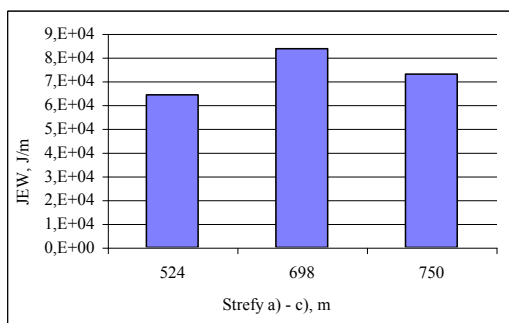
- b) **Strefa II** – bieg pola ściany w strefie uskoku lokalnego o zrzućcie 1,2 m. Front ściany przemieszczał się względem linii uskoku pod kątem 45° , w strefie zrzućconej. Liczba wstrząsów na 1 metrze wybiegu generowana eksploatacją wynosiła 0,38, ich wartość to $8,37 \cdot 10^4$ J/m, średnie energie wstrząsów w strefie to $5,5 \cdot 10^4$ J.
- c) **Strefa III** – zakończenie biegu ściany, skrzydło wiszące względem uskoku wyzwoliło 0,23 wstrząsów w metrze biegu ściany strefy o energii $7,29 \cdot 10^4$ J, średnie energie wstrząsów to $2,2 \cdot 10^4$ J.

Tablica 3. Energia generowana eksploatacją ściany 243a w pokładzie 620 ZWSM Jadwiga

Podział pola ściany na strefy tektoniki lokalnej	Długość stref m	Całkowita liczba wstrząsów w strefach	Całkowita energia w strefach, J	Średnia energia w strefach, J	Energia przeliczona na 1 m wybiegu ściany, J/m	Liczba wstrząsów przeliczona na 1 m wybiegu ściany
I strefa, pole bez zaburzeń Z (zrzućcone)	524	992	$3,4 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^4$	1,89
II strefa, uskok Z-W (zrzućcająco-wiszący)	174	265	$1,5 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^4$	$8,4 \cdot 10^4$	0,38
III strefa, pole bez zaburzeń W (wiszące)	52	176	$3,8 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^4$	0,24

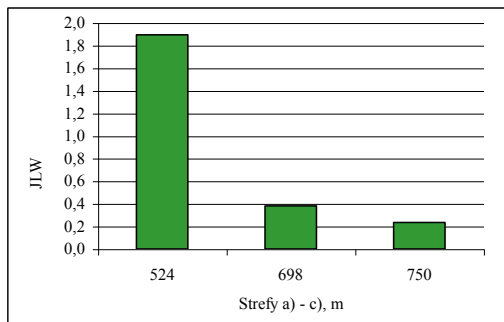
Liczba wstrząsów rejestrowana w polu bez zaburzeń ściany 243a wykazała, że najbardziej aktywną była I strefa – rozruchu ściany, której bieg dotyczył pola o niezakłóconej tektonice. Pomimo to udział procentowy energii wstrząsów przedstawiony na rysunku 13 wykazuje, że największą aktywność generowała strefa II uskoku.

Z tablicy 3 oraz rysunków 13 i 14 wynika, że jednostkowa wartość energii wstrząsów generowanych w strefie II uskoku była o 39% wyższa niż w strefach I i III (bez zaburzeń tektonicznych). Liczba wstrząsów natomiast w strefie II zaburzonej była o 82% niższa w odniesieniu do obserwowanej w strefach I i III.



Rys. 13. Udział jednostkowej energii wstrząsów JEW rejestrowany w ścianie 243a w strefach a–c tektoniki lokalnej; a – I strefa, pole bez zaburzeń Z; b – II strefa, uskók Z-W; c – III strefa, pole bez zaburzeń W

Fig. 13. Fraction of the unit energy of tremors JEW recorded in N 243 a longwall in the zones a – c of local tectonics; a – zone I, undisturbed field; b – zone II, fault W-E; zone III, c – undisturbed field W



Rys. 14. Udział jednostkowej liczby wstrząsów JLW rejestrowany w ścianie 243a w strefach tektoniki lokalnej

Fig. 14. Fraction of the unit number of tremors JLW recorded in N 243a longwall in local tectonics zones

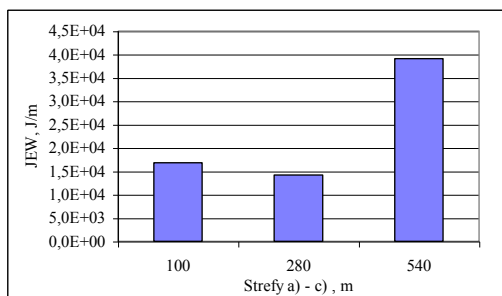
3. Ściana 243b – prowadzona w kierunku południowo-wschodnim, została wybrana (540 m) w okresie od 09.04.1996 do 05.05.1997 roku. W ścianie wyróżniono trzy strefy związane z tektoniką lokalną (tabl. 4).

Tablica 4. Energia generowana eksploatacją ściany 243b w pokładzie 620 ZWSM Jadwiga

Podział pola ściany na strefy tektoniki lokalnej	Długość stref, m	Całkowita liczba wstrząsów w strefach	Całkowita energia w strefach J	Średnia energia w strefach J	Energia przeliczona na 1 m wybiegu ściany, J/m	Liczba wstrząsów przeliczona na 1 m wybiegu ściany
I strefa, pole bez zaburzeń W (wiszące)	100	418	$1,7 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^4$	4,18
II strefa, uskók W-Z (wisząco-zrzucający)	180	505	$2,6 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^3$	$1,4 \cdot 10^4$	2,81
III strefa, uskók Z-Z (zrzucony)	260	1209	$1,0 \cdot 10^7$	$8,4 \cdot 10^3$	$3,9 \cdot 10^4$	4,65

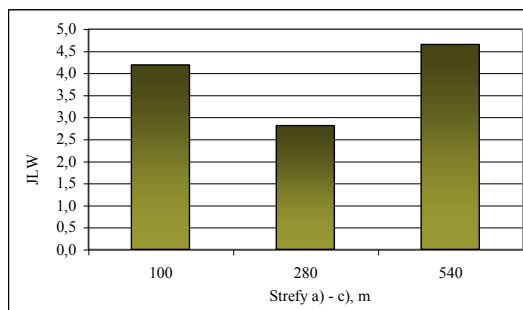
Ocena aktywności każdej strefy:

- a) **Strefa I** – rozruch ściany w polu bez zaburzeń o długości około 100 m. Wzajemne położenie linii frontu ściany względem poziomego rzutu rozciągłości płaszczyzny łupności warstw stropowych, to kąt 40° . Eksploatacja strefy generowała około 4,18 wstrząsów w przeliczeniu na metr biegu ściany, każdy o energii $1,68 \cdot 10^4$ J/m. Średnia energia wstrząsów w strefie wynosiła $4 \cdot 10^3$ J.
- b) **Strefa II** – bieg ściany w obrębie lokalnego uskoku o zrzucie od 0,5 m do 0,8 m. Ściana wchodzi w strefę uskoku w skrzydle wiszącym pod kątem 48° . Liczba wstrząsów wyzwolona niniejszą eksploatacją strefy w przeliczeniu na metr wybiegu ściany to 2,81, zaś wartość energii wynosiła $1,42 \cdot 10^4$ J/m. Średnia energia w strefie to $5 \cdot 10^3$ J.
- c) **Strefa III** – to strefa kolejnego uskoku. Front ściany wchodzi w skrzydle zrzuconym uskoku poprzedzającego strefę pod kątem 67° . W strefie tej liczba wstrząsów przypadająca na metr wybiegu wynosi 4,65, każdy o energii $3,91 \cdot 10^4$ J/m. Średnia energia wstrząsów to $8,4 \cdot 10^3$ J. Strefa pod względem aktywności sejsmicznej, wykazuje maksymalne wartości i liczby energii wyzwolonej jej eksploatacją.



Rys. 15. Udział jednostkowej energii wstrząsów JEW rejestrowany w ścianie 243b w strefach a – c tektoniki lokalnej: a – I strefa, pole bez zaburzeń W; b – II strefa, uskok W-Z; c – III strefa, uskok Z-Z

Fig. 15. Fraction of the unit energy of tremors recorded in N 243 b longwall in the zones a – c of local tectonics; a – zone I undisturbed bed field E; b – zone II, E - W fault; c – zone III, W-W fault



Rys.16. Udział jednostkowej liczby wstrząsów JLW rejestrowany w ścianie 243b w strefach a – c tektoniki lokalnej

Fig.16. Fraction of the unit number of tremors JLW recorded in N 243b longwall in the zones a – c of local tectonics

Z tablicy 4 oraz z rysunków 15 i 16 wynika, że jednostkowa wartość energii wstrząsów generowanych w strefie I niezaburzonej była o 36% niższa niż w strefach II i III. Liczba wstrząsów w strefie I niezaburzonej była o 10,7% niższa w odniesieniu do obserwowanej w strefach zaburzonych II i III.

6.1. 6.1. Analiza wartości energii wstrząsów sejsmicznych w strefach tektoniki lokalnej ścian

Zgodnie z J. Dubińskim [9] prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia w istotny sposób zależy od energii wstrząsu górotworu. O ile przy wstrząsie rzędu 10^3 J ($5 \cdot 10^3$ J) wynosi ono $10^{-4,22}$, to przy wstrząsie rzędu 10^6 J ($5 \cdot 10^6$ J) zwiększa się do $10^{-2,16}$. Stąd też istotne staje się przeanalizowanie wartości poszczególnych energii wstrząsów generowanych biegiem analizowanych ścian w strefach zaburzonych tektonicznie i w strefach bez zaburzeń.

Ściana 240

Odpowiednie dane zestawiono w tablicy 5.

Tablica 5. Liczba i wartość energii wstrząsów generowanych eksploatacją ściany 240

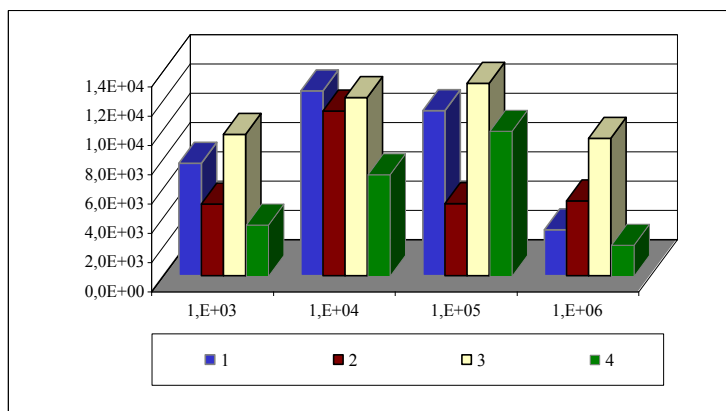
Rząd energii wstrząsów	Długość stref m	Całkowita liczba wstrząsów	Liczba wstrząsów przypadająca na 1 m wybiegu ściany	Całkowita energia w strefie, J	Wartość energii przypadająca na 1 m wybiegu ściany, J/m
	Strefa I, uskok W-Z (wisząco-zrzucający)				
10 ³	320	772	2,41	2,5·10 ⁶	7,7·10 ³
10 ⁴		164	0,51	4,0·10 ⁶	1,3·10 ⁴
10 ⁵		18	0,06	3,6·10 ⁶	1,1·10 ⁴
10 ⁶		1	*	1,0·10 ⁶	3,1·10 ³
Strefa II, pole bez zaburzeń Z (zrzucone)					
10 ³	590	966	1,64	2,9·10 ⁶	4,9·10 ³
10 ⁴		227	0,38	6,6·10 ⁶	1,1·10 ⁴
10 ⁵		20	0,03	2,9·10 ⁶	4,9·10 ³
10 ⁶		2	*	3,0·10 ⁶	5,1·10 ³
Strefa III, uskok Z-W (zrzucająco-wiszący)					
10 ³	320	1061	3,32	3,1·10 ⁶	9,6·10 ³
10 ⁴		157	0,49	3,9·10 ⁶	1,2·10 ⁴
10 ⁵		14	0,04	4,2·10 ⁶	1,3·10 ⁴
10 ⁶		2	0,01	3,0·10 ⁶	9,4·10 ³

Strefa IV, pole bez zaburzeń W (wiszące)					
10^3	940	1389	1,48	$3,3 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^3$
10^4		217	0,23	$6,5 \cdot 10^6$	$6,9 \cdot 10^3$
10^5		41	0,04	$9,3 \cdot 10^6$	$9,9 \cdot 10^3$
10^6		2	*	$2,0 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^3$

* poza dokładnością zaokrągleń

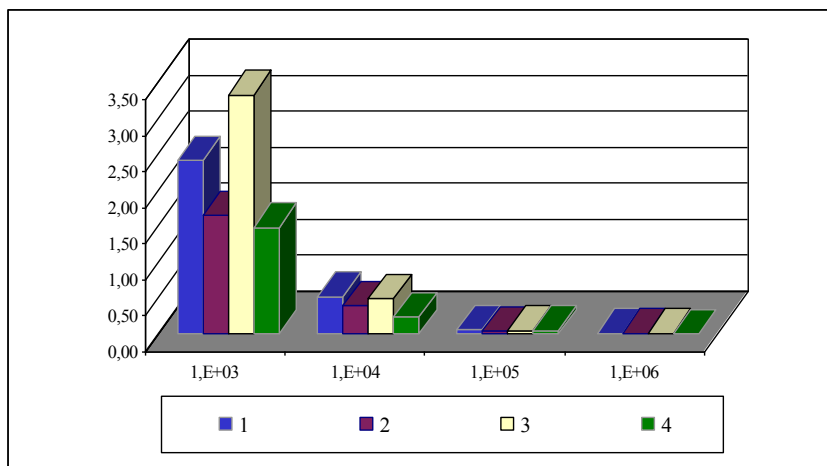
Najistotniejsze znaczenie dla problematyki tąpnięć mają wstrząsy wysokoenergetyczne. W analizowanych warunkach ściany 240, były to wstrząsy rzędu 10^5 i 10^6 J. Wstrząsy takie występowały we wszystkich analizowanych strefach. Jednakże ze względu na sporadyczność występowania wstrząsów o energii wynoszącej 10^6 J – 1–2 wstrząsów w każdej ze stref – wartość porównawczą mogą mieć wyłącznie wstrząsy rzędu 10^5 J, których notowano 14–41 w analizowanych strefach.

Konfrontacja stref sąsiednich, to jest I i II oraz III i IV pozwala stwierdzić, że energia sejsmiczna wstrząsów rzędu 10^5 J w strefach zaburzonych była wyższa niż w strefach bez zaburzeń, odpowiednio o 124 i 31%. Graficznie różnice wygenerowanych jednostkowych energii wstrząsów w poszczególnych rzędach energii przedstawiono na rysunkach 17 i 18.



Rys. 17. Wartości energii wstrząsów z podziałem na strefy tektoniczne w ścianie 240: 1 – strefa I, uskok W-Z; 2 – strefa II, pole bez zaburzeń Z; 3 – strefa III, uskok Z-W; 4 – strefa IV, pole bez zaburzeń W

Fig. 17. Energy values of tremors divided into tectonic zones in N 240 longwall: 1– zone I, E-W fault; 2 – zone II, undisturbed field W; 3 – zone III, W-E fault, 4 – zone IV, undisturbed field E



Rys. 18. Wartości liczby wstrząsów z podziałem na strefy tektoniczne w ścianie 240

Fig. 18. Values of the number of tremors divided into tectonic zones in N 240 longwall

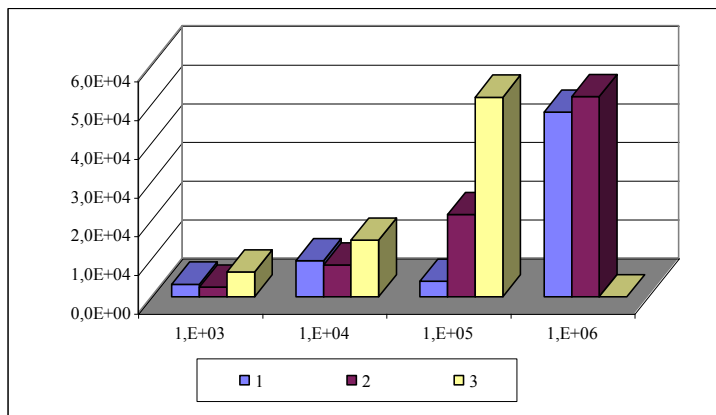
Ściana 243a

W ścianie tej wyróżnia się trzy strefy. Dane o sejsmiczności generowanej biegiem tej ściany zawiera tablica 6.

Konfrontacja wydatku energetycznego wstrząsów rzędu 10^5 J między strefami I i II jest również niekorzystna dla strefy zaburzonej (rys. 19) (zwiększenie jednostkowego wydatku energetycznego o 425%). Natomiast konfrontacja stref II i III wypada na niekorzyść tej ostatniej (zwiększenie wydatku energetycznego w strefie bez zaburzeń o 128%). Zwrócić jednakże należy uwagę na fakt, że w strefie III nie notowano wstrząsów o energii rzędu 10^6 J, podczas gdy w strefie II wystąpiły trzy wstrząsy tego rzędu (rys. 20). Całkowity wydatek energetyczny w strefie z zaburzeniami był większy niż po obu jego stronach.

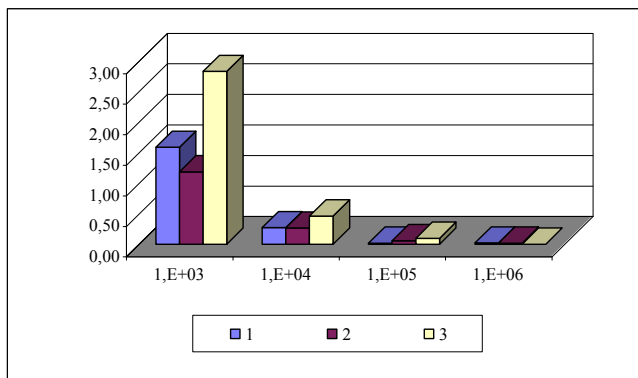
Tablica 6. Liczba i wartość energii wstrząsów generowanych eksploatacją ściany 243a

Rząd energii wstrząsów	Długość stref, m	Całkowita liczba wstrząsów	Liczba wstrząsów przypadająca na 1 m wybiegu ściany	Całkowita energia w strefie, J	Wartość energii przypadająca na 1 m wybiegu ściany, J/m
	Strefa I, pole bez zaburzeń Z (zrzucone)				
10 ³	524	831	1,59	1,7·10 ⁶	3,3·10 ³
10 ⁴		142	0,27	4,9·10 ⁶	9,3·10 ³
10 ⁵		9	0,02	2,1·10 ⁶	4,0·10 ³
10 ⁶		10	0,02	2,5·10 ⁷	4,8·10 ⁴
	Strefa II, uskoki Z-W (zrzucająco-wiszący)				
10 ³	174	206	1,18	4,4·10 ⁵	2,5·10 ³
10 ⁴		46	0,26	1,4·10 ⁶	8,2·10 ³
10 ⁵		10	0,06	3,7·10 ⁶	2,1·10 ⁴
10 ⁶		3	0,02	9,0·10 ⁶	5,2·10 ⁴
	Strefa III, pole bez zaburzeń W (wiszące)				
10 ³	52	147	2,83	3,3·10 ⁵	6,4·10 ³
10 ⁴		24	0,46	7,6·10 ⁵	1,5·10 ⁴
10 ⁵		5	0,10	2,7·10 ⁶	5,2·10 ⁴
10 ⁶		0	0	0	0



Rys. 19. Wartości energii wstrząsów z podziałem na strefy tektoniczne w ścianie 243a; 1 – strefa I, pole bez zaburzeń Z; 2 – strefa II, uskoki Z-W; 3 – strefa III, pole bez zaburzeń W

Fig. 19. Energy values of tremors divided into tectonic zones in N 243 a longwall: 1 – zone I, undisturbed field W; 2 – zone II, W - E fault; 3 – zone III, undisturbed field E



Rys. 20. Wartości liczby wstrząsów z podziałem na strefy tektoniczne w ścianie 243a

Fig. 20. Values of the number of tremors divided into tectonic zones in N 243 a longwall

Ściana 243b

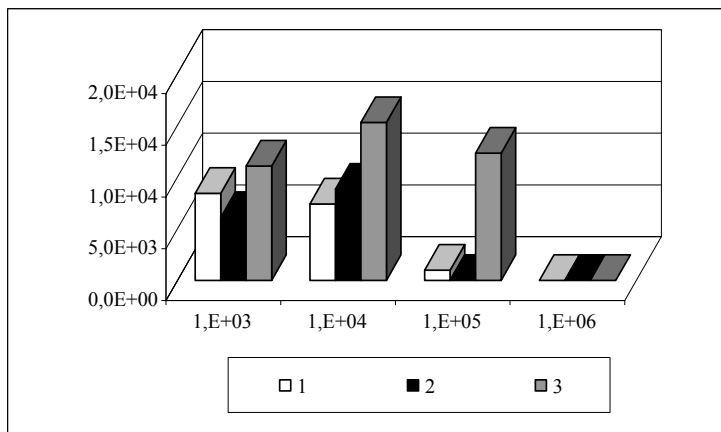
W trakcie eksploatacji pokładu 620 ścianą 243b nie notowano wstrząsów rzędu 10^6 J. Wstrząsy 10^5 J wystąpiły w strefie III tej ściany (16 wstrząsów) i wyłącznie jeden wstrząs w strefie I (bez zaburzeń) (tabl.7).

Tablica 7. Liczba i wartość energii wstrząsów generowanych eksploatacją ściany 243b

Rząd energii wstrząsów	Długość stref m	Całkowita liczba wstrząsów	Liczba wstrząsów przypadająca na 1 m wybiegu ściany	Całkowita energia w strefie, J	Wartość energii przypadająca na 1 m wybiegu ściany, J/m
	Strefa I, pole bez zaburzeń W (wiszące)				
10 ³	100	381	3,81	8,4·10 ⁵	8,4·10 ³
10 ⁴		36	0,36	7,4·10 ⁵	7,4·10 ³
10 ⁵		1	0,01	1,0·10 ⁵	1,0·10 ³
10 ⁶		0	0	0	0
	Strefa II, uskok W-Z (wisząco-zrzucający)				
10 ³	180	469	2,61	1,1·10 ⁶	6,1·10 ³
10 ⁴		61	0,34	1,6·10 ⁶	8,8·10 ³
10 ⁵		0	0	0	0
10 ⁶		0	0	0	0
	Strefa III, uskok Z-Z (zrzucający)				
10 ³	260	1030	3,96	2,7·10 ⁶	1,1·10 ⁴
10 ⁴		138	0,53	3,9·10 ⁶	1,5·10 ⁴
10 ⁵		16	0,06	3,2·10 ⁶	1,2·10 ⁴
10 ⁶		0	0	0	0

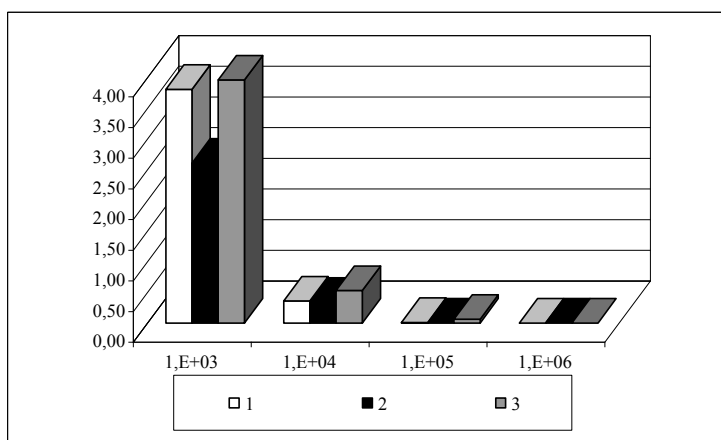
Zdecydowanie najbardziej zagrożone tąpniętami były roboty górnicze w strefie III. Strefy I i II były porównywalne, pomimo, że w strefie I zanotowano jeden wstrząs wysokoenergetyczny (rzędu 10^5 J).

Reasumując należy stwierdzić, że w każdym przypadku wydatek energetyczny w strefach zaburzonych był wyższy (rys. 21). Nie oznacza to, że eksploatacja w strefach bez zaburzeń była bezpieczna. W tych strefach w ścianach 240 i 243a notowano również wstrząsy rzędu 10^5 – 10^6 J (rys. 22).



Rys. 21. Wartości energii wstrząsów z podziałem na strefy tektoniczne w ścianie 243b; 1 – strefa I, pole bez zaburzeń W; 2 – strefa II, uskok W-Z; 3 – strefa III, uskok Z-Z

Fig. 21. Energy values of tremors divided into tectonic zones in N 243b longwall: 1 – zone I, undisturbed field E; 2 – zone II, E-W fault; 3 – zone III, W-W fault; 3 – zone III, W-W fault



Rys. 22. Wartości liczby wstrząsów z podziałem na strefy tektoniczne w ścianie 243b

Fig. 22. Values of the number of tremors divided into tectonic zones in N 243b longwall

7. KIERUNEK ŁUPNOŚCI SKAŁ STROPOWYCH A AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA

Wprowadzenie obserwacji sejsmicznych do praktyki górniczej stworzyło nowe możliwości badań nad wstrząsami górniczymi i umożliwiło bardziej realną ocenę stanu zagrożenia tąpniętami w każdych warunkach dołowych.

Wieloletnie obserwacje aktywności sejsmicznej prowadzone w ZWSM Jadwiga Spółka z o.o. wykazały pewne prawidłowości i zależności koncentracji ognisk wstrząsów od lokalnych warunków górniczych i geologicznych, co pozwala na wyznaczenie i charakterystykę rzeczywistych stref koncentracji epicentrow wstrząsów. Rozpatrzmy zatem problem dotyczący wpływu łupności na aktywność sejsmiczną w poszczególnych analizowanych polach niezaburzonego wybiegu i uskoków ścian 240, 243a i 243b (tabl. 8).

Tablica 8. Wstrząsy w polach bez zaburzeń z uwzględnieniem stropów o łupności wiszącej i leżącej

Rzędy energii wstrząsów	Jednostkowa energia wstrząsów pola bez zaburzeń w skrzydle zrzuconym, J/m		Jednostkowa energia wstrząsów pola bez zaburzeń w skrzydle wiszącym, J/m		
	ściana 240/2; kierunek frontu płn-wsch; łupność wisząca	ściana 243a/1; kierunek frontu pld-zach; łupność leżąca	ściana 240/1; kierunek frontu płn-wsch; łupność wisząca	ściana 243a/2; kierunek frontu pld-zach; łupność leżąca	ściana 243b; kierunek frontu płn-wsch; łupność wisząca
10^3	$1,0 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	$8,0 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$8,4 \cdot 10^3$
10^4	$1,0 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$7,4 \cdot 10^3$
10^5	$1,0 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^3$
10^6	$9,0 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^3$	0	0

Z tablicy 9 wynika, że w warunkach przechodzenia frontem ściany w polu w skrzydle wiszącym uskoku lokalnego, pod stropem o łupności wiszącej rejestrowano wstrząsy niskoenergetyczne o średnich energiach od 10^3 do 10^4 J. Energie wyższych rzędów 10^5 i 10^6 J rejestrowano w polach pod stropem o łupności leżącej.

Tablica 9. Liczby wstrząsów w polach bez zaburzeń, z uwzględnieniem stropów o łupności wiszącej i leżącej

Rzędy energii wstrząsów	Jednostkowa liczba wstrząsów pola bez zaburzeń w skrzydle zrzuconym		Jednostkowa liczba wstrząsów pola bez zaburzeń w skrzydle wiszącym		
	ściana 240/2; kierunek frontu płn-wsch; strop wiszący	ściana 243a/1; kierunek frontu płd-zach; strop leżący	ściana 240/1; kierunek frontu płn-wsch; strop wiszący	ściana 243a/2; kierunek frontu płd-zach; strop leżący	ściana 243b; kierunek frontu płn-wsch; strop wiszący
10^3	3,32	1,590	2,41	2,830	3,81
10^4	0,49	0,270	0,51	0,460	0,36
10^5	0,04	0,017	0,06	0,096	0,01
10^6	0,01	0,019	0	0	0

Z kolei z zestawienia jednostkowej liczby wstrząsów wynika (tabl. 9), że większość z nich zwłaszcza o wartościach 10^3 i 10^4 J dotyczyła strefy pól pod stropem o łupności wiszącej.

Ze względu na duże wartości wstrząsów o energiach 10^5 i 10^6 J można przyjąć, że najbardziej niebezpieczną ze stref jest strefa frontu przemieszczającego się w skrzydle zrzuconym, pod stropem o łupności leżącej.

8. WNIOSKI

Badania szczegółowe nad wpływem uskoków oraz płaszczyzn pomniejszonej spoistości, prowadzone w okresie 9 lat na poligonie badawczym o możliwie najmniej zakłóconych warunkach uprzednio dokonaną eksploatacją, wykazały ich związek ze zróżnicowanym zagrożeniem sejsmicznym i tąpnięciami.

Prawidłowość tych ustaleń potwierdzono na podstawie statystyki tąpnięć zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego w latach 1989-2001 [31]. Ustalono następujące prawidłowości:

1. Na poligonie ZWSM Jadwiga występowały dwa systemy uskoków o kierunkach równoleżnikowym charakterystycznym dla tektoniki pierwotnej oraz południkowym związanym z tektoniką wtórną. Dużą zgodność przestrzennego usytuowania z tymi systemami uskoków wykazuje łupność górotworu. Znajduje to potwierdzenie w klasyfikacji orientacji systemów uskoków i jest charakterystyczne dla Górnosląskiego Zagłębia Węglowego.
2. Kąty upadu płaszczyzn uskokowych w rejonie poligonu badawczego wynosiły $65-88^\circ$. Kierunek naturalnej łupności górotworu w otoczeniu pokładu zwykle ma nachylenie $70-85^\circ$ i jest tożsamy z kierunkiem spękań naturalnych górotworu.

3. Najmniejszą aktywność sejsmiczną oraz najkorzystniejszy rozkład naprężeń w stropie w otoczeniu wyrobiska notuje się przy kącie zawartym między linią frontu ściany a poziomym rzutem płaszczyzn łupności wynoszącym 51–70°.
4. Pomiary szczegółowe wykazały, że zbliżanie się frontu wyrobiska eksploatacyjnego do strefy lokalnego zaburzenia tektonicznego od strony skrzydła zrzuconego generowało aktywność sejsmiczną o około 47% większą niż dochodzenie tym frontem do uskoku od strony skrzydła wiszącego.
5. Aktywność sejsmiczna, a także liczba tąpnięć wskazuje na około 50 metrową strefę podwyższonego ryzyka w obu skrzydłach uskoków. W strefach tych zanotowano około 44% wszystkich tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego w analizowanym czasie. Biorąc pod uwagę przeciętne wybiegi ścian w przemyśle węglowym wynoszące 600–700 m, oznacza to około 10-krotny wzrost stanu zagrożenia tąpnięciami w odniesieniu do tego zagrożenia w polu eksploatacyjnym, bez zaburzeń tektonicznych.
6. Na poligonie badawczym stwierdzono, że w przypadku przeciwnego kierunku biegu ściany w odniesieniu do kierunku eksploatacji piętra wyższego, aktywność sejsmiczna wzrastała 2,9–3,8 razy. W zakresie tym niezbędne jest prowadzenie dalszych badań w celu uściślenia wielokrotności zmian stanu zagrożenia.

LITERATURA

1. Biliński A., *Ocena stanu zagrożenia tąpnięciem wyrobiska eksploatacyjnego*, Prace GIG Seria Dodatkowa Katowice 1989.
2. Biliński A., *Zagrożenie tąpnięciami stropowymi w świetle rozeznania warunków naturalnych i górniczych*. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, 1981 t. 5, z. 1.
3. Budryk W., *Zjawiska tąpań i zapobieganie ich skutkom*. Przegląd Górniczo-Hutniczy, 1938 nr 12.
4. Cianciara B., *Sejsmiczne prekursorsy wstrząsów górniczych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady, PAN, Kraków 1995 nr 8.
5. Dadlez R., Jaroszewski W., *Tektonika*. Warszawa, PWN 1994.
6. Drzęzła B., Dubiński J., *Lokalizacja ognisk wstrząsów górniczych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady, PAN Kraków 1995 nr 8.
7. Dubiński J., Nowak J., Stec K., *Zwiększenie informatywności sejsmologii górniczej przez określenie parametrów mechanizmu ogniska wstrząsów*, Materiały III Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: „Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalń stałych”. Jaworze, 1991, AGH, Kraków 1991.
8. Dubiński J., Mutke G., *Charakterystyka zagrożenia wstrząsami górniczymi w GZW*. Seminarium Sekcji Tąpań Komisji Górniczej PAN, nt.: „Ocena przydatności stalowej, odrzwiowej obudowy chodnikowej do zabezpieczania wyrobisk górniczych zagrożonych tąpnięciami”. Promnice, 1993. PAN, Katowice 1993.
9. Dubiński J. Konopko W., *Tąpania - ocena - prognoza - zwalczanie*. Katowice, GIG 2000.

10. Dubiński J., *Związek geomechanicznej struktury górotworu z indukowaną aktywnością sejsmiczną*. IV Konferencja nt.: „Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego”. Szczyrk, 1992. SITG, Katowice 1992.
11. Fajkiewicz Z., *Mechanizm powstawania wstrząsów górniczych w świetle badań mikrograwimetrycznych*. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Seria Wykłady, PAN, Kraków 1995 nr 8.
12. Ferenc W., *Zagadnienia ciągłości struktury w pokładach zagrożonych wyrzutami gazów i skał*. Przegląd Górniczy 1981 nr 6.
13. Gibowicz S., Cichowicz A., *Parametry fizyczne i mechanizm ogniska wstrząsów górniczych w kopalni Nowa Ruda*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., 1986 M-8.
14. Gieżyński A., *Szybkościowa metoda ustalania orientacji łupności skał w kopalniach węgla kamiennego*. Prace GIG, Komunikat 1969 nr 465.
15. Goszcz A., Kuś R., *Obserwacje spękań i innych struktur tektonicznych w pokładach węgla zagrożonych wstrząsami górotworu*. X Szkoła Mechaniki Górotworu nt.: „Zjawiska dynamiczne w górotworze”. PAN, Kraków 1987.
16. Goszcz A., Dworak J., *Określenie skłonności węgla do tępań na podstawie analizy tektonofizycznej oraz pomiarów parametrów sprężystych pokładu metodą sejsmiczną w wyrobiskach górniczych*. Archiwum Górnictwa 1982 z. 1-2.
17. Goszcz A., *Mechanizm tępań stropowych i możliwości oceny stanu zagrożenia metodami geofizyki*. Mat. III Konferencja Naukowo -Techniczna nt.: „Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalni stałych”. Jaworze, 1991, Kraków, AGH 1991.
18. Górecki J., *Ocena stopnia zaangażowania tektonicznego złóż węgla kamiennego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo 1986 z. 149.
19. Herbig E., Jungst E., *Podręcznik gospodarki górniczej*. Bergwirtschaftliches Handbuch. Mit 32 Abbildungen und Tafel. Verlag von Reimar Hobbing in Berlin 1981 SW 61.
20. Jaroszewski W., *Tektonika uskoków i fałdów*. Wydaw. Geologiczne, Warszawa 1990.
21. Kidybiński A., *Podstawy Geotechniki Kopalnianej*. Wydaw. „Śląsk”, Katowice 1982.
22. Kłeczek Z., Zorychta A., *Geomechaniczne warunki powstawania wstrząsów górniczych*, Materiały III Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: „Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalni stałych. AGH, Kraków 1991 t. I.
23. Kłeczek Z., Zorychta A., *Wpływ postępu eksploatacji na potencjalny stopień zagrożenia tąpniętami*. Kwartalnik Górnictwo AGH, Kraków 1985 z. 2.
24. Konopko W., *Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tąpniętami*. Prace Naukowe GIG 1994 nr 795.
25. Konopko W., *Klasyfikacja tępań*. Przegląd Górniczy 1991 nr 7.
26. Konopko W., Patyńska R., Makówka J., *Postęp, długość i wysokość ścian a zagrożenie tąpniętami*. Prace Naukowe GIG 1995 nr 809.
27. Kotas A., *Uwagi o ewolucji strukturalnej GZW*. Materiały Konferencyjne nt.: „Tektonika GZW”. Sosnowiec, 1985, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec 1985.
28. Majcherczyk T., Tajduś, Cała M., *Wpływ uskoków na stan zagrożenia tąpniętami pokładów węgla*. Materiały Sympozjum Naukowo-Techniczne, Tąpnięcia'94, nt.: „Rozwiązanie inżynierskie w problematyce tępań”. GIG, Katowice 1994.
29. Mutke G., *Results of ground motion measurements close to the sources of mining tremors*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. 1999 M-22 (310).
30. Nieć M., *Geologia Kopalniana*. Wydaw. Geologiczne, Warszawa 1990.

31. Patyńska R., *Wpływ kierunku eksploatacji pokładów węgla na zagrożenie tąpniętami*. Katowice, GIG 2001 (praca doktorska).
32. Pawłowicz K., *Rozkład powierzchni osłabionej spójności w skałach, metoda oznaczania trwałości i próba klasyfikacji stropów pokładów węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. GIG, Katowice 1966.
33. Reading H. G., *Sedimentary basins and global tectonics*. Proc. Geol. Ass., 1982 93, nr 4.
34. Ryncarz T., *Zarys fizyki górotworu*. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1993.
35. Sagan G., Zuberek W., *Analiza związku sejsmiczności z tektoniką i przebiegiem eksploatacji w obszarze górniczym kopalni Polkowice*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., 1986 M-8 (191),.
36. Sałustowicz A., *Mechanika Górotworu*. Górnictwo, Stalinogród 1955 t. III.
37. Skinderowicz B., *Wpływ czasu na kształtowanie się dynamicznych niecek osiadania*. GIG, Katowice 1976.
38. Stec K., *Wpływ parametrów mechanicznych ognisk wstrząsów górniczych na ocenę zagrożenia sejsmicznego w kopalni węgla kamiennego*. Katowice, GIG 1994 (praca doktorska).
39. Szuścik W., Zastawny E., *Zjawisko tąpnięcia materiału węglowego*. Przegląd Górniczy 1980 nr 11.
40. Teper L., Idziak A., Sagan G., Zuberek W., *Celowość badań nad wpływem tektoniki na występowanie wstrząsów górniczych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*, Materiały IV Konferencji Naukowo Technicznej nt.: „Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego”. Szczyrk 1992, GIG, Katowice 1992.
41. Tyrała A., Szwedzicka M., Szukalski S., *Klasyfikacja uskoków tektonicznych w badaniach nad ich oddziaływaniem na proces deformacji powierzchni*. Prace GIG, Komunikat 1975 nr 652.
42. Vinokur B. S., Rusakov A. V., Jakusev G. F., *Prognoz udaroopasnosti gornych porod po tektoniceskoj trescinovatosti; Prognozowanie skłonności górotworu do tąpnięć na podstawie spękań tektonicznych*. Bezopas. Truda V Prom., 1983 nr 0006.
43. Wierzchowska Z., *Mikrosejsmologiczne kryteria oceny stanu zagrożenia tąpniętami w kopalniach*. Przegląd Górniczy 1978 nr 9.
44. Wojnar W., *Związek naprężeń poziomych z budową geologiczną oraz ilością wstrząsów w górotworze północno-wschodniej części GZW*. Katowice, GIG 1985. (praca doktorska)
45. Wong I. C., *Tectonic stresses in mine seismicity: Are they significant?*, in: Rockburst and Seismicity in Mines 93, (red) R. P. Young, Kingston, Ontario, 1993.
46. Zuberek W., *Wpływ tektoniki na występowanie sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą*. Sympozja i Konferencje VI, Kraków, PAN 1993.

