

## 39

# OKREŚLENIE ZASIĘGU ODDZIAŁYWANIA CIŚNIENIA EKSPLOATACYJNEGO PRZED FRONTEM ŚCIANY METODĄ PROFILOWANIA SEJSMICZNEGO

### 39.1 WSTĘP

Zjawisko tąpnięć towarzyszy podziemnej eksploatacji węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Występowanie tąpnięć jest jednym z zagrożeń naturalnych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Czynnikiem warunkującym występowanie tąpnięć są przede wszystkim: duża głębokość eksploatacji i związany z nią wysoki poziom naprężeń w górotworze, występowanie zaszczości eksploatacyjnych w pokładach sąsiednich oraz występowanie zaburzeń w zaleganiu pokładów (uskoków, fałdów itp.), w rejonie których mogą występować dodatkowe naprężenia. Wśród tąpnięć wyróżnia się następujące typy: stropowe (udarowe), pokładowe (naprężeniowe), a także mieszane, będące połączeniem dwóch poprzednio wymienionych.

Dla zwalczania zagrożenia tąpnięciami typu pokładowego i mieszanego istotne znaczenie posiada wyprzedzające określenie stref koncentracji naprężeń w eksploatowanym pokładzie węgla.

Rozkład naprężeń istniejących w górotworze oraz jego właściwości fizykomechaniczne mają swoje odzwierciedlenie w wartości prędkości fal sejsmicznych [4, 5]. Szczególnie zagrożone tąpnięciami są wyrobiska chodnikowe, występujące na wybiegu ściany. Monitoring stanu naprężeń w pokładzie węgla w sąsiedztwie takiego wyrobiska jest istotny ze względu na podjęcie wyprzedzających i adekwatnych do poziomu naprężeń działań minimalizujących zagrożenie tąpnięciami.

Prędkość podłużnej fali sejsmicznej, w oparciu o którą określa się poziom naprężeń w pokładzie węgla, w sąsiedztwie wyrobisk chodnikowych może zostać wyznaczona metodą profilowania sejsmicznego.

W artykule przedstawiono wyniki cyklicznych profilowań sejsmicznych wykonanych w pochylni odstawczej w pokładzie 510 w miarę zbliżania się do niej frontu zawałowej ściany 506 w tym samym pokładzie, przy wykorzystaniu specjalistycznej przenośnej aparatury iskrobezpiecznej PASAT-M.

W procesie interpretacji dla każdego kolejnego profilowania sejsmicznego wyznaczono prędkość podłużnej fali sejsmicznej, na podstawie której określono wartość anomalii sejsmicznej i odpowiadający jej przyrost naprężeń. Ocena stopnia zagrożenia w oparciu o prędkość fali sejsmicznej zależy w istotny sposób od głębokości miejsca pomiarowego, tzn. nawet małe anomalie prędkości zarejestrowane na dużej głębokości, przy wysokim poziomie naprężenia pierwotnego, świadczą o dużym zagrożeniu, a stosunkowo duże anomalie na małej głębokości nie muszą być równoznaczne z dużym zagrożeniem.

Dla porównania określano również zmiany współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej. Znajomość tłumienia może być przydatna dla dokładniejszego określenia właściwości mechanicznych ośrodka [12]. Parametry związane z tłumieniem fal sejsmicznych są bardziej wrażliwe na zmiany stanu naprężenia i deformacji w pokładzie węgla w porównaniu do prędkości fali podłużnej [12], co ma szczególnie duże znaczenie dla badań prowadzonych na dużych głębokościach.

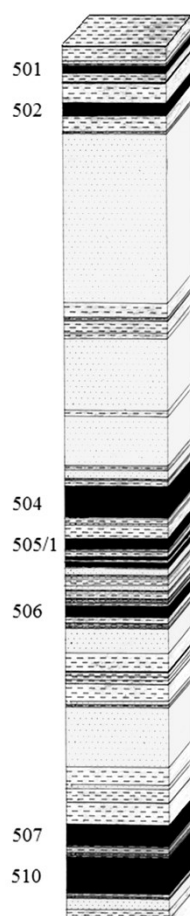
Podczas drążenia objętej badaniami pochylni, nie obserwowano jakichkolwiek oznak występowania wzrostu naprężeń w pokładzie oraz zagrożenia tąpnięciami. Po zbliżeniu się frontu ściany 506 do pochylni odstawczej, oddziaływanie ciśnienia eksploatacyjnego [1, 2, 6, 10, 11] związanego z frontem ściany 506 wpłynęło na zmianę poziomu naprężeń w pokładzie 510 w rejonie przedmiotowej pochylni.

### **39.2 WARUNKI GEOLOGICZNO-GÓRNICZE W REJONIE BADAŃ**

Badania sejsmiczne metodą profilowania, na podstawie których określono wartości prędkości oraz współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej zostały wykonane w pochylni odstawczej wydrążonej w warstwie górnej pokładu 510. Do pochylni tej systematycznie zbliżał się front ściany 506 w warstwie górnej pokładu 510, a zakończenie ściany zaprojektowano w odległości średnio około 30 m od objętej badaniami pochylni.

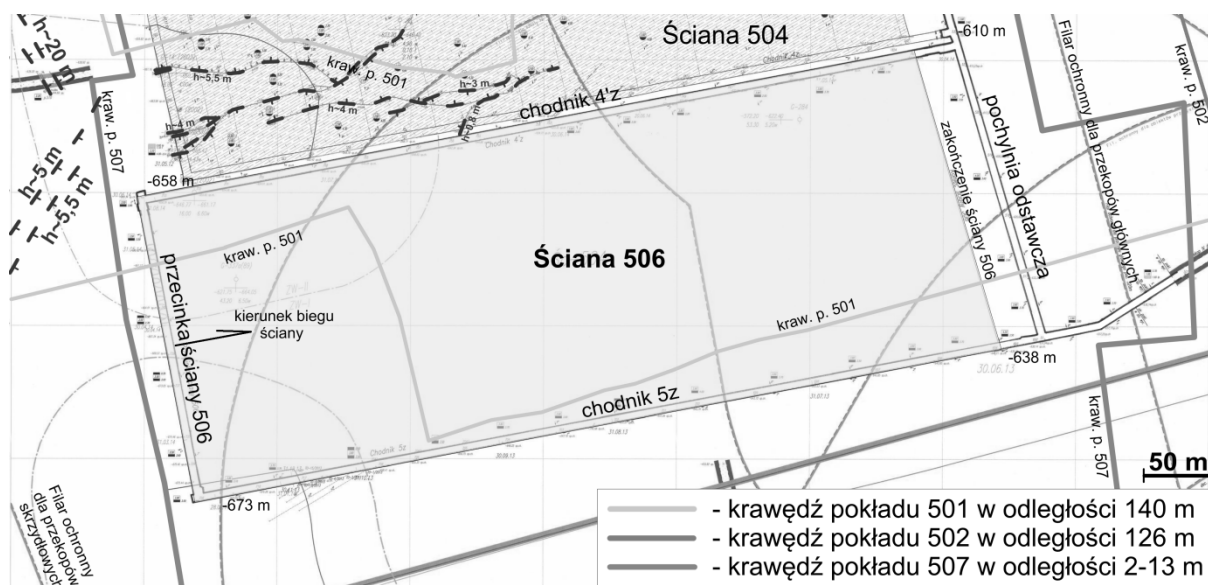
W rejonie wspomnianych wyrobisk pokład 510 zalega na głębokości 860-920 m, a jego miąższość zawiera się w przedziale 5,2-8,8 m. Strop bezpośredni pokładu 510 stanowi łupek ilasty, lokalnie zapiaszczony, miejscami przechodzący w łupek piaszczysty. Sumaryczna miąższość wymienionych skał nie przekracza 13 m. Powyżej zalega pokład 507 o miąższości około 3,8 m. W odległości od około 70 m nad pokładem 510 występują grube warstwy piaskowca o dużej wytrzymałości (dochodzącej do 80 MPa), które łącznie z występującymi między nimi warstwami łupków piaszczystych i ilastych posiadają miąższość dochodzącą do 60 m. Spąg pokładu 510 stanowi łupek ilasty oraz łupek piaszczysty, pod którymi zalega piaskowiec. Profil litologiczny w rejonie prowadzonych badań został przedstawiony na rys. 39.1.

Eksploatacja pokładu 510 ścianą 506 została rozpoczęta na wschód od filara ochronnego dla przekopów skrzydłowych, na południowy-wschód od strefy zaburzeń uskokuwych.



Rys. 39.1 Profil litologiczny w rejonie ściany 506 w pokładzie 510

Eksploracja ścianowa była następnie kontynuowana wzdłuż zrobów ściany 504 w górnym piętrze ścianowym w kierunku z zachodu na wschód (rys. 39.2). Ściana 506 kończyła swój bieg na zachód od granicy filara ochronnego dla przekopów głównych, w odległości około 30 m od pochylni odstawczej w pokładzie 510 (rys. 39.2).



Rys. 39.2 Mapa pokładu 510wg, rejon ściany 506

Zarówno ściana 506, jak i pochylnia odstawcza znajdowały się pod wybranym wcześniej pokładem 507 (rys. 39.2). W przeszłości dokonano tutaj również eksploatacji pokładu 502, zalegającego w odległości około 126 m nad pokładem 510 oraz w przeważającej większości pokładu 501, zalegającego około 140 m nad pokładem 510 (rys. 39.2).

### 39.3 CIŚNIENIE EKSPLOATACYJNE

Wskutek wybierania pokładów węgla wzdłuż określonego frontu wybierania, warstwy górotworu zalegające powyżej oraz poniżej wybieranego pokładu odkształcają się w kierunku wytwarzanej pustki, wywierając dodatkowy nacisk na pokład [10]. Spowodowane tym zjawiskiem ciśnienie górotworu określane jest mianem ciśnienia eksploatacyjnego. Powoduje ono przede wszystkim zginięcie pokładu oraz niszczenie chodników przyścianowych i nadścianowych [10]. Zjawiska te mają różne nasilenie, w zależności od warunków górniczych i geologicznych. Istnieje wiele teorii próbujących wyjaśnić przyczynę tych zjawisk oraz ich nasilenie. Jedną z nich jest teoria fali ciśnień opracowana przez W. Budryka.

Czynnikami decydującymi o wielkości naprężeń w pokładzie wywołanych ciśnieniem eksploatacyjnym są: głębokość zalegania eksploatowanego pokładu i związana z tym wielkość ciśnienia pierwotnego, wytrzymałość pokładu i skał stropowych oraz długość fali. W przypadku wytrzymałych skał stopowych wartość naprężeń jest większa, natomiast gdy w stropie pokładu występują skały łatwo załamujące się wartość naprężeń jest mniejsza. Gdy spąg i skały stropowe są podatne, długość fali wzrasta i zmniejsza się naprężenie [1].

Wzrost naprężeń przed frontem ściany, związany z występowaniem ciśnienia eksploatacyjnego w istotny sposób zwiększa ryzyko wystąpienia tąpnięcia. Skutki tąpnięć w KWK „Bielszowice” występowały głównie w chodnikach przyścianowych, przeważnie na odcinku do kilkudziesięciu metrów od frontu ściany. Określenie zasięgu oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego, a także wielkości wzrostu naprężeń jest istotne ze względu na zagrożenie tąpnięciami, umożliwia bowiem podjęcie odpowiednich profilaktycznych działań organizacyjnych np. w postaci wyznaczenia stref szczególnego zagrożenia tąpnięciami i ich parametrów.

### 39.4 METODYKA WYKONYWANIA PROFILOWANIA SEJSMICZNEGO

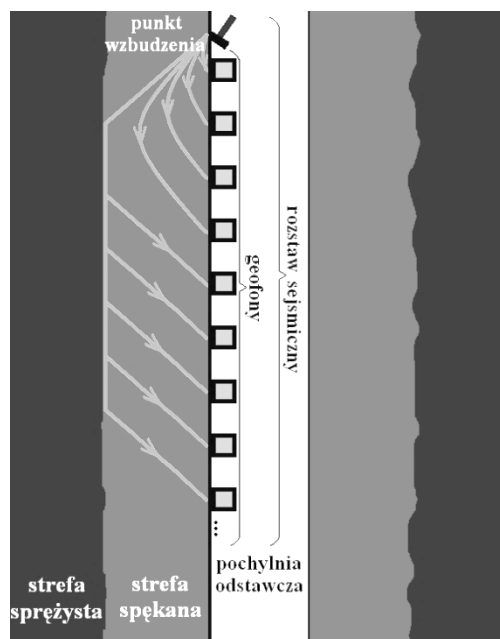
Metoda profilowania sejsmicznego jest jedną z metod geofizycznych stosowanych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny od wielu lat m. in. [4, 5, 12, 13].

W trakcie drążenia wyrobiska chodnikowego powstaje wokół niego strefa spękana. Strefa spękana cechuje się osłabioną strukturą i obniżonymi naprężeniami [4]. Strefa ta charakteryzuje się zmianą gradientu prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych. Najmniejsza wartość prędkości fali występuje przy ociosie chodnika i rośnie w miarę oddalania się od niego. Rozchodzące się w strefie spękanej fale są falami refragowanymi. Poza strefą spękaną występuje strefa sprężysta, tj. nienaruszona

wykonaniem wyrobiska chodnikowego. Na granicy między strefą spękaną i sprężystą występuje maksimum naprężeń obwodowych i najkorzystniejsze warunki propagacji fali refrakcyjnej [12]. W przypadku braku wyraźnej granicy refrakcyjnej wyznaczenie prędkości fali refrakcyjnej nie jest możliwe.

Profilowanie sejsmiczne w wyrobiskach chodnikowych wykonywane jest wzdłuż linii profilowej, na której instalowane są punkty wzbudzenia i odbioru. Wzbudzanie fal sejsmicznych odbywa się zazwyczaj poprzez uderzenie młotem bezpośrednio w ocios wyrobiska lub poprzez metalowy pręt. Profil sejsmiczny podzielony jest na mniejsze odcinki zwane rozstawami sejsmicznymi, w których wykonywane są podstawowe czynności pomiarowe, tj. wzbudzanie, odbiór i rejestracja fal sejsmicznych. Profilowania sejsmiczne można wykonywać w wersji z wieloma punktami wzbudzenia lub z wieloma punktami odbioru.

W objętej badaniach pochylni odstawczej w pokładzie 510 profilowania sejsmiczne były wykonywane w wersji z wieloma punktami odbioru przy wykorzystaniu aparatury sejsmicznej PASAT-M. Odbiorniki, tj. sondy geofonowe SG3 rejestrujące w paśmie częstotliwości 4,5-10000 Hz, były instalowane na metalowych kotwach zamocowanych w pokładzie węgla, w ociosie pochylni. Sonda geofonowa SG3 jest sondą dwuosiową, umożliwiającą rejestrację drgań w płaszczyźnie poziomej równoległe i prostopadle do ociosu wyrobiska pomiarowego. Stosowanie takiej sondy podczas profilowania sejsmicznego umożliwia kierunkową preferencję fali sejsmicznej podłużnej oraz poprzecznej spolaryzowanej poziomo propagujących w pokładzie węgla. W celu preferencji określonych grup falowych stosowany był również odpowiedni kierunek uderzenia, tj. dla fali sejsmicznej podłużnej poprzez pręt odchylony od kierunku prostopadłego do ociosu w kierunku sondy geofonowej, a dla fali poprzecznej poprzez pręt skierowany prostopadle do ociosu wyrobiska pomiarowego.



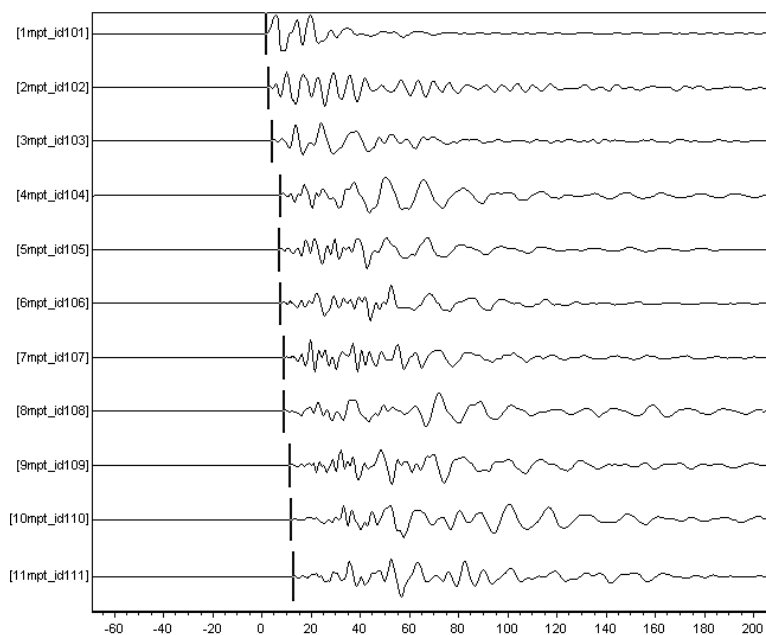
Rys. 39.3 Schemat profilowania sejsmicznego i modelu propagacji fal sejsmicznych wzdłuż ociosu objętej badaniami pochylni odstawczej w pokładzie 510 (widok z góry)

Sonda geofonowa systemu PASAT-M zaopatrzona jest we własny moduł pomiarowo-transmisyjny MPT. Inicjowanie pomiaru, jak i transmisja przetworzonych sygnałów sejsmicznych pochodzących z modułu MPT odbywa się przez moduł wyzwalania pomiarów MWP [7]. Schemat profilowania sejsmicznego wraz z modelem propagacji fal sejsmicznych wzdłuż ociosu pochylni został przedstawiony na rysunku 39.3.

W objętej badaniami pochylni odstawczej profil pomiarowy posiadał stałą lokalizację. Odległość między poszczególnymi sondami geofonowymi za każdym razem była taka sama. Wzmocnienie kanałów pomiarowych wynosiło 0 dB, a częstotliwość próbkowania 5 kHz. W celu wyeliminowania ewentualnych przypadkowych szumów stosowano wielokrotne sumowanie sygnału. Uzyskane sejsmogramy były analizowane w oprogramowaniu PASAT Seismic Signals Analysis.

### 39.5 INTERPRETACJA WYNIKÓW PROFILOWANIA SEJSMICZNEGO W WERSJI KINEMATYCZNEJ

Na podstawie odczytanych czasów pierwszych wstąpień podłużnej fali sejsmicznej i przy uwzględnieniu geometrii rozstawu sejsmicznego skonstruowano hodografy, na podstawie których wyznaczono wartości prędkości rozchodzenia się podłużnej fali sejsmicznej. Dane, które dotyczyły fali refragowanej, związanej ze strefą spękaną wokół pochylni odstawczej, wyraźnie odbiegały od głównej gałęzi hodografu związanej z falą refrakcyjną. Zasady interpretacji wyników profilowania sejsmicznego w wersji kinematycznej w wyrobiskach korytarzowych zostały szczegółowo przedstawione w literaturze [3, 4, 5]. Obraz falowy uzyskany podczas jednego z profilowań sejsmicznych w objętej badaniami pochylni przedstawiono na rysunku 39.4. Znaczniki na sejsmogramach określają pierwsze wstąpienia podłużnej fali sejsmicznej.



Rys. 39.4 Obraz falowy uzyskany podczas jednego z profilowań sejsmicznych w pochylni odstawczej w pokładzie 510

W ramach każdego z profilowań wyznaczono prędkość podłużnej fali refrakcyjnej, czyli prędkość, z jaką rozchodzi się podłużna fala sejsmiczna w strefie nienaruszonej wykonaniem wyrobiska (w strefie sprężystej).

Wzrost lub spadek poziomu naprężeń w pokładzie węgla w stosunku do poziomu naprężeń, jaki powinien w nim występować ze względu na głębokość zalegania, a także zmiany poziomu naprężeń w pokładzie węgla związane np. z oddziaływaniem ciśnienia eksploatacyjnego mogą zostać określone w oparciu o zmierzone prędkości fali podłużnej przy wykorzystaniu anomalii sejsmicznej  $A_s$ :

$$A_s = \frac{v - v_0}{v_0} 100\% \quad (39.1)$$

gdzie:

$v$  – zmierzona prędkość fali sejsmicznej  $m/s$ ,

$v_0$  – prędkość odniesienia  $m/s$ .

Prędkość odniesienia stanowi prędkość fali sejsmicznej propagującej w pokładzie węgla, w którym występują naprężenia normalne dla danej głębokości zalegania. Sposób wyznaczenia prędkości odniesienia był szeroko opisywany w literaturze m. in. [3, 4]. Prędkość odniesienia może również zostać wyznaczona in situ, w warunkach całkowitego braku oddziaływania czynników geologicznych i górniczych mogących wpływać na wzrost naprężeń w pokładzie węgla. W oparciu o anomalie sejsmiczną zostały stworzone kryteria, dzięki którym można określić charakter wzrostu naprężeń, jak i efektywność odprężenia [3, 4]. Kryteria te zostały przedstawione odpowiednio w tabelach 39.1 i 39.2.

**Tabela 39.1 Sejsmiczna skala oceny wzrostu naprężeń w warunkach kopalń GZW**

Anomalia sejsmiczna $A_s$ %	Prawdopodobny przyrost naprężeń %	Charakterystyka wzrostu naprężeń
$A_s < 5$	< 20	brak
$5 \leq A_s < 15$	20-60	słaby
$15 \leq A_s < 25$	60-140	średni
$A_s \geq 25$	> 140	duży

Źródło: [3, 4]

**Tabela 39.2 Sejsmiczna skala oceny efektywności eksploatacji odprężającej w warunkach kopalń GZW**

Anomalia sejsmiczna $A_s$ %	Prawdopodobny spadek naprężeń %	Charakterystyka efektywności odprężenia
$0 > A_s \geq -7,5$	< 25	brak
$-7,5 > A_s \geq -15$	25-55	słabe
$-15 > A_s \geq -25$	55-80	średnie
$A_s > -25$	> 80	silne

Źródło: [3, 4]

### 39.6 WYZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKA TŁUMIENIA FALI SEJSMICZNEJ METODĄ PROFILOWANIA SEJSMICZNEGO

Profilowanie sejsmiczne w wersji tłumieniowej polega na określaniu spadku amplitudy podłużnej fali sejsmicznej, propagującej po granicy między strefą spękaną i

sprężystą wraz z odległością od punktu wzbudzenia. Zanikanie amplitudy fali sejsmicznej spowodowane jest geometrycznym rozchodzeniem się fali (zwiększaniem się powierzchni frontu falowego) oraz przez to, że górotwór, w którym rozchodzi się fala nie jest ośrodkiem idealnie sprężystym (energia sejsmiczna jest rozpraszana oraz absorbowana).

Istnieje wiele mechanizmów relaksacyjnych związanych z tym, że górotwór nie jest ośrodkiem idealnie sprężystym, w wyniku których zachodzi tłumienie fali sejsmicznej. Generalnie dla fal o niskich częstotliwościach (do około 100 Hz) tłumienie uwarunkowane jest głównie lepkiem tarciem, wynikającym ze względnego ruchu medium nasycającego i szkieletu mineralnego oraz niejednorodnościami w budowie szkieletu mineralnego [8].

W przypadku pomiarów sejsmicznych w intensywnie spękaną strefie ociosowej wyrobisk chodnikowych w pokładzie węgla największy wpływ na tłumienie fal sejsmicznych ma pochłanianie związane z efektem tarcia na powierzchniach mikrospękań i rozluźnionych kontaktach międzyziarnowych [8]. Dla takiego sposobu tłumienia stan naprężeń w górotworze ma istotne znaczenie. Istotne znaczenie ma również ruch medium wypełniającego pory, szczególnie na kontaktach tego medium ze szkieletem mineralnym.

Wzrost naprężeń w strefie sprężystej, np. w rejonie krawędzi eksploatacyjnych wytworzonych w pokładach sąsiednich czy uskoków, powoduje zaciskanie porów i mikrospękań. Efektem tego jest wzrost sprężystości ośrodka, co przejawia się mniejszym tłumieniem amplitudy fali sejsmicznej [12]. Współczynnik tłumienia podłużnej fali sejsmicznej jest parametrem zdecydowanie bardziej czułym na zmiany stanu naprężeń w porównaniu do prędkości fali.

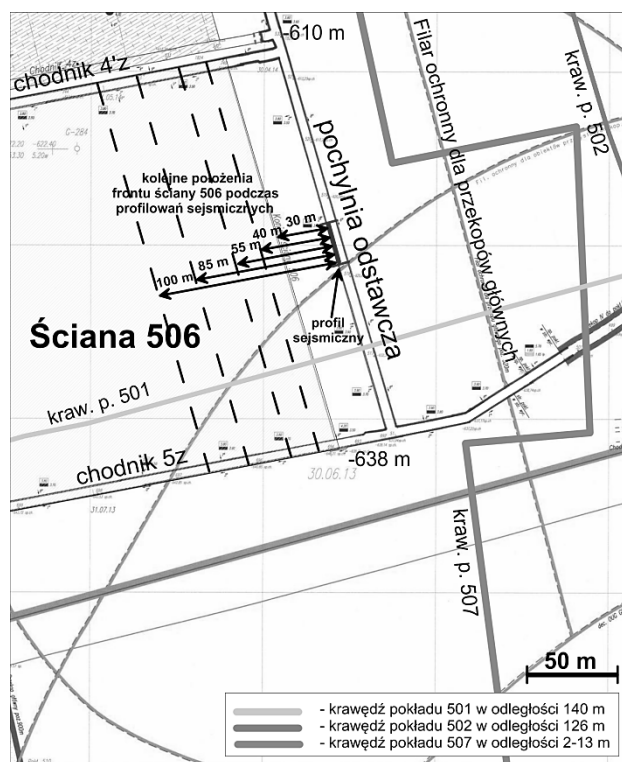
Na podstawie badań przeprowadzonych w pochylni odstawczej określono współczynnik tłumienia refrakcyjnej podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 w miarę zbliżania się ściany 506. Sposób wyznaczenia współczynnika tłumienia polegał na odczytaniu wartości amplitudy pierwszego wstąpienia fali refrakcyjnej we wszystkich kanałach, w których fala ta została zarejestrowana. Następnie uwzględniano poprawkę wielkości tłumienia amplitudy ze względu na efekt geometrycznego rozchodzenia się fali oraz wzmocnienia poszczególnych geofonów. W dalszej kolejności amplitudy te normalizowano względem największej z nich, po czym obliczano ich logarytm naturalny. Tak przygotowane dane nanoszono na wykres, w którym na osi odciętych znajdowała się odległość od punktu wzbudzenia, a na osi rzędnych logarytm naturalny znormalizowanej amplitudy fali refrakcyjnej. Współczynnik kierunkowy dopasowanej do punktów pomiarowych metodą regresji liniowej prostej stanowi współczynnik tłumienia  $\alpha$ . Metoda wyznaczenia współczynnika tłumienia w oparciu o metodę profilowania sejsmicznego została przedstawiona w literaturze [8, 9, 12].

### 39.7 WYNIKI BADAŃ

Profilowania sejsmiczne w pochylni odstawczej rozpoczęto, gdy jej odległość od frontu ściany 506 wynosiła około 100 m. Badania te miały na celu ustalenie warunków



początkowych, przy braku wpływu ciśnienia eksploatacyjnego na poziom naprężeń w pokładzie. Kolejne badania wykonywano przy wzajemnej odległości poziomej wynoszącej: 80, 55, 40 oraz 30 m. Sytuacja ta została przedstawiona na rysunku 39.5.



Rys. 39.5 Lokalizacja profilu sejsmicznego w pochylni odstawczej względem zbliżającego się frontu ściany 506 w pokładzie 510

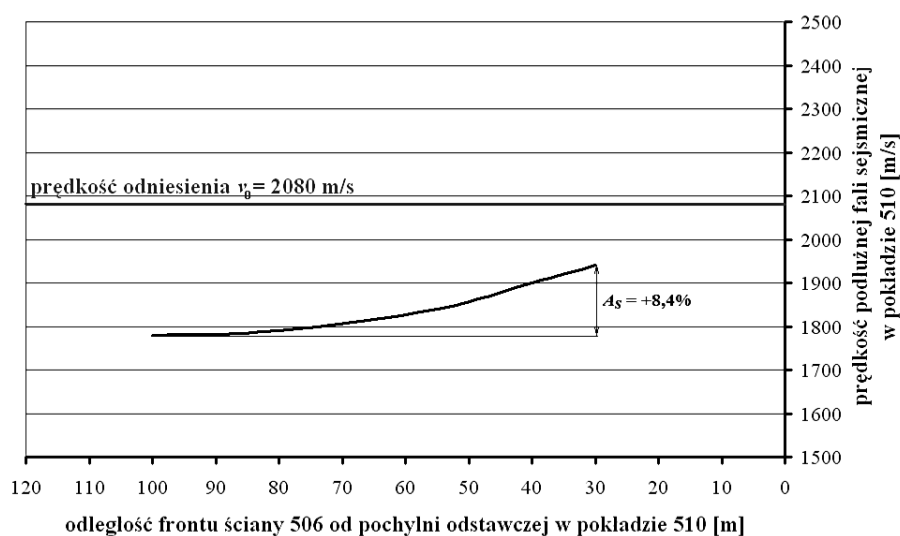
W wyniku pomiarów wykonanych w pochylni odstawczej, gdy front ściany znajdował się w odległości 100 i 80 m od niej, stwierdzono każdorazowo, że prędkość rozchodzenia się podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 wynosiła 1790 m/s. Porównując zmierzoną wartość prędkości podłużnej fali sejsmicznej z prędkością odniesienia  $v_0$ , tj. prędkością odpowiadającą naprężeniom normalnym na głębokości zalegania pokładu w rejonie prowadzonych badań, wynoszącą 2080 m/s, można stwierdzić, iż pokład 510 został w tym rejonie odprężony w wyniku dokonanej eksploatacji odprężającej w pokładzie 507.

Anomalia sejsmiczna  $A_s$  obliczona na podstawie zmierzonej prędkości podłużnej fali sejsmicznej (przy braku występowania dodatkowych naprężeń związanych z ciśnieniem eksploatacyjnym) oraz prędkości odniesienia  $v_0$  wyniosła -13,9%, co odpowiada kryterium słabego odprężenia ( $-7,5 > A_s \geq -15$ ), choć jest bardzo bliska spełnienia kryterium średniego odprężenia ( $-15 > A_s \geq -25$ ). Kryterium słabego odprężenia odpowiada prawdopodobny spadek naprężeń w zakresie 25-55% (tabela 39.2).

Prędkość podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej, gdy front ściany 506 znajdował się od niej w odległości 55 m, wyniosła 1840 m/s. Przyjmując teraz za prędkość odniesienia prędkość podłużnej fali sejsmicznej przy

braku oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego, tj. prędkość zmierzona podczas pierwszych dwóch pomiarów, przy odległości frontu ściany 506 od pochylni odstawczej wynoszącej 100 i 80 m, czyli 1790 m/s oraz uwzględniając zmierzona prędkość podłużnej fali sejsmicznej 1840 m/s, anomalia sejsmiczna wyniosła +2,8%. Ponieważ anomalia sejsmiczna jest mniejsza niż 5%, oznacza to prawdopodobny przyrost naprężeń na poziomie mniejszym niż 20% (tabela 39.1).

Kolejne pomiary wykonane przy odległościach frontu ściany 506 od pochylni odstawczej wynoszących 40 i 30 m wykazały dalszy wzrost prędkości podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej. Prędkość podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 przy odległości frontu ściany 506 od pochylni odstawczej wynoszącej 40 m wyniosła 1900 m/s, a przy odległości 30 m – 1940 m/s. Wartości anomalii sejsmicznej obliczone w oparciu o wymienione wartości prędkości podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 oraz o prędkość podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 przy braku oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego (tj. 1790 m/s), wyniosły odpowiednio +6,1% oraz +8,4% (rys. 39.6). Według sejsmicznej skali oceny wzrostu naprężeń oznacza to prawdopodobny wzrost naprężeń w zakresie 20-60% w stosunku wartości początkowej (tabela 39.1).



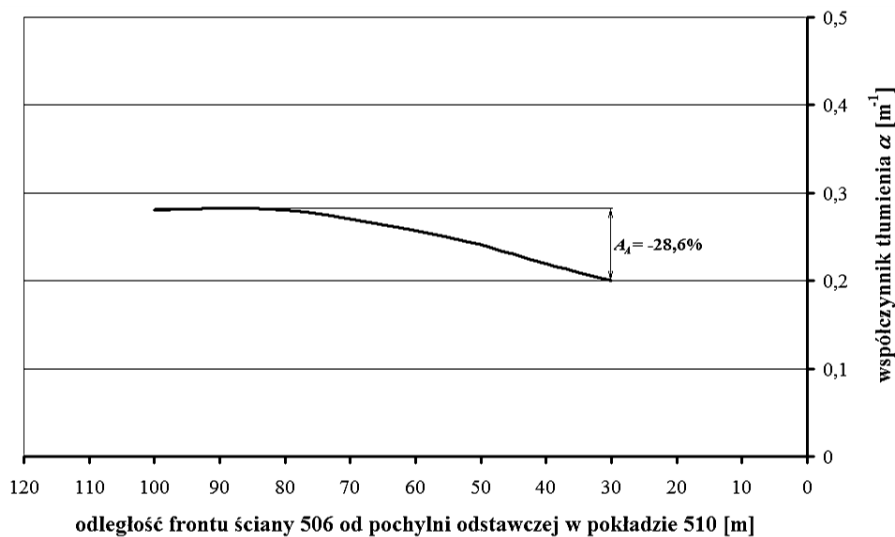
**Rys. 39.6** Zmiana prędkości podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej w miarę zbliżania się do frontu ściany 506

Pomimo oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego na poziom naprężeń w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej stwierdzonego wyraźnie w trakcie ostatnich dwóch pomiarów, prędkości podłużnej fali sejsmicznej były w dalszym ciągu mniejsze niż wynikałoby to z głębokości zalegania pokładu 510, tj. były mniejsze od prędkości odniesienia  $v_0$  (rys. 39.6). Poziom naprężeń w pokładzie 510 był zatem nadal niższy niż poziom naprężeń wynikający z głębokości zalegania pokładu 510 w rejonie badań. Zaznaczał się tutaj w dalszym ciągu efekt odprężenia związany z dokonaną eksploatacją odprężającą w pokładzie 507.

W związku z tym, że profilowania sejsmiczne w pochylni odstawczej były wykonywane w wersji z wieloma punktami odbioru, możliwe było również określenie zmian współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 podczas zbliżania się do przedmiotowej pochylni frontu ściany 506. Podobnie jak w przypadku wyznaczania prędkości podłużnej fali sejsmicznej, również tutaj podczas dwóch pierwszych pomiarów, tj. gdy odległość frontu ściany 506 od pochylni odstawczej wynosiła 100 i 80 m, wartość współczynnika tłumienia była taka sama i wyniosła każdorazowo  $0,28 \text{ m}^{-1}$ . Wartość ta jest raczej niska i również świadczy o odprężeniu pokładu 510 eksploatacją odprężającą dokonaną w pokładzie 507. Wartość współczynnika tłumienia  $\alpha = 0,28 \text{ m}^{-1}$  przyjęto jako wartość odniesienia  $\alpha_0$  dla porównania z wynikami kolejnych pomiarów, przy zbliżającym się froncie ściany 506.

Podczas kolejnego pomiaru wykonanego przy wzajemnej odległości frontu ściany 506 i pochylni odstawczej wynoszącej 55 m, stwierdzono spadek wartości współczynnika tłumienia do wartości  $\alpha = 0,25 \text{ m}^{-1}$ . Anomalia tłumienia  $A_A$  określona w analogiczny sposób jak anomalia sejsmiczna  $A_s$  i przy uwzględnieniu wartości odniesienia  $\alpha_0 = 0,28 \text{ m}^{-1}$  wyniosła dla tego pomiaru  $-10,7\%$ .

Zbliżanie się frontu ściany 506 do pochylni odstawczej wiązało się z dalszym spadkiem współczynnika tłumienia w pokładzie 510 w rejonie przedmiotowej pochylni (rys. 39.7). Uzyskane w wyniku profilowań sejsmicznych wartości współczynnika tłumienia, gdy front ściany 506 znajdował się w odległościach 40 i 30 m wyniosły odpowiednio  $0,22 \text{ m}^{-1}$  oraz  $0,20 \text{ m}^{-1}$ . Anomalie tłumienia określone względem poziomu początkowego, tj. przy braku oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego wyniosły dla tych pomiarów odpowiednio  $A_A = -21,4\%$  oraz  $A_A = -28,6\%$  (rys. 39.7).



Rys. 39.7 Zmiana współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej w miarę zbliżania się do niej frontu ściany 506

### 39.8 PODSUMOWANIE

W oparciu o cykliczne badania sejsmiczne metodą profilowania wykonywane w pochylni odstawczej w pokładzie 510, zostały określone zmiany prędkości rozchodzenia

się oraz współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510, w miarę zbliżania się do niej frontu ściany 506. Badania te były możliwe do wykonania ze względu na konfigurację wyrobisk (równoległość pochylni odstawczej i frontu ściany 506) oraz zaprojektowane zakończenie biegu ściany 506 w dość bliskiej odległości od pochylni odstawczej (około 30 m).

W oparciu o wykonane profilowania sejsmiczne zaobserwowano, że w miarę zbliżania się frontu ściany 506 pokład węgla w rejonie pochylni odstawczej cechował się coraz większą prędkością rozchodzenia się oraz coraz mniejszym współczynnikiem tłumienia podłużnej fali sejsmicznej. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że parametry te uległy wyraźnej zmianie podczas trzeciego profilowania sejsmicznego, czyli gdy wzajemna odległość frontu ściany 506 i pochylni odstawczej wynosiła 55 m. Analizując wykresy zmienności prędkości oraz współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej w funkcji odległości od tego wyrobiska frontu ściany 506 (rys. 39.6 i rys. 39.7), można jednak stwierdzić, że oddziaływanie ciśnienia eksploatacyjnego na poziom naprężeń w pokładzie 510 rozpoczęło się przy wzajemnej odległości frontu ściany 506 i pochylni odstawczej wynoszącej już około 70 m. W porównaniu do pomiarów przeprowadzonych podczas eksploatacji w górnym piętrze ścianowym, gdzie zmiany parametrów sprężystości pokładu 510, związane z oddziaływaniem ciśnienia eksploatacyjnego zaobserwowano już przy odległości frontu ściany wynoszącej około 90 m [14], zasięg oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego w przypadku ściany 506 jest krótszy. Biorąc pod uwagę podobną głębokość eksploatacji tego samego pokładu, podobne parametry skał otaczających pokład, a także podobne parametry obydwu ścian (długość, postęp), różnicę w zasięgu oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego można wiązać ze skutecznością dokonanej eksploatacji odprężającej w pokładzie 507. Eksploatacja pokładu 507 nad ścianą 506, w rejonie badań była prowadzona w 2008 roku. Dla porównania eksploatacja pokładu 507 nad pokładem 510 w rejonie poprzednich badań dla ściany 504, tj. w górnym piętrze ścianowym, miała miejsce w 1998 roku.

Oddziaływanie ciśnienia eksploatacyjnego na poziom naprężeń w pokładzie 510 przed frontem ściany 506 zostało stwierdzone w oparciu o przeprowadzone profilowania sejsmiczne. Poziom naprężeń w pokładzie 510, z uwagi na efekt odprężenia dokonanej eksploatacją w pokładzie 507, był jednak w dalszym ciągu niższy niż wynikałoby to z głębokości zalegania pokładu 510. W tym znaczeniu wzrost naprężeń w pokładzie 510 nie spowodował znaczącego wzrostu zagrożenia tąpnięciami. Wyniki badań korelują się w pełni z obserwowanym brakiem zagrożenia tąpnięciami w rejonie ściany 506 na jej końcowym wybiegu. Nie zaobserwowano również zmian gabarytów obudowy pochylni odstawczej podczas zbliżania się do niej frontu ściany.

W wyniku badań przeprowadzonych w pochylni odstawczej zostało potwierdzone, że tłumienie jest parametrem bardziej czułym na zmiany naprężeniowe w pokładzie węgla w porównaniu do prędkości podłużnej fali sejsmicznej. Świadczy o tym porównanie wartości anomalii sejsmicznej i tłumienia dla pomiaru wykonanego, gdy front ściany 506 znajdował się najbliżej pochylni odstawczej. Obliczone względem

warunków początkowych wartości anomalii sejsmicznej i tłumienia wyniosły w tym przypadku co do wartości bezwzględnej odpowiednio 8,4% oraz 28,6%. Anomalia tłumienia  $A_A$  w przypadku ostatniego pomiaru była blisko 3,5 krotnie wyższa w porównaniu do anomalii sejsmicznej  $A_s$ .

Otrzymane wyniki badań sejsmicznych, mających na celu określenie zasięgu oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego przed frontem ściany, mogą okazać się przydatne przy projektowaniu stref szczególnego zagrożenia tąpnięciami w podobnych warunkach geologiczno-górnicznych.

## LITERATURA

1. M. Chudek, Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002.
2. M. Chudek, Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010.
3. J. Dubiński, Metody sejsmiki górniczej, w: Poradnik Geofizyka Górniczego. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków, t. 3, 1996, s. 13-126.
4. J. Dubiński, Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny zagrożenia wstrząsami górnictwymi w kopalniach węgla kamiennego. Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice, 1989, s. 32-37.
5. J. Dubiński, W. Konopko, Tąpnięcia. Ocena, prognozowanie, zwalczanie. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 2000, s. 198-266.
6. T. Majcherczyk, A. Szaszenko, E. Sdwiżkowa, Podstawy geomechaniki. Wydawnictwa AGH, Kraków, 2006, s. 203-218.
7. K. Oset, S. Chmielarz, A. Augustyniak, Nowe rozwiązania w dziedzinie mobilnej aparatury sejsmicznej – PASAT M. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 8/2010, s. 18-29.
8. Z. Pilecki, J. Kłosiński, Profilowanie tłumienia fali sejsmicznej w pokładzie węgla. Materiały Warsztatów z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, 2007, s. 381-393.
9. Z. Pilecki, Z. Szreder, Możliwość wykorzystania współczynnika tłumienia do oceny stanu naprężenia i deformacji za pomocą profilowań sejsmicznych w warunkach dużych głębokości. Prace Naukowe GIG, Katowice, 2007, s. 197-203.
10. Poradnik górnika, tom 2. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, s. 162-182,
11. A. Sałustowicz, Zarys mechaniki górotworu. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice, 1968, s. 105-111.
12. Z. Szreder, Z. Pilecki, J. Kłosiński, Efektywność rozpoznania oddziaływania krawędzi eksploatacyjnych metodami profilowania tłumienia oraz prędkości fali sejsmicznej. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 24, zeszyt 2/3, 2008, s. 215-226.
13. Ł. Wojtecki, G. Dzik, Profilowanie sejsmiczne ociosów chodników węglowych w wersji kinematycznej i tłumieniowej. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, 4/2012, s. 29-37.
14. Ł. Wojtecki, G. Dzik, A. Mirek, Zmiany dynamicznych modułów sprężystości pokładu węgla przed frontem ściany. Przegląd Górniczy, 1/2016, s. 57-62.

Data przesłania artykułu do Redakcji: 03.2016  
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 04.2016

Łukasz Wojtecki  
Kompania Węglowa S.A., Oddział KWK „Bielszowice”  
ul. Halemska 160, 41-711 Ruda Śląska, Polska  
e-mail: l.wojtecki@kwsa.pl

## OKREŚLENIE ZASIĘGU ODDZIAŁYWANIA CIŚNIENIA EKSPLOATACYJNEGO PRZED FRONTEM ŚCIANY METODĄ PROFILOWANIA SEJSMICZNEGO

**Streszczenie:** W wydrążonej w pokładzie 510 pochylni odstawczej zostały przeprowadzone cykliczne badania sejsmiczne metodą profilowania w trakcie zbliżania się do niej frontu zawałowej ściany 506 w tym samym pokładzie. Przeprowadzone badania umożliwiły określenie zmian prędkości oraz współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie w miarę zmniejszającej się odległości pomiędzy frontem ściany a pochylnią. W oparciu o zmierzone prędkości podłużnej fali sejsmicznej określono zmiany poziomu naprężeń w pokładzie 510. Wyznaczono odległość, przy której stwierdzono wzrost naprężeń w pokładzie 510 w rejonie pochylni odstawczej związany z oddziaływaniem ciśnienia eksploatacyjnego ściany 506. Uzyskane wyniki mogą okazać się użyteczne przy wyznaczaniu stref szczególnego zagrożenia tąpnięciami w podobnych warunkach geologiczno-górnictwowych.

**Słowa kluczowe:** ciśnienie eksploatacyjne, profilowanie sejsmiczne, zagrożenie tąpnięciami

## DETERMINATION OF THE INFLUENCE RANGE OF EXPLOITATION PRESSURE AHEAD OF LONGWALL FACE BY THE SEISMIC PROFILING METHOD

**Abstract:** Cyclic seismic investigations have been performed in the haulage inclined drift drilled in coal seam no. 510, during approaching of face of the longwall with caving no. 506 in the same coal seam. Performed investigations enabled determination the changes of velocity and attenuation coefficient of seismic P-wave in coal seam with the shortening distance between the longwall face and the inclined drift. With the use of the measured velocities of seismic P-wave, the changes of stress level in coal seam no. 510 were determined. The distance between the longwall face and the inclined drift, with the observed increase of stress level in coal seam no. 510 in the area of inclined drift due to the influence of exploitation pressure coming from longwall no. 506, has been determined. The study results should be useful to design the zones of the enhanced rockburst hazard in similar geological and mining conditions.

**Key words:** exploitation pressure, seismic profiling, rockburst hazard