

Zagrożenie tąpnięciami i profilaktyka tąpniowa podczas eksploatacji ścianowej pokładu 507 na dużej głębokości w KWK Ruda Ruch Bielszowice

Rockburst hazard and rockburst prevention during longwall mining of coal seam no. 507 at large depth in Ruda Hard Coal Mine Part Bielszowice



Dr Łukasz Wojtecki*)



Dr inż. Iwona Gołda**)

Treść: Eksploatacja pokładów zagrożonych tąpnięciami w KWK Ruda Ruch Bielszowice jest prowadzona na dużych głębokościach. Eksploatacji tej towarzyszy wysoki poziom naprężeń pierwotnych i związane z tym zagrożenie tąpnięciami. Czynniki negatywnie wpływającymi na koncentrację naprężeń w górotworze są również zaszczości eksploatacyjne wytworzone podczas wieloletniej i wielopokładowej eksploatacji, zaburzenia w zaleganiu pokładów (uskoki, wymycia) oraz obecność grubych warstw mocnych skał w stropie pokładów, odpowiedzialnych za występowanie wysokoenergetycznych wstrząsów. Eksploatacja pokładów węgla w takich warunkach powinna być zaprojektowana w sposób minimalizujący zagrożenie tąpnięciami, a aktywna profilaktyka tąpniowa powinna być ukierunkowana na czynnik wpływający w największy sposób na ryzyko wystąpienia tąpnięcia, nie powodując jednak przy tym wzrostu poziomu pozostałych zagrożeń naturalnych (np. metanowego, pożarowego). W artykule przedstawiono kształtowanie się zagrożenia tąpnięciami oraz zastosowaną profilaktykę tąpniową podczas eksploatacji pokładu 507 ścianą zawałową na głębokości około 814-884 m w KWK Ruda Ruch Bielszowice. Aktywna profilaktyka tąpniowa była oparta na strzelaniach torpedujących skały stropowe pokładu 507, w zasięgu oddziaływania zaszczości eksploatacyjnych w pokładach 502, 504 i 506. Eksploatacja pokładu 507 została pomyślnie zakończona, co pozwoli na dalszą eksploatację grubego pokładu 510 w tym rejonie.

ICI JOURNALS MASTER LIST

Szanowni Państwo,

Uprzejmie informujemy, że czasopismo „Przegląd Górniczy (ISSN: 0033-216X)” pozytywnie przeszło proces oceny i jest indeksowane w bazie **ICI Journals Master List za rok 2018**.

Na podstawie weryfikacji informacji z ankiety ewaluacyjnej oraz analizie wydań czasopisma z 2018 roku, wyznaczona została wartość wskaźnika *Index Copernicus Value (ICV)* za rok 2018.

ICV 2018 = 72.78

Wyznaczona ocena jest widoczna na liście czasopism **ICI Journals Master List 2018**

<https://journals.indexcopernicus.com/search/formjml> oraz w Paszporcie Państwa czasopisma <https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=28377&lang=pl>

Z poważaniem,

Zespół Ewaluacji Czasopism Naukowych

Index Copernicus International

www.indexcopernicus.com

*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

**) Politechnika Śląska, Gliwice

Abstract: Exploitation of coal seams in Ruda Hard Coal Mine Part Bielszowice is carried out at large depths. High level of natural stress and the associated rockburst hazard occur during this exploitation. Other factors affecting in a negative way the stress concentration in rock mass are mining remnants, created as a result of mining of many coal seams and lasting many years, coal seams dislocations (faults, washouts) and deposition of the thick layers of competent rocks in the roof of coal seams, responsible for high-energy tremors occurrence. Mining of coal seams under mentioned conditions should be designed to minimize the rockburst hazard, and an active rockburst prevention should be focused on the factor affecting the most the risk of rockburst occurrence, but without causing any increasing of other natural hazards level (e.g. methane hazard, spontaneous fire hazard). In this paper the development of level of rockburst hazard and applied rockburst prevention during longwall mining with caving of coal seam no. 507 at the depth about 814-884 in Ruda Hard Coal Mine Part Bielszowice are presented. The active rockburst prevention was based on a long-hole destress blasting in roof rocks of coal seam no. 507, at influence range of mining remnants in coal seams nos. 502, 504 and 506. Exploitation of coal seam no. 507 was successfully completed, what will enable further exploitation of thick coal seam no. 510 in this area.

Słowa kluczowe:

eksploatacja pokładu węgla, zagrożenie tąpnięciami, profilaktyka tąpniowa

Keywords:

coal seam mining, rockburst hazard, rockburst prevention

1. Wstęp

W KWK Ruda Ruch Bielszowice prowadzona jest eksploatacja ścianowa pokładów zagrożonych tąpnięciami na dużych głębokościach, w większości przekraczających 800 m. Z dużą głębokością prowadzonej eksploatacji wiąże się wysoki poziom naprężeń pierwotnych. Oprócz tego na wybiegach ścian lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie w większości występują zaszłości eksploatacyjne w pokładach sąsiednich oraz zaburzenia geologiczne, głównie uskoki, choć także przegięcia, rozszczepienia czy wymycia pokładów, wpływające na wzrost naprężeń w pokładzie i jego otoczeniu ponad stan wynikający z głębokości zalegania. Niekorzystnym czynnikiem wpływającym na stan zagrożenia tąpnięciami podczas prowadzonej w KWK Ruda Ruch Bielszowice eksploatacji jest również pękanie grubych warstw mocnych skał i związane z tym wysokoenergetyczne wstrząsy.

Eksploatacja w niekorzystnych warunkach naprężeniowych wymusza konieczność wykorzystania możliwie wszystkich czynników minimalizujących zagrożenie sejsmiczne oraz tąpnięciami (Niechwiadowicz i in. 2006, Piecha i in. 2015, 2017a, 2017b, Pietrzycki i in. 2012). Jeszcze na etapie projektowania analizowane są czynniki geologiczno-górniczne mogące mieć wpływ na kształtowanie się ww. zagrożeń. Szczególnie istotne podczas planowania eksploatacji ścianowej na dużych głębokościach jest maksymalne wykorzystanie efektu odprężenia górotworu w wyniku dokonanej wcześniej eksploatacji, w korzystniejszych warunkach. Jednak nawet w takim przypadku nie można wykluczyć występowania wysokoenergetycznych wstrząsów, szczególnie w sąsiedztwie krawędzi eksploatacyjnych dokonanej eksploatacji, w tym także na zewnątrz od pola projektowanej ściany.

W celu minimalizacji zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami stosowane są odpowiednie środki, adekwatne do prognozowanego i obserwowanego stanu zagrożenia. W ramach aktywnej profilaktyki tąpniowej w KWK Ruda Ruch Bielszowice, w szczególności szerokim zakresie prowadzone są strzelania torpedujące w skałach stropowych eksploatowanego pokładu. Strzelania te ukierunkowane są na destrukcję warstw mocnych skał o dużej miąższości oraz na rozładowanie naprężeń występujących w sąsiedztwie zaszłości eksploatacyjnych w pokładach sąsiednich. Cechują się one dużą efektywnością (Wojtecki, Konicek 2016).

W wymienionej Kopalni zaprojektowano eksploatację pokładu 507 ścianą 310. Spośród wszystkich eksploatowanych pokładów to właśnie w pokładzie 507 wystąpiło jak dotąd

najwięcej tąpnięć. Ze względu na dużą głębokość eksploatacji pokładu 507 ścianą 310, wynoszącą ponad 800 m i związanego z tym poziomem naprężeń pierwotnych, pole tej ściany zaprojektowano w sposób możliwie najpełniej wykorzystujący efekt odprężenia dokonanej eksploatacją pokładów 502 i 504, zalegających odpowiednio 124 m i 61-70 m powyżej. Poza tym skuteczna i bezpieczna eksploatacja pokładu 507 ścianą 310 wymagała zaprojektowania odpowiedniej aktywnej profilaktyki tąpniowej, w ramach której szczególnie nacisk położono na destrukcję skał stropowych. Strzelania torpedujące wykonywano z pochylni przyścianowych oraz chodników pełniących funkcję wentylacyjną i transportową, a otwory strzałowe były skierowane w kierunku krawędzi eksploatacyjnych w pokładach 502 i 504.

Bezpieczna eksploatacja pokładu 507 na dużej głębokości była możliwa dzięki właściwemu zaprojektowaniu robót oraz odpowiednim działaniom profilaktycznym, założonym już na etapie planowania i modyfikowanym w zależności od rzeczywistego kształtowania się zagrożeń, co zostało przedstawione w niniejszym artykule.

2. Warunki geologiczno-górniczne

Eksploatacja pokładu 507 ścianą 310 została zaprojektowana w odmianie poprzecznej z zawałem stropu między pochylniami IIIw i IVw, w kierunku z północnego-zachodu na południowy-wschód. Długość ściany wynosiła około 198 m, a jej wysokość do 3,4 m. Pole ściany znajdowało się na głębokości od około -564 m do około -634 m n.p.m. Średnia głębokość zalegania pokładu 507 względem powierzchni terenu wynosiła w rejonie ściany 310 około 845 m. Takiej głębokości odpowiada poziom naprężeń na poziomie około 21,2 MPa. Nachylenie podłużne ściany 310 wynosiło od 0° do 14°, natomiast poprzeczne kształtowało się pomiędzy 0° do 16°.

Pokład 507 w polu ściany 310 posiadał miąższość od 3 m do 4,1 m. Przystopowa część pokładu 507 wykształcona jest w postaci węgla sapropelowego, którego miąższość wynosi od 0,5 m do 0,8 m. Pod warstwą węgla sapropelowego lokalnie występuje przerost w postaci warstwy łupku ilastego o miąższości około 0,1 m. Rozciągłość warstw w rejonie ściany 310 posiada kierunek od ESE-WNW do ENE-WSW, przy upadzie rzędu 2°-16°. Pokład 507 jest skłonny do tąpnięć, o czym świadczy wartość współczynnika wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie R_c przekraczająca 20 MPa. Zdolność pokładu 507

do akumulowania energii sprężystej była jednym z czynników niekorzystnie wpływających na zagrożenie tapaniami w rejonie ściany 310.

Strop bezpośredni pokładu 507 wykształcony jest głównie w postaci łupku ilastego, nad którym występuje warstwa łupku piaszczystego lub piaskowca drobnoziarnistego. Lokalnie bezpośrednio w stropie pokładu 507 występuje piaskowiec. Według jednego z otworów badawczych zlokalizowanych w rejonie ściany 310, w stropie pokładu 507 występują kolejno następujące warstwy: 0,3 m łupku ilastego, 7,9 m piaskowca drobnoziarnistego, 0,3 m łupku piaszczystego, 0,6 m piaskowca drobnoziarnistego, 1,2 m łupku piaszczystego. Ponadto w odległości około 30 m powyżej pokładu 507, nad pokładem 506 występują warstwy piaskowca o łącznej miąższości 26,3 m (odpowiednio 12,1 i 14,2 m), oddzielone od siebie warstwami łupku piaszczystego (o sumarycznej miąższości 3,2 m) oraz warstwami łupku ilastego, węglowego oraz węgla m.in. pokładów 505/1 i 505/2 (o łącznej miąższości 3,4 m). Piaskowce te cechują się dużą wytrzymałością (współczynnik R_c wynoszący około 80 MPa). Z pękaniem warstw mocnych piaskowców wiązała się możliwość występowania wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu.

Spąg pokładu 507 wykształcony jest głównie w postaci łupku ilastego, lokalnie zapiaszczonego przechodzącego stopniowo w łupkę piaszczystą, pod którym występuje pokład 510. Według jednego z otworów badawczych zlokalizowanych w rejonie ściany 310, w spągu pokładu 507 występują kolejno warstwy: łupku piaszczystego (3,2 m), piaskowca (2,5 m), łupku piaszczystego (0,4 m), piaskowca (0,3 m), łupku piaszczystego (1,8 m) oraz łupku ilastego (0,4 m), poniżej których zalega gruby pokład 510 o miąższości 6,7 m. Miąższość pokładu 510 w rejonie ściany 310 osiągała maksymalnie wartość 8,5 m, a jego odległość od pokładu 507 była zmienna i wynosiła od 2,1 m do 8,6 m. Odległość między pokładami 507 i 510 zwiększała się w kierunku północnym. Z występowaniem grubego pokładu 510 w niewielkiej odległości pod pokładem 507 wiązała się możliwość dynamicznego wypiętrzenia spągu.

Przecinka ściany 310 początkowo została zaprojektowana na południe od zrobów ściany 275, z pozostawieniem płota węglowego o szerokości dochodzącej do 5 m. Jednakże w wyniku pożaru w przecince ściany 310, którego przyczyną było samozapalenie się węgla pokładu 507 w splekany płocie węglowym, podjęto decyzję o otamowaniu korkiem przeciwybuchowym przecinki ściany 310 oraz wydrążeniu nowej przecinki ściany 310², z pozostawieniem pasa calizny węglowej o szerokości około 30 m, mającego charakter resztki. Pozostawienie tej resztki, konieczne ze względów wentylacyjnych, było czynnikiem potencjalnie niekorzystnym dla kształtowania się zagrożenia tapaniami. Obecność resztki mogła utrudniać tworzenie się pierwszego zawału w okresie rozruchu ściany 310. Ponadto obustronne występowanie zrobów ścian 275 i 310 w sąsiedztwie resztki w pokładzie 507, mogło doprowadzić do koncentracji naprężeń w jej obrębie.

Eksploatacja pokładu 507 w KWK Ruda Ruch Bielszowice przez wiele lat była prowadzona w ślad dokonanej eksploatacji pokładu 506. Wybieranie pokładu 506, zalegającego w odległości przeciętnie około 30 m powyżej pokładu 507, skutecznie odprężyło pokład 507. Jednakże w związku ze ścienieniem pokładu 506, jego dalsza eksploatacja nie była możliwa. Rolę pokładów odprężających częściowo przejęły pokłady 504 oraz 502, zalegające jednak w większej odległości od pokładu 507.

Ściana 310 została zaprojektowana w sposób maksymalnie wykorzystujący efekt odprężenia związany z dokonaną wcześniej eksploatacją pokładów siodłowych.

Pole ściany 310 w całości znajdowało się pod wybranym pokładem 502, zalegającym w odległości około 124 m powyżej pokładu 507. Zdecydowana większość pola ściany 310 znajdowała się również pod wybranym pokładem 504, zalegającym w odległości 61-70 m powyżej pokładu 507. W zasięgu teoretycznego oddziaływania krawędzi pokładu 504 znajdował się jedynie środkowy fragment pola ściany 310, w rejonie pochylni IVw oraz końcowy fragment pola ściany, w rejonie pochylni IIIw. Ściana 310 rozpoczynała swój bieg pod zrobami pokładu 506, jednak już część przecinki ściany 310² po zachodniej stronie znajdowała się w zasięgu teoretycznego oddziaływania krawędzi tego pokładu. Eksploatacja wymienionych pokładów siodłowych nad polem ściany 310 miała miejsce w szerokim horyzoncie czasowym. Pokład 502 był eksploatowany około 12-22 lat wcześniej, pokład 504 około 10-13 lat wcześniej, a pokład 506 około 36-37 lat wcześniej. Ze względu na czas, jaki upłynął od eksploatacji pokładu 506 nad polem ściany 310, jej wpływ na poziom naprężeń w pokładzie 507 praktycznie nie występował.

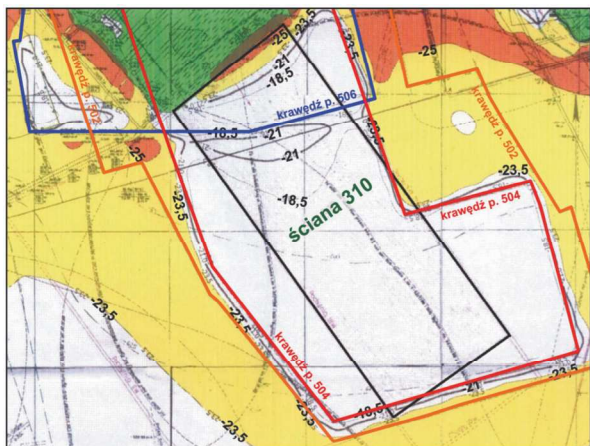
W oparciu o metodę rozeznania górniczego, przy uwzględnieniu m.in.: głębokości prowadzonej eksploatacji i związanego z tym poziomem naprężeń pierwotnych, występowania tapani w pokładzie 507 w przeszłości, skłonności pokładu 507 do tapani, występowania wstrząsogennych warstw piaskowców w stropie zasadniczym pokładu 507, dokonanej eksploatacji w pokładach sąsiednich oraz pozostawiania resztki pokładu 507 o szerokości około 30 m, ściana 310 została zakwalifikowana do wyrobisk słabo zagrożonych tapaniami, jednak przy bliskim spełnieniu kryterium średniego zagrożenia tapaniami.

Przedstawione wyżej warunki geologiczno-górnice znalazły swoje odzwierciedlenie w kształtowaniu się stanu zagrożenia tapaniami w rejonie ściany 310 podczas jej biegu.

3. Zagrożenie tapaniami w rejonie ściany 310

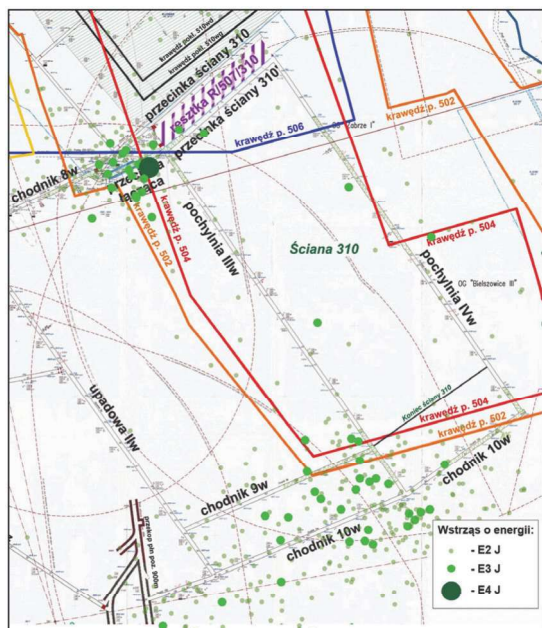
Pole ściany 310 zaprojektowano tak, by możliwie jak najpełniej wykorzystać efekt odprężenia związany z dokonaną eksploatacją w pokładach 502 i 504. Jeszcze na etapie projektowania prawdopodobny rozkład naprężeń w polu ściany i jego otoczeniu został określony analityczną metodą porównawczą, stosowaną dla oceny potencjalnego zagrożenia tapaniami wyrobisk prowadzonych w zagrożonych obszarach GZW ([Kompleksowy projekt... 2016-2019](#)). Według tej metody, na większości prześwietlonego wybiegu, naprężenia w pokładzie 507 nie przekraczają 18,5 MPa, czyli są niższe niż wynikałoby to z głębokości zalegania. Rozkład składowej pionowej przestrzennego stanu naprężenia w pokładzie 507 przedstawiono na rys. 1. W oparciu o przeprowadzoną analizę stwierdzono, że ściana 310 będzie prowadzona w stosunkowo korzystnych naprężeniowo warunkach, a potencjalnie duże zagrożenie tapaniami będzie występować na końcowym wybiegu ściany 310. Głównym źródłem wstrząsów wysokoenergetycznych będzie pęknięcie grubych warstw piaskowców, przy krawędziach eksploatacyjnych w pokładach 502 i 504. Energia tych wstrząsów będzie jednak ulegać w dużym stopniu dyssypacji w zrobach zawałowych powstałych w wyniku dokonanej eksploatacji pokładów siodłowych.

Oddziaływanie krawędzi eksploatacyjnych w pokładach sąsiednich na poziom naprężeń w pokładzie 507 stwierdzono już podczas drążenia wyrobisk udostępniających i przygotowawczych dla ściany 310 (rys. 2). Obserwowano wówczas wyraźny wzrost sejsmiczności indukowanej oraz skorelowanego z nim wzrostu zagrożenia tapaniami.



Rys. 1. Rozkład składowej pionowej przestrzennego stanu naprężeń w pokładzie 507 w polu ściany 310 i jej otoczeniu (Kompleksowy projekt... 2016-2019)

Fig. 1. Distribution of the vertical component of the spatial stress pattern in coal seam no. 507 in the longwall panel no. 310 and its vicinity



Rys. 2. Aktywność sejsmiczna podczas drażenia wyrobisk udostępniających i przygotowawczych dla ściany 310

Fig. 2. Seismic activity during drilling of opening-out headings and advanced galleries for longwall no. 310

Podczas drażenia wyrobisk udostępniających i przygotowawczych dla ściany 310 największa aktywność sejsmiczna występowała w rejonie chodników 9w i 10w oraz przecinki łączącej, która po wystąpieniu pożaru w przecince ściany 310 połączyła chodnik 8w z pochylnią IIIw (tab. 1). Wyrobiska te były drażone w zasięgu krawędzi pokładów 502 i 504. Podczas drażenia przecinki łączącej wystąpił najsilniejszy wstrząs o energii $8 \cdot 10^4$ J. Niższa aktywność sejsmiczna występowała wyraźnie podczas drażenia wyrobisk chodnikowych w pokładzie 507 w zakresie dokonanej eksploatacji odprężającej w pokładach 502 i 504, tj. w rejonie pochylni IIIw i IVw oraz przecinki ściany 310 i 310' (tab. 1).

O niższym niż wynikałoby to z głębokości zalegania poziomie naprężeń w pokładzie 507 w zakresie dokonanej eksploatacji w pokładach 502 i 504 świadczyły również wyniki wykonywanych cyklicznie badań sejsmicznych metodą prześwietlania. Na większości prześwietlonego pola ściany anomalia sejsmiczna miała wartości ujemne, również spełniające kryterium efektu słabego lub średniego odprężenia pokładu (rys. 3). W rejonie zakończenia ściany oraz lokalnie, w sąsiedztwie pochylni przyścianowych stwierdzano słaby, choć także średni wzrost naprężeń w pokładzie 507 (rys. 3).

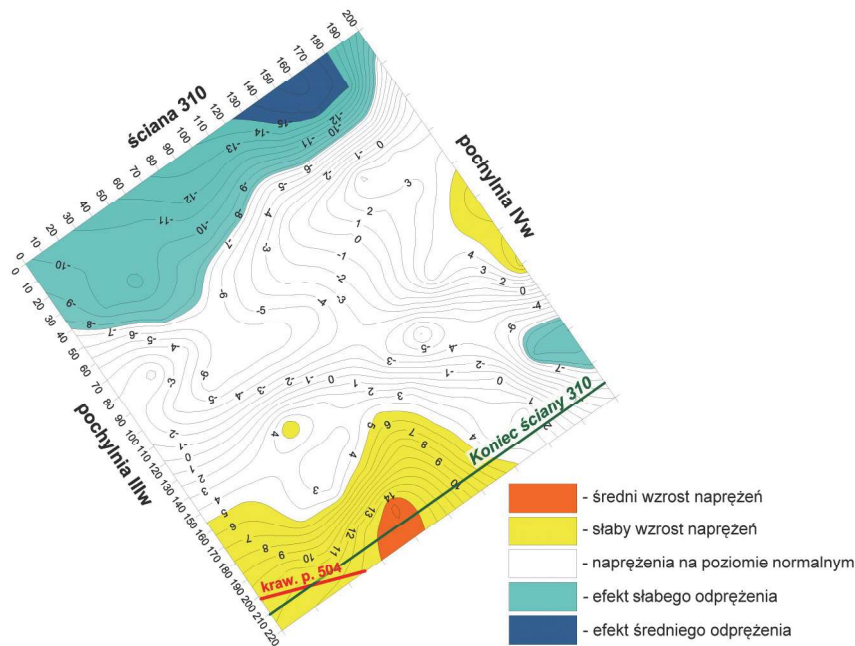
Podczas eksploatacji pokładu 507 ścianą 310 poziom sejsmiczności wyraźnie korelował z zakresem odprężenia związanym z wybraniem pokładu 504 dwoma różnymi ścianami, w dwóch różnych okresach czasu. Zdecydowana większość wstrząsów nisko- i średnioenergetycznych wystąpiła w pierwszym etapie biegu ściany (rys. 4), kiedy jej front znajdował się pod zrobami ściany 001 w pokładzie 504. Eksploatacja ta nad polem ściany 310 była prowadzona około 13 lat wcześniej. Druga połowa pola ściany znajdowała się pod zrobami ściany 010 w pokładzie 504, wytworzonymi około 10 lat wcześniej. Efekt odprężenia pokładu 507 w drugim etapie biegu ściany 310 był większy, co znalazło swoje odzwierciedlenie w niższej aktywności sejsmicznej (rys. 4). Najsilniejsze wstrząsy podczas eksploatacji pokładu 507 ścianą 310 wystąpiły jednak w sąsiedztwie krawędzi pokładu 504 wytworzonej eksploatacją ścianową, dokonaną 10 lat wcześniej.

Podczas eksploatacji pokładu 507 ścianą 310 wystąpiło w sumie 1810 wstrząsów o sumarycznej energii $1,4 \cdot 10^7$ J, w tym 1352 wstrząsy o energii rzędu 10^2 J, 330 wstrząsów o energii rzędu 10^3 J, 121 wstrząsów o energii rzędu 10^4 J, 5 wstrząsów o energii rzędu 10^5 J oraz 2 wstrząsy o energii rzędu 10^6 J. Najsilniejszy wstrząs, jaki wystąpił w rejonie ściany 310 miał energię $4 \cdot 10^6$ J. Ognisko tego wstrząsu wystąpiło w rejonie krawędzi pokładu 504, przy pochylni IVw. Ogniska wstrząsów wysokoenergetycznych, zbieżnie z prognozą, koncentrowały się głównie w sąsiedztwie krawędzi eksploatacyjnych w pokładach 502 i 504 (rys. 4).

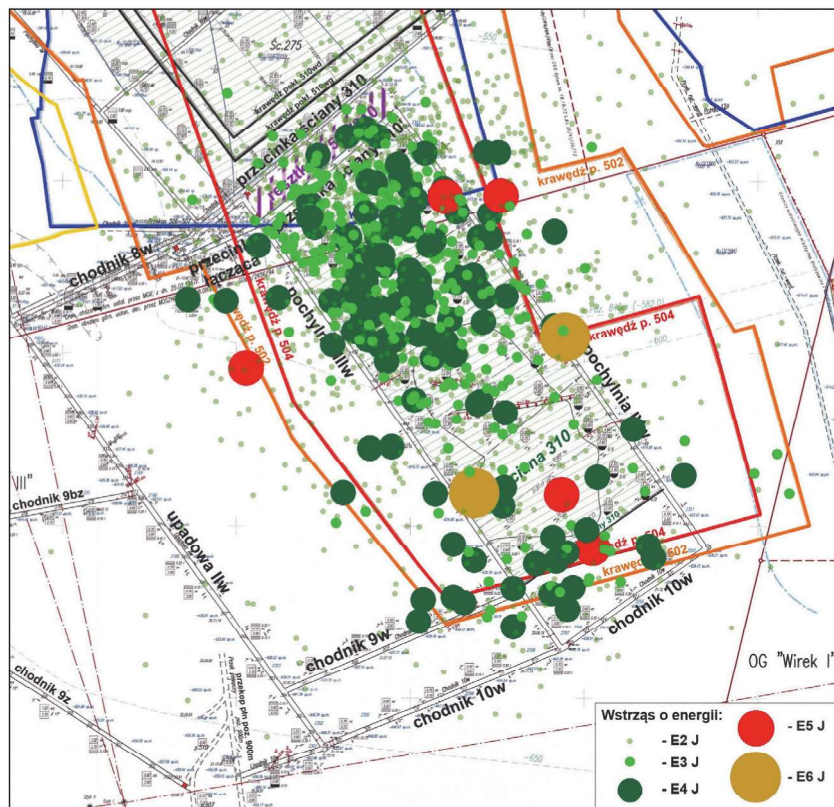
Tabela 1. Aktywność sejsmiczna podczas drażenia wyrobisk udostępniających i przygotowawczych dla ściany 310 w pokładzie 507

Table 1. Seismic activity during drilling of opening-out headings and advanced galleries for longwall no. 310 in coal seam no. 507

Wyrobisko	Liczba wstrząsów o energii rzędu			Suma	ΣE [$\times 10^5$ J]
	10^2 J	10^3 J	10^4 J		
chodnik 10w	215	15	-	230	2
chodnik 9w	51	13	-	64	0,88
pochylnia IIIw	38	2	-	40	0,33
pochylnia IVw	25	2	-	27	0,21
przecinka ściany 310	31	1	-	32	0,22
przecinka ściany 310'	3	-	-	3	0,02
przecinka łącząca	96	18	1	115	2,3
Suma	459	51	1	511	5,96



Rys. 3. Rozkład anomalii sejsmicznej w pokładzie 507 na końcowym wybiegu ściany 310
 Fig. 3. Distribution of seismic anomalies in coal seam no. 507 near the end of longwall panel no. 310



Rys. 4. Aktywność sejsmiczna podczas eksploatacji pokładu 507 ścianą 310
 Fig. 4. Seismic activity during mining of longwall panel no. 310 in coal seam no. 507

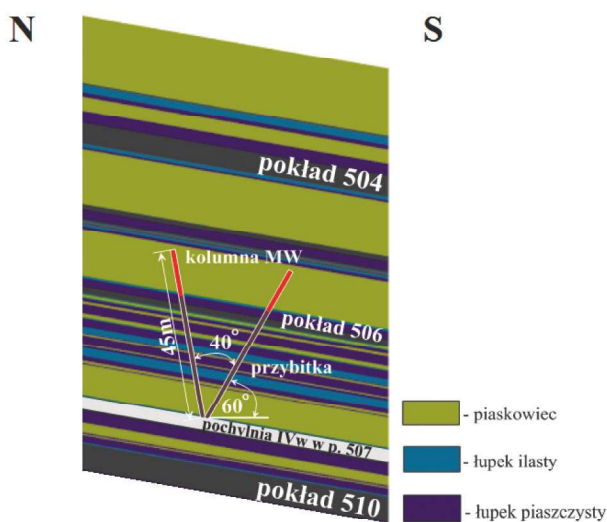
W związku z opisaną sytuacją geologiczno-górnictw, wynikami badań sejsmicznych oraz kształtowaniem się aktywności sejsmicznej w rejonie ściany 310 została zastosowana adekwatna aktywna profilaktyka tapaniowa.

4. Aktywna profilaktyka tapaniowa

Profilaktyka tapaniowa była stosowana już podczas drążenia wyrobisk udostępniających i przygotowawczych dla ściany 310, w zasięgu oddziaływania krawędzi pokładów 502

i 504. Koncentrowano się wówczas na rozładowaniu naprężeń bezpośrednio w pokładzie 507 poprzez wykonywanie strzałów wstrząsowych. Strzelaniami tymi prowokowano wstrząsy o energiach rzędu 10^2 J i 10^3 J.

Profilaktyka tapaniowa dla ściany 310 była skoncentrowana na strzelaniach torpedujących skały stropowe pokładu 507. Strzelania te zaprojektowano z pochylni IIIw i IVw. Otwory strzałowe były wiercone parami, zgodnie z kierunkiem biegu ściany. W każdej parze jeden otwór był wiercony równoległe do osi pochylni, a drugi był odchylony od osi pochylni o kąt 40° na zewnątrz od pola ściany, w kierunku krawędzi eksploatacyjnych w pokładach 502 i 504, tj. z pochylni IIIw w kierunku na południowy zachód, a z pochylni IVw w kierunku na południowy wschód. Otwory miały długość do 45 m i były nachylone do poziomu pod kątem 60° (rys. 5). W każdym otworze strzałowym kolumna składająca się z 48 kg materiału wybuchowego była ulokowana w warstwie piaskowca o miąższości 12,1 m, zalegającej nad cienkim pokładem 506 (rys. 5). W większości przypadków materiał wybuchowy odpalano w 2 parach otworów. W pozostałych przypadkach materiał wybuchowy odpalano w jednej parze otworów.



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia pary otworów strzałowych z pochylni IVw w pokładzie 507

Fig. 5. Arrangement pattern for couple of blastholes from inclined drift no. IVw in coal seam no. 507

Średnica otworów strzałowych za każdym razem wynosiła 76 mm. Otwory strzałowe były ładowane pneumatycznie, przy wykorzystaniu nabojnicy NP-2 oraz węża HDPE (Szymusiak 2007). Kolumna materiału wybuchowego zajmowała około 10 m otworu, licząc od jego dna, a resztę stanowiła przybitka. Stosowanym materiałem wybuchowym był Emulinit PM, w nabojach o średnicy 32 mm i masie 300 g (<http>). Gęstość Emulinitu PM wynosi $1,15-1,3$ g/cm³, a prędkość detonacji 4500 m/s (<http>). Energia właściwa tego materiału wybuchowego wynosi 522 kJ/kg, a ciepło wybuchu 2278 kJ/kg (<http>).

Z pochylni IIIw wykonano w sumie 9 strzałów, w 8 przypadkach odpalając materiał wybuchowy w 2 parach otworów, a w 1 przypadku w jednej parze otworów strzałowych. Pierwsza para otworów była zlokalizowana w rejonie skrzyżowania pochylni IIIw z przecinką ściany 310⁷, a kolejne znajdowały się w odstępach 30 m. W sumie w 34 otworach strzałowych zdetonowano 1632 kg MW, a całkowita wyzwolona energia wyniosła $2,4 \cdot 10^5$ J. Sprowokowane wstrząsy miały energię odpowiednio: $2 \cdot 10^4$ J, $3 \cdot 10^4$ J, $2 \cdot 10^4$ J, $2 \cdot 10^4$ J, $2 \cdot 10^4$ J, $3 \cdot 10^4$ J, $3 \cdot 10^4$ J, $3 \cdot 10^4$ J oraz $4 \cdot 10^4$ J. Podczas ostatniego strzelania torpedującego z pochylni IIIw, pomimo użycia

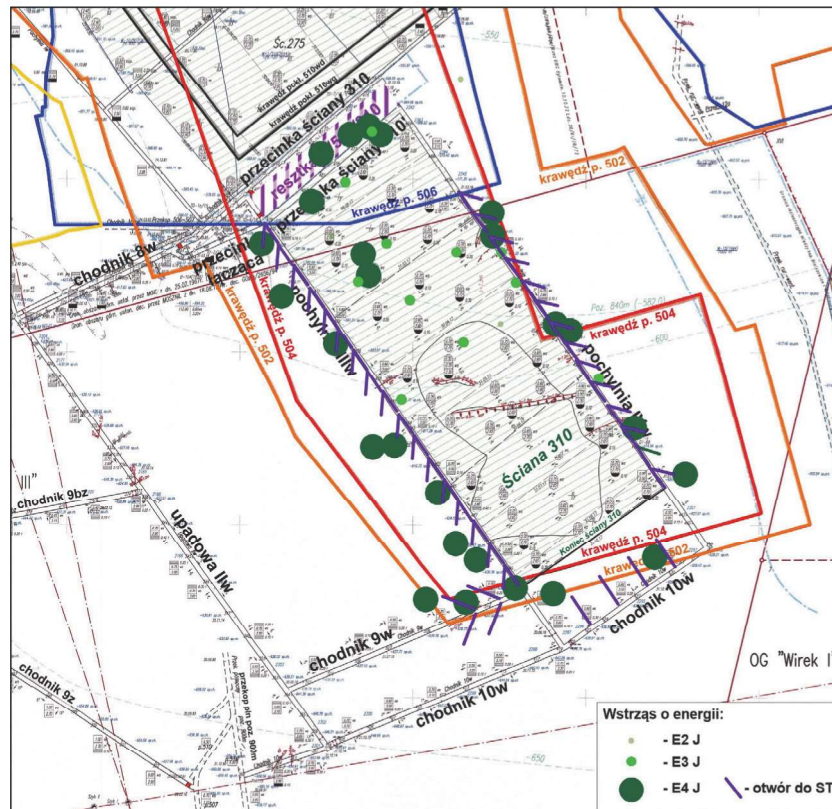
tylko 96 kg MW, zdetonowanych w 2 otworach strzałowych, sprowokowano najsilniejszy wstrząs. Strzelanie to zostało wykonane w zasięgu oddziaływania krawędzi eksploatacyjnych w pokładach 502 i 504. Po jednym ze strzałów z pochylni IIIw wystąpił wstrząs wtórny o energii $4 \cdot 10^3$ J.

Strzelania torpedujące z pochylni IVw zostały rozpoczęte w rejonie krawędzi eksploatacyjnej w pokładzie 506, w odległości około 115 m od przecinki ściany 310⁷. W sumie z tego wyrobiska wykonano 7 strzałów torpedujących, za każdym razem odpalając 192 kg MW w 2 parach otworów strzałowych. W sumie, w 28 otworach strzałowych zdetonowano 1344 kg MW, a całkowita wyzwolona energia wyniosła $2 \cdot 10^5$ J. W wyniku strzałów z pochylni IVw sprowokowano wstrząsy o energiach, licząc od przecinki ściany 310⁷: $1 \cdot 10^4$ J, $2 \cdot 10^4$ J, $4 \cdot 10^4$ J, $5 \cdot 10^4$ J, $8 \cdot 10^3$ J, $5 \cdot 10^4$ J oraz $2 \cdot 10^4$ J. Pierwsze strzelanie z pochylni IVw wykonano wspólnie ze strzelaniem z frontu ściany dla sprowokowania zawału skał stropowych. Do 4 otworów o długości do 10 m załadowano w sumie 96 kg MW. Po wspólnym strzelaniu z pochylni IVw i ściany 310 wystąpił jeszcze wstrząs wtórny o energii $2 \cdot 10^4$ J.

W związku z problemami z uzyskaniem zawału stropu w okresie rozruchu ściany, wykonywano strzelania dla jego sprowokowania. Wykonano w sumie 6 strzałów z frontu ściany 310, a do każdego otworu ładowano 24 kg MW. Podczas tych strzałów odpalano kolejno 2, 2, 1, 5, 3 oraz 4 otwory, prowokując wstrząsy o energiach odpowiednio $1 \cdot 10^4$ J, $1 \cdot 10^4$ J, $7 \cdot 10^3$ J, $5 \cdot 10^4$ J, $3 \cdot 10^4$ J oraz $1 \cdot 10^4$ J (wspólnie ze strzelaniem torpedującym z pochylni IVw). Strzelania te cechowały się dużą efektywnością, co potwierdzały obserwacje *in situ*. Następnie już podczas regularnego biegu ściany wykonywano strzelania dla uzyskania zawału skał stropowych z pochylni IVw. W sumie wykonano 4 takie strzelania, każdorazowo ładując do pojedynczego otworu 6 kg MW. Podczas tych strzałów odpalano kolejno 2, 4, 2 oraz 2 otwory, prowokując wstrząsy o energiach odpowiednio $2 \cdot 10^3$ J, $6 \cdot 10^3$ J, $8 \cdot 10^2$ J oraz $8 \cdot 10^2$ J. Pierwsze dwa strzelania, pomimo użycia niewielkiej ilości MW cechowały się dużą efektywnością.

Podczas regularnego biegu ściany 310 wykonano z jej frontu również 8 strzałów wstrząsowych. Podczas tych strzałów każdorazowo w 10 otworach, o długości do 12 m, wierconych prostopadle do frontu ściany, odpalano 50 kg MW (5 kg MW/otwór). Strzelaniami tymi sprowokowano wstrząsy o energiach kolejno: $5 \cdot 10^3$ J, $2 \cdot 10^4$ J, $3 \cdot 10^3$ J, $2 \cdot 10^4$ J, $3 \cdot 10^3$ J, $2 \cdot 10^3$ J, $2 \cdot 10^3$ J oraz $2 \cdot 10^3$ J.

Uwzględniając wyniki badań i obserwacji geofizycznych, podczas zbliżania się frontu ściany 310 do linii jej zakończenia, w ramach aktywnej profilaktyki tapaniowej zaprojektowano dodatkowe strzelania torpedujące z chodników 10w oraz 9w. Otwory strzałowe były skierowane w kierunku krawędzi eksploatacyjnych w pokładach 502 i 504. Otwory te miały długość do 70 m i były nachylone do poziomu pod kątem 60° . Do każdego otworu ładowano 96 kg MW. 4 otwory strzałowe zostały wywiercone z chodnika 10w, prostopadle na północny zachód, w odstępach co około 40 m. W wyniku odpalenia 192 kg MW w dwóch otworach strzałowych bliżej pochylni IVw sprowokowano wstrząs o energii $1 \cdot 10^4$ J. W wyniku odpalenia takiej samej ilości MW w dwóch otworach bliżej pochylni IIIw sprowokowano wstrząs o energii $4 \cdot 10^4$ J. Otwory z chodnika 9w były wiercone w parach, w odległości 30 m i 60 m na zachód od skrzyżowania z pochylnią IIIw. W każdej parze, otwory strzałowe były odchylone o kąt 45° na północny zachód i południowy zachód od osi chodnika 9w. Strzelaniami torpedującymi z chodnika 9w sprowokowano wstrząsy o energiach $5 \cdot 10^4$ J i $4 \cdot 10^4$ J. Rozmieszczenie otworów do strzałów torpedujących z pochylni IIIw i IVw oraz chodników 10w i 9w, a także ogniska sprowokowanych wstrząsów zostały przedstawione na rys. 6.



Rys. 6. Mapa pokładu 507 z otworami strzałowymi do strzelań torpedujących oraz ogniskami sprowokowanymi wstrząsów

Fig. 6. Map of coal seam no. 507 with blastholes for long-hole destress blasting and foci of provoked tremors

5. Podsumowanie i wnioski

W KWK Ruda Ruch Bielszowice, na głębokości przekraczającej 800 m została zaprojektowana eksploatacja ścianowa pokładu 507 ścianą 310. Eksploatacja skłonnego do tapani pokładu 507 na dużej głębokości wymagała optymalnego wykorzystania wszystkich czynników minimalizujących zagrożenie tapaniami. Przede wszystkim pole ściany 310 zostało schowane w obrysie dokonanej eksploatacji w pokładach 502 i 504. Eksploatacja tych pokładów siódłowych, choć miała miejsce kilkanaście lat wcześniej, wpłynęła pozytywnie na odprężenie pokładu 507. Korzystny poziom naprężeń w pokładzie 507 w polu ściany 310 został potwierdzony badaniami sejsmicznymi.

W oparciu o prognozę stanu naprężeń w pokładzie 507 analityczną metodą porównawczą (**Kompleksowy projekt...2016-2019**) oraz kształtowanie się stanu zagrożenia tapaniami podczas drążenia wyrobisk udostępniających i przygotowawczych, dla ściany 310 zaprojektowano aktywną profilaktykę tapaniową w postaci strzelań torpedujących z pochylni przyscianowych. Profilaktyka ta została następnie poszerzona o strzelania torpedujące z chodników 10w i 9w, na podstawie rejestrowanego poziomu aktywności sejsmicznej i wyników badań sejsmicznych. Słabe i średnie wzrosty naprężeń w pokładzie stwierdzano lokalnie, w sąsiedztwie pochylni przyscianowych i linii zakończenia ściany, przede wszystkim w rejonie krawędzi pokładów 502 i 504.

Strzelania torpedujące były ukierunkowane na rozładowanie naprężeń występujących w rejonie krawędzi pokładu 502 i 504 oraz na wytworzenie strefy spekań w sąsiedztwie wyrobisk przyscianowych ściany 310, na których energia

potencjalnych wysokoenergetycznych wstrząsów ulegała dyssypacji.

Wysoka skuteczność strzelań torpedujących jest uzyskiwana poprzez bezpośrednią ingerencję we wstrząsogenne warstwy piaskowca. Będący aktualnie na wyposażeniu Kopalni sprzęt wiertniczy pozwala na taką ingerencję, nawet w przypadku zalegania piaskowców w znacznych odległościach od eksploatowanego pokładu. Kapitalne znaczenie ma tutaj również zautomatyzowanie procesu ładowania MW do długich otworów strzałowych dzięki wykorzystaniu sprężonego powietrza. Stosowany z powodzeniem zautomatyzowany sposób ładowania długich otworów strzałowych zapewnia bezpieczeństwo i wysoką efektywność prowadzonych robót strzałowych.

Właściwe zaprojektowanie robót oraz zastosowane działania profilaktyczne umożliwiły bezpieczną eksploatację pokładu 507 ścianą 310. Wybranie pokładu 507 umożliwi dalszą eksploatację grubego pokładu 510 w tej części złoża, w warunkach górotworu odprężonego.

Eksploatacja pokładów węgla na dużych głębokościach i przy wysokim poziomie naprężeń pierwotnych wymaga optymalnego wykorzystania wszystkich czynników mogących zminimalizować zagrożenie tapaniami.

Literatura

Kompleksowy projekt eksploatacji pokładów zagrożonych tapaniami w PGG S.A. Oddział KWK „Bielszowice” na lata 2016-2019. SITG Katowice (niepublikowane).
NIECHWIADOWICZ J., KRZYŻOWSKI A., TOCZKA J. 2006 -

Skuteczność aktywnej profilaktyki tapaniowej w warunkach eksploatacji pokładów 504 i 502 w KWK „Bielszowice. Mat. XIII konf. Górnicze Zagrożenia Naturalne: Głębokość eksploatacji a zagrożenia naturalne. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2006, s. 240-256.

PIECHA M., PIETRZYCKI A., WOJTECKI Ł. 2015 - Profilaktyka tapaniowa podczas eksploatacji pokładu 506 ścianą 2 w KWK „Bielszowice”. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 4(248), s. 12-21.

PIECHA M., PIETRZYCKI A., WOJTECKI Ł. 2017a - Dobór profilaktyki tapaniowej w aspekcie zagrożeń skojarzonych na przykładzie eksploatacji pokładu 504wg ścianą 003 w KWK „Ruda” Ruch „Bielszowice”. Mat. International Mining Forum . Jastrzębie Zdrój, 28-30.06.2017 r.

PIECHA M., PIETRZYCKI A., WOJTECKI Ł. 2017b - Zastosowanie oraz ocena skuteczności profilaktyki tapaniowej opartej na strzelaniach torpedujących długimi otworami strzałowymi w warunkach współwy-

stępowania zagrożeń naturalnych w KWK Ruda Ruch Bielszowice, Mat. IV Polski Kongres Górniczy. Kraków, 20-22.11.2017 r.

PIETRZYCKI A., SZYMUSIAK A., WOJTECKI Ł. 2012 - Aktywna profilaktyka tapaniowa stosowana podczas eksploatacji pokładu 507 ścianą 307b w KWK „Bielszowice”. Mat. konf. Aktualne Problemy Zwalczenia Zagrożeń Górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Brenna, s. 268-278.


SZYMUSIAK A. 2007 - Pneumatyczne ładowanie długich otworów strzałowych w KWK „Bielszowice”. „Przeгляд Górnicy” nr 1, s. 32-38.

WOJTECKI Ł., KONICEK P. 2016 - Estimation of active rockburst prevention effectiveness during longwall mining under disadvantageous geological and mining conditions. Journal of Sustainable Mining, 15(1), s. 1-7. doi:10.1016/j.jsm.2016.04.003.

<http://www.nitroerg.pl/pl/produkty/emulinit-pm.html>

Artykuł wpłynął do redakcji – maj-czerwiec 2019

Artykuł akceptowano do druku – 29.11.2019




FTT WOLBROM®

Twój wypróbowany partner!

**Innowacyjna
droga
rozwoju**

www.fttwolbrom.com.pl