

ZBIGNIEW SZREDER*, ZENON PILECKI**, JERZY KŁOSIŃSKI***

Efektywność rozpoznania oddziaływania krawędzi eksploatacyjnych metodami profilowania tłumienia oraz prędkości fali sejsmicznej

Wprowadzenie

W górnictwie węgla kamiennego metoda refrakcyjnego profilowania sejsmicznego jest wykorzystywana w ogólnym ujęciu do oceny względnego stanu naprężenia w górotworze (Dubiński 1989). Metoda ta generalnie umożliwia ilościową ocenę efektu oddziaływania różnych czynników kształtujących stan naprężenia i deformacji. Jest ona w zasadzie podstawową metodą, która pozwala ocenić wpływ oddziaływania krawędzi, resztek, uskoków itp. na układ wyrobiska z górotworem. Posiada ona ustaloną i sprawdzoną metodykę pomiarową i interpretacyjną. Wyniki uzyskiwane metodą profilowania sejsmicznego, zwłaszcza przy stosowaniu obecnej aparatury pomiarowej o dużej dynamice i specjalistycznego oprogramowania interpretacyjnego, są przydatne szczególnie w ocenach stanu zagrożenia tapaniami.

W ostatnich kilkunastu latach podejmowane są badania związane z szerszym wykorzystaniem parametrów związanych z tłumieniem fal sejsmicznych do rozwiązywania różnego rodzaju zagadnień geofizycznych. Znajomość tłumienia może być przydatna dla dokładniejszego określenia właściwości mechanicznych ośrodka. Należy również podkreślić, że zagadnienie to jest złożone, gdyż tłumienie w istotny sposób zależy od stanu naprężenia i deformacji ośrodka, jego porowatości, czy wypełnienia medium ciekłym i gazowym.

Z dotychczasowych doświadczeń z pomiarów profilowań sejsmicznych w pokładach węgla, wyznaczenie zmian współczynnika tłumienia ma tą istotną zaletę, że jest on bardziej

* Mgr inż., KWK „Jas-Mos” JSW S.A., Jastrzębie Zdrój

** Dr hab. inż., Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków; Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: pilecki@min-pan.krakow.pl

*** Mgr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków

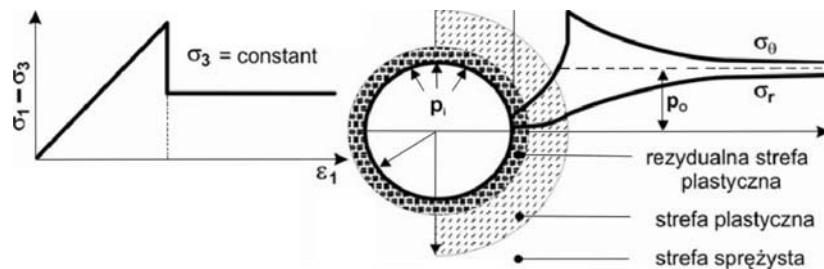
wrażliwy na zmiany stanu naprężenia i deformacji w pokładzie węgla w porównaniu do prędkości fali typu P. Wartość współczynnika tłumienia może się zmieniać się w wielokrotnie większych przedziałach procentowych w porównaniu do zmian wartości prędkości fali sejsmicznej. Zagadnienie to w warunkach eksploatacji na dużych głębokościach ma istotne znaczenie, gdyż ze wzrostem naprężenia przyrosty prędkości fali są mniejsze. Natomiast przyrosty współczynnika tłumienia ze wzrostem naprężenia maleją w mniejszym stopniu. W takich warunkach współczynnik tłumienia może być bardziej efektywnym wskaźnikiem stanu naprężenia i deformacji w porównaniu do prędkości fali sejsmicznej. Szersze omówienie tego zagadnienia można znaleźć w pracach Pileckiego i Szredera (2007) oraz Pileckiego i Kłosińskiego (2007).

W pracy przedstawiono przykład profilowania tłumienia i prędkości fali sejsmicznej typu P w pokładzie 505/2 w KWK Jas-Mos. Pokazuje on zalety i ograniczenia tego rodzaju pomiarów.

1. Model propagacji fali refrakcyjnej wzdłuż wyrobiska górniczego

Podstawowym parametrem wykorzystywanym w metodzie profilowania sejsmicznego jest prędkość fali refrakcyjnej typu P. Jest to prędkość fali propagującej wzdłuż wyrobiska, w strefie sprężystej na granicy ze strefą plastyczną. W warunkach długotrwałej współpracy górotworu z wyrobiskiem, granicę między strefami plastyczną i sprężystą można zilustrować za pomocą modelu Ladanyi'ego (1974) (rys. 1).

W strefie sprężystej na granicy ze strefą plastyczną występuje maksimum naprężeń obwodowych (rys. 1). Należy przyjąć, że w tej części strefy sprężystej występują najkorzystniejsze warunki propagacji fali refrakcyjnej (rys. 2). W praktyce granica między strefą sprężystą i plastyczną ma charakter przejściowy i propagacja fali sejsmicznej jest



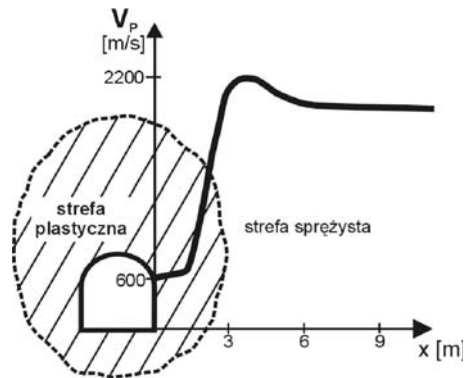
Rys. 1. Model długotrwałego zachowania się górotworu wokół wyrobiska na podstawie Ladanyi'ego (1974)

σ_1 – największe naprężenie główne, σ_3 – najmniejsze naprężenie główne, σ_θ – naprężenie obwodowe,
 σ_r – naprężenie radialne, ϵ_1 – największe odkształcenie główne, p_o – naprężenie pierwotne,
 p_i – obciążenie obudowy

Fig. 1. Model of long-term behaviour of rock mass around excavation on the basis of Ladanyi (1974)

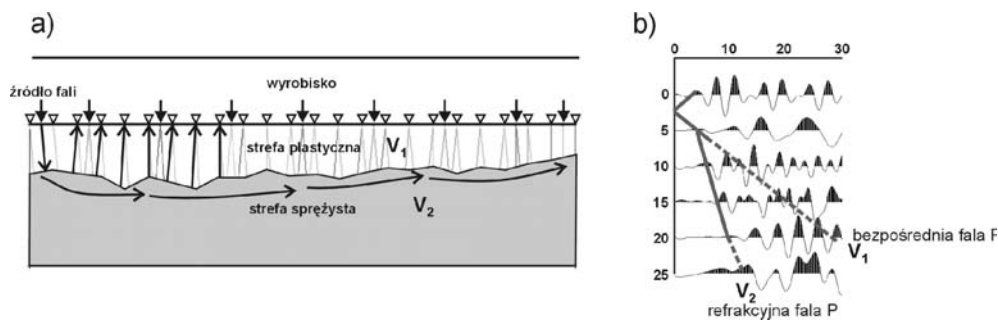
σ_1 – major principal stress, σ_3 – minor principal stress, σ_θ – tangential stress, σ_r – radial stress,
 ϵ_1 – major principal strain, p_o – virgin stress, p_i – lining load

bardziej złożona. Skomplikowany charakter pola falowego widoczny jest na rejestracjach sejsmicznych (rys. 3). Istotny wpływ na zniekształcenie obrazu falowego ma również silnie zmienna szerokość strefy plastycznej wzdłuż wyrobiska (rys. 3). Wyznaczenie w takich warunkach wejścia fali refrakcyjnej oraz jej amplitudy jest często utrudnione. Wskazują na to nierealne wyniki modelowania inwersyjnego często obserwowane przy interpretacji pomiarów profilowania sejsmicznego.



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka prędkości fali P w funkcji odległości od ociosu wyrobiska

Fig. 2. Exemplary characteristic of P – wave velocity in function of distance from excavation sidewall



Rys. 3. Sposób profilowania sejsmicznego wzdłuż ociosu wyrobiska:
(a) sposób propagacji refrakcyjnej fali; (b) przykładowy obraz falowy

Fig. 3. Seismic profiling along excavation sidewall:
(a) refraction wave propagation; (b) exemplary wave pattern

2. Podstawy teoretyczne profilowania tłumienia fali refrakcyjnej wzdłuż wyrobiska górniczego

Podstawowym celem profilowania tłumienia sejsmicznego jest ocena ilościowa zanikania amplitudy fali refrakcyjnej typu P wraz ze wzrostem odległości od źródła fali.

Przyjmując izotropowy charakter ośrodka efekt zaniku amplitudy A fali objętościowej z odległością od źródła r można opisać zależnością:

$$\frac{A(r_1)}{A(r_2)} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{-1} \cdot \exp[-\alpha(r_1 - r_2)] \quad (1)$$

gdzie:

- α – współczynnik tłumienia,
- r_1, r_2 – punkty pomiaru amplitudy wyrażone w odległościach od źródła.

W ogólnym ujęciu, obserwacja w pomiarach sejsmicznych zanikania amplitudy sygnału ze wzrostem odległości od źródła związane jest z geometrycznym rozchodzeniem się fali oraz stratami energii sejsmicznej wskutek pochłaniania i rozpraszania. Efekt geometryczny jest zjawiskiem zaniku amplitudy fali w miarę oddalania się frontu falowego od źródła w wyniku zmniejszania się gęstości energii sejsmicznej. Rozpraszanie jest efektem lokalnego rozdzielania energii sejsmicznej z zachowaniem sumarycznej wielkości na niejednorodnościach ośrodka, w wyniku którego powstają różnego rodzaju fale nazywane dyfrakcyjnymi. Pochłanianie zwane też absorpcją związane jest z lokalną stratą energii sejsmicznej wskutek różnych przemian energetycznych w ośrodku niesprężystym.

W trakcie propagacji fali sprężystej przez ośrodek, część jej energii mechanicznej jest zamieniana na ciepło (poprzez tarcie i lepkość) na granicach ziaren i mikrospękań. Problem ten szerzej opisali Winkler i Nur (1982). W trakcie jak skała podlega ścisnaniu i rozciąganiu podczas przechodzenia przez nią fali sejsmicznej, medium ciekłe i gazowe wypełniające pory i mikropęknięcia przemieszcza się w sposób wymuszony. Na zmniejszanie się amplitudy fali ma wpływ ruch medium, zwłaszcza na granicach kontaktowych z elementami szkieletu ośrodka skalnego. Amplitudy fal o wyższych częstotliwościach ulegają większemu zanikowi ze względu na bardziej intensywne drgania.

Prawdopodobnie największy wpływ na tłumienie amplitudy fal sejsmicznych ma efekt pochłaniania energii sejsmicznej związany z tarciami na powierzchniach mikrospękań i rozluźnionych kontaktach międzyziarnowych na drodze propagacji fali sejsmicznej. W takich warunkach istotny wpływ na efekt działających sił tarcia mają naprężenia wtórne, związane z wykonaniem wyrobiska górniczego oraz innymi czynnikami jak oddziaływanie krawędzi eksploatacyjnych, różnych form tektonicznych, zawodnienie itp. Wzrost naprężeń w strefie sprężystej powoduje zaciskanie porów i mikronieciągłości i w efekcie wzrost sprężystości ośrodka i mniejsze tłumienie amplitudy fali sejsmicznej. W strefie plastycznej proces ten jest bardziej złożony i zależy od stopnia wyęźnienia ośrodka.

Można przyjąć, że dla fal płaskich w pokładzie węgla zanikanie amplitudy jest łącznym efektem pochłaniania i rozpraszania energii sejsmicznej i ma charakter wykładniczy w funkcji odległości:

$$A(r) = A_0 e^{-\alpha r} \quad (2)$$

gdzie:

- A – amplituda w odległości r od źródła,
- A_0 – amplituda źródła,
- α – współczynnik tłumienia (posiada wymiar 1/m).

Wyznaczenie współczynnika tłumienia α w ośrodku niejednorodnym jest trudne ze względu na skomplikowane pole falowe w strefie plastycznej w bezpośrednim otoczeniu wyrobiska górniczego. W takim ośrodku może powstawać wiele rodzajów fal: bezpośrednie, odbite, dyfrakcyjne, refrakcyjne, czy kanałowe. Dla obliczeń współczynnika tłumienia α w przyjętej metodyce profilowania należy wydzielić falę refrakcyjną typu P.

3. Założenia metodyczne profilowania tłumienia sejsmicznego

3.1. Metodyka pomiarowa

W zależności od warunków propagacji fali refrakcyjnej w pokładzie węgla w dostosowaniu do energii źródła fali długość rozstawów może osiągać do 115 m dla 24 czujników. Odstęp między geofonami należy przyjąć od 2 do 5 m w zależności od możliwości identyfikacji fali refrakcyjnej. Falę sejsmiczną wzbudza się za pomocą udaru 5 kg młotem. Dla wzmocnienia sygnału i ograniczenia szumu należy stosować co najmniej 7-krotne składanie. Nawet na dłuższych odcinkach rejestracje są czytelne w przypadku niskiego poziomu tła sejsmicznego i dużych wzmocnień aparatury rzędu ponad 100 dB. Geofony można instalować w różny sposób, przy czym kontakt z górotworem ma zapewnić wyraźne i niezniekształcone wejścia fal refrakcyjnych. Czujniki zamocowane na krótkich, około 40 cm długości kotwiach, w strefie nieodspojonej, zapewniają wystarczająco przydatne dla interpretacji obrazy falowe. Czas rejestracji i próbkowanie sygnału należy każdorazowo testować w konkretnym rejonie pomiarowym. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń sugeruje się dobór próbkowania z taktom 0,125 ms i czas rejestracji 0,5 sekundy.

3.2. Metodyka interpretacji

Obliczenia wartości współczynnika tłumienia polegają na:

- odczytaniu maksymalnej wartości amplitudy fali refrakcyjnej na kolejnych trasach na wybranym odcinku profilowania tzw. odcinku referencyjnym. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń, amplitudy do obliczeń należy przyjąć w punktach rejestracji na odcinku referencyjnym o długości do 15 m od punktu wzbudzania fali, z pominięciem punktu rejestracji najbliższej położonego źródła fali,
- znormalizowaniu maksymalnych amplitud względem największej wartości,
- graficznym zestawieniu danych, w układzie logarytm naturalny znormalizowanej amplitudy fali P tj. A_P w funkcji odległości od źródła $\ln(A_P/A_{Pmax})$,

- obliczenie współczynnika kierunkowego uśrednionych liniowo punktów pomiarowych, który jest współczynnikiem tłumienia α ,
- przyporządkowaniu wartości obliczonego współczynnika tłumienia do środka odcinka referencyjnego.

Obliczone wartości współczynnika tłumienia na całej długości profilu dla każdego punktu wzbudzenia fali najkorzystniej jest przedstawić graficznie z uwzględnieniem potencjalnych czynników geologicznych i górniczych zaburzających stan naprężenia i deformacji w rejonie pomiarowym.

Dla refrakcyjnej fali obliczono również średnią częstotliwość, która posłużyła do określenia współczynnika dobroci. Średnią częstotliwość obliczono na podstawie czasu trwania trzech okresów, licząc od wejścia fali, przy niezakłóconym zapisie. Współczynnik dobroci Q obliczony jest ze wzoru:

$$Q = \frac{\pi f}{\alpha V_p} \quad (3)$$

gdzie:

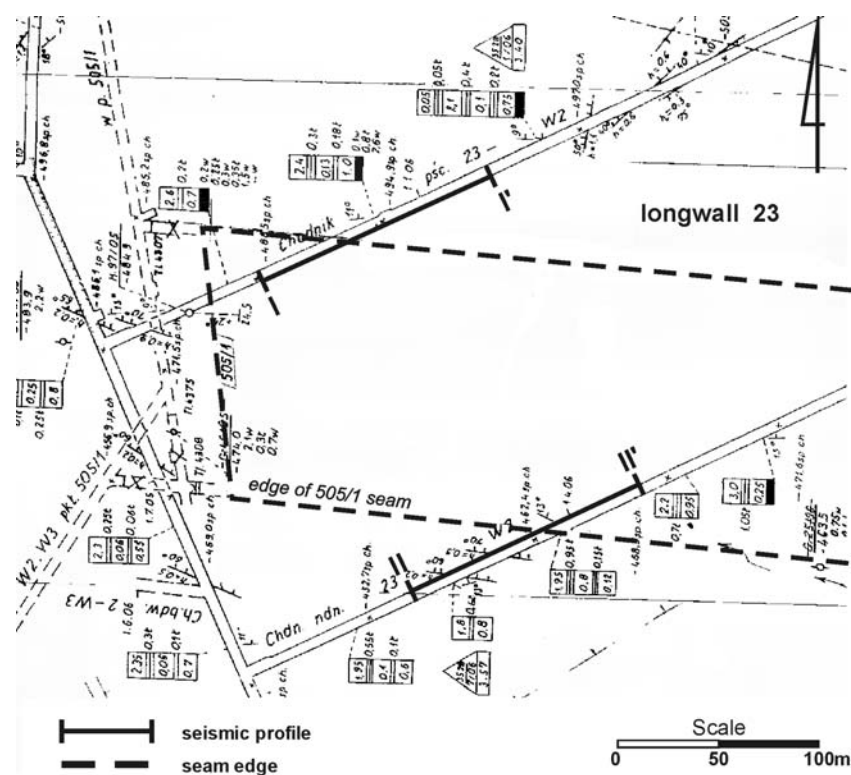
- f – częstotliwość fali refrakcyjnej [Hz],
- α – współczynnik tłumienia [1/m],
- V_p – prędkość refrakcyjnej fali typu P w caliznie [m/s].

Profilowanie prędkości refrakcyjnej wykonuje się zgodnie z metodą J. Dubińskiego (1989) uaktualnioną w pracy Dubińskiego i Konopki (2000). Metodyka interpretacji tego profilowania została udoskonalona poprzez zastąpienie prostoliniowych granic refrakcyjnych granicami nieliniowymi (np. Tor i in. 2006). W etapie interpretacji przyjmuje się dwuwarstwowy model ośrodka zbudowany ze strefy spękań oraz calizny. Do obliczenia modelu prędkościowego i zasięgu strefy plastycznej wykorzystuje się metodę czasu wzajemnego (ang. *Reciprocal Traveltimes Method*). Korekty modelu dokonuje się metodą analizy odwrotnej. Poprzez zmianę położenia granic sejsmicznych modelu dopasowuje się hodografy obliczone do obserwowanych. Dokładność obliczeń weryfikuje się poprzez minimalizację średniego błędu kwadratowego.

4. Przykład profilowania tłumienia i prędkości fali sejsmicznej w rejonie ściany 23 w pokładzie 505/2 w KWK Jas-Mos

4.1. Lokalizacja i zakres badań

Pomiary sejsmiczne przeprowadzono w chodnikach ścianowych ściany 23 w pokładzie 505/2 w partii W2 na głębokości 680–780 m (rys. 4). W każdym chodniku ścianowym wykonano profile o długości 115 m w sumie 230 mb profili sejsmicznych. Profile



Rys. 4. Szkic sytuacyjny z rejonu pomiarów profilowania sejsmicznego z zaznaczeniem położenia profili w rejonie ściany 23 w pokładzie 505/2 w KWK Jas-Mos

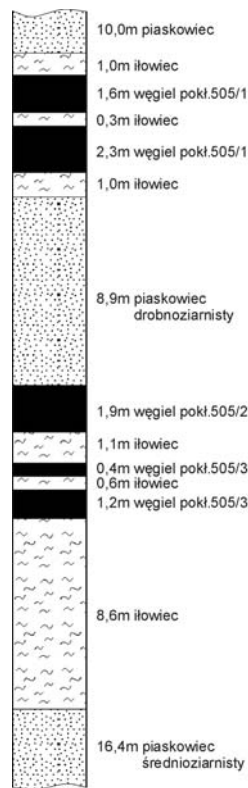
Fig. 4. Scheme of seismic profiling surveys with indicated location of seismic profiles in the region of longwall no 23 area, seam 505/2 in Jas-Mos coal mine

zostały zlokalizowane w rejonie oddziaływania krawędzi pokładu 505/1 wytworzonej w roku 2001.

4.2. Warunki geologiczne i górnicze w rejonie pomiarów

Pokład 505/2 posiada średnią grubość około 1,9 m (rys. 5). Średnia wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie węgla pokładu 505/2 wynosi $R_c = 9,2$ MPa. W bezpośrednim stropie pokładu 505/2 występuje warstwa piaskowca o grubości 8,9 m i wytrzymałości na ściskanie $R_c = 76,1\text{--}78,3$ MPa. Lokalnie bezpośrednio w stropie występuje iłowiec zapiaszczony przechodzący w mułowiec o wytrzymałości na ściskanie $R_c = 51,58$ MPa. W spągu pokładu 505/2 występuje iłowiec lokalnie zapiaszczony o wytrzymałości na ściskanie $R_c = 36,61$ MPa, a poniżej w odległości 2,0 do 4,0 m pokład 505/3.

W rejonie pomiarów występują krawędzie eksploatacyjne w pokładach nadległych. Najbliższej pokładu 505/2 położona jest krawędź pokładu 505/1 (o grubości ok. 2,3 m) w odległości od 8 do 12 m.



Rys. 5. Przykładowy profil geologiczny z rejonu W-2 w KWK Jas-Mos

Fig. 5 Exemplary geological profile from W-2 area in Jas-Mos coal mine

4.3. Wyniki profilowań sejsmicznych i ich analiza

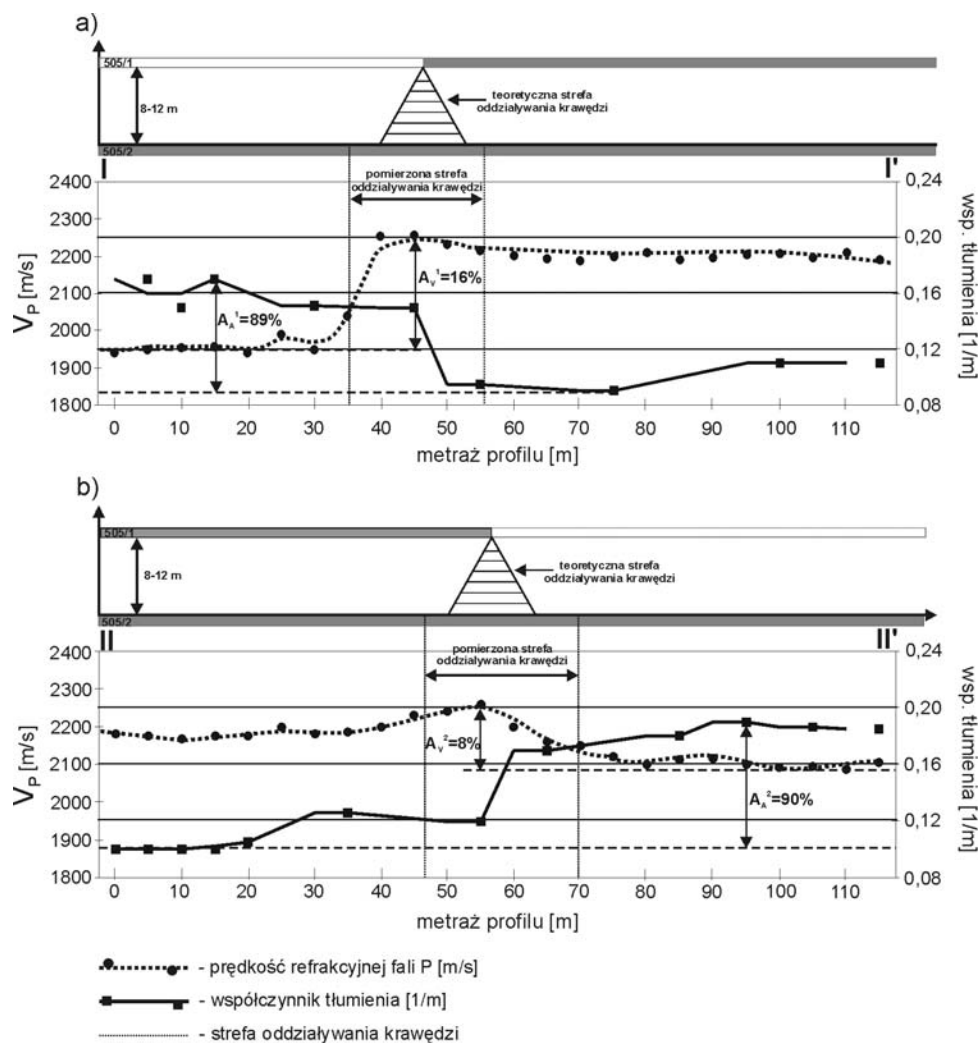
Na rysunku 6 przedstawiono wykres zmian prędkości refrakcyjnej fali P oraz współczynnika tłumienia na obu profilach I-I' i II-II' wraz z zaznaczoną sytuacją górnictw w rejonie ściany 23 w pokładzie 505/2.

Profil I-I'

Współczynnik tłumienia fali sejsmicznej przyjmuje wartości od $0,09 \text{ m}^{-1}$ do $0,17 \text{ m}^{-1}$ (rys 6a). Zakres względnych zmian wartości tego współczynnika wynosi $A_A^1 = 89\%$. Najwyższe wartości współczynnika tłumienia przyjmuje pod zrobami pokładu 505/1 na odcinku profilu od 0 do 45 m. Natomiast wartości najniższe na odcinku pod calizną pokładu 505/1, praktycznie od krawędzi tego pokładu (45–115 m profilu).

Prędkości refrakcyjnej fali P na profilu zmieniają się od 1940 m/s do 2260 m/s . Zakres względnych zmian wartości pomierzonych prędkości wynosi $A_V^1 = 16\%$. Prędkości fali posiada najwyższe wartości pod calizną pokładu 505/1, a najniższe pod zrobami tego po-

kładu. W strefie oddziaływania krawędzi, w obu przypadkach prędkości fali i współczynnika tłumienia, zachodzi stosunkowo gwałtowna zmiana gradientu ich wartości. Szerokość tej strefy wynosi około 20 m na odcinku od około 35 do 55 m. Strefa pomierzonego oddziaływania krawędzi 505/1 jest szersza od strefy teoretycznego zasięgu oddziaływania tej krawędzi. Prawdopodobnie jedną z głównych przyczyn jest zanikanie wielkości oddziaływania krawędzi przy zwiększaniu się jego zasięgu z upływem czasu.



Rys. 6. Profilowanie sejsmiczne zmian prędkości oraz współczynnika tłumienia refrakcyjnej fali P, w strefie oddziaływania krawędzi pokładu 505/1 w chodnikach ścianowych dla ściany 23 pokładzie 505/2 w KWK Jas-Mos: a) profil I-I' w chodniku podścianowym b) profil II-II' w chodniku nadścianowym

Fig. 6. Seismic profiling of changes of refracted P-wave velocity and attenuation coefficient in the influence zone of coal seam 505/1 edge in drifts for longwall no 23 in coal seam 505/2 in Jas-Mos coal mine: a) seismic profile I-I', b) seismic profile II-II'

Na profilu I-I' częstotliwości fali refrakcyjnej zmieniają się pod zrobami pokładu 505/1 od 85 Hz do 125 Hz (średnia arytmetyczna wynosi 101 Hz), natomiast pod calizną pokładu 505/1 zmieniają się od 87 Hz do 148 Hz (średnia wynosi 117 Hz). Obliczony współczynnik dobroci Q zmienia się od 0,94 do 1,22 pod zrobami pokładu 505/1 (średnia wynosi 1,1), natomiast pod calizną pokładu 505/1 współczynnik dobroci Q zmienia się od 1,53 do 1,86 (średnia wynosi 1,7). Względna zmiana średnich współczynników dobroci wynosi 35%.

Profil II-II'

Charakter zmian prędkości refrakcyjnej fali P i współczynnika tłumienia jest analogiczny jak na profilu I-I'. Zakres zmian współczynnika tłumienia jest niemal identyczny od $0,10 \text{ m}^{-1}$ do $0,19 \text{ m}^{-1}$ ($A_A^2 = 90\%$).

Natomiast w przypadku prędkości fali zakres zmian jest mniejszy od 2090 do 2260 m/s ($A_V = 8\%$). Pomierzony zasięg oddziaływania krawędzi wynosi około 20 m na odcinku profilu od około 45 m do 65 m. Zasięg ten również jest większy od zasięgu teoretycznego oddziaływania krawędzi 505/1.

Podsumowując uzyskane wyniki należy stwierdzić, że w warunkach odprężenia pokładu węgla zrobami nadległego pokładu współczynnik tłumienia przyjmuje względnie wysokie wartości. Odprężenie powoduje zmniejszenie naprężeń i w efekcie otwarcie się różnego rodzaju spękań oraz większą swobodę ruchu cieczy i gazów w strukturze porowej pokładu węgla. Zwiększa się udział zachowania plastycznego w strefie sprężytej. Czynniki te powodują większe tłumienie energii fal sejsmicznych. W takich warunkach prędkość propagacji fali sejsmicznej jest mniejsza.

Strefa oddziaływania krawędzi pokładu powoduje gwałtowne zmiany wartości prędkości fali i współczynnika tłumienia. Gradient tych zmian zależy od wielkości obciążeń generowanych przez krawędź i jest silnie zależny od wielu parametrów takich jak: odległość od pokładu, w którym dokonano pomiaru, grubości pokładu „z krawędzią”, czy czasu jaki upłynął od jego eksploatacji.

Na profilu II-II' częstotliwości fali refrakcyjnej zmieniają się pod zrobami pokładu 505/1 od 114 Hz do 167 Hz (średnia arytmetyczna wynosi 134 Hz), natomiast pod calizną pokładu 505/1 częstotliwości fali refrakcyjnej zmieniają się od 109 Hz do 208 Hz (średnia wynosi 149 Hz). Natomiast współczynnik dobroci Q zmienia się od 1,00 do 1,21 pod zrobami pokładu 505/1 (średnia wynosi 1,10), natomiast pod calizną pokładu 505/1 współczynnik dobroci Q zmienia się od 1,68 do 2,12 (średnia wynosi 1,97). Względna zmiana średnich współczynników dobroci wynosi 44%.

Podsumowanie

Profilowanie tłumienia sejsmicznego podobnie jak i prędkości fali sejsmicznej w pokładach węgla charakteryzuje stan naprężenia i deformacji w ośrodku. Na podstawie dotychczasowych doświadczeń należy stwierdzić, że zakres względnych zmian współczynnika

tłumienia jest zdecydowanie większy od zakresu względnych zmian prędkości refrakcyjnej fali typu P. Wynika to z większej wrażliwości amplitudy fali sejsmicznej na zmiany naprężenia i deformacji w ośrodku w porównaniu do prędkości fali sejsmicznej obliczanej na podstawie czasu pierwszego wejścia fali. Obliczone w warunkach pomiarowych współczynniki dobroci dla średnich częstotliwości fali typu P podobnie wykazują kilkudziesięcioprocentowe względne zmiany.

Profilowania tłumienia sejsmicznego wymagają starannego instalowania czujników w taki sposób, aby warunki rejestracji fali sejsmicznej były porównywalne w każdym punkcie pomiarowym. W obliczeniach współczynnika tłumienia należy unikać wpływu pola bliskiego w sąsiedztwie punktu wzbudzenia fali.

Przedstawione zagadnienie wymaga dalszych badań, a zwłaszcza zebrania doświadczeń w różnych warunkach geologicznych i górniczych.

LITERATURA

- Dubiński J., 1989 – Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego. Prace GIG, Seria dodatkowa. Katowice.
- Dubiński J., Konopko W., 2000 – Tąpnięcia – ocena, prognoza, zwalczanie. Wyd. GIG, Katowice.
- Ladanyi B., 1974 – Use of the long-term strength concept in the determination of ground pressure on tunnel linings. Proc. of the Third Congress of the Int. Soc. for Rock Mech., Denver, vol. II part B, 1150–1156.
- Pilecki Z., Szreder Z., 2007 – Możliwości wykorzystania współczynnika tłumienia do oceny stanu naprężenia i deformacji za pomocą profilowań sejsmicznych w warunkach dużych głębokości. Prace Naukowe GIG, Nr IV/2007, wydanie specjalne, 197–203.
- Pilecki Z., Kłosiński J., 2007 – Profilowanie tłumienia fali sejsmicznej w pokładzie węgla Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. Miesięcznik WUG 6 (154), 56–58.
- Tor A., Chmiel P., Pilecki Z., Jakubów A., Skatuła R., Szreder Z., Kłosiński J., 2006 – Kontrola efektywności strzałów torpedujących za pomocą profilowań sejsmicznych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. Miesięcznik WUG 6 (142), 62–64.
- Winkler K.W., Nur A., 1982 – Seismic attenuation: effects of pore fluids and frictional sliding. Geophysics 47, 1–15.

EFEKTYWNOŚĆ ROZPOZNANIA ODDZIAŁYWANIA KRAWĘDZI EKSPLOATACYJNYCH METODAMI PROFILOWANIA TŁUMIENIA ORAZ PRĘDKOŚCI FALI SEJSMICZNEJ

Słowa kluczowe

Sejsmika górnicza, profilowanie tłumienia, profilowanie prędkości fali sejsmicznej

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienie efektywności profilowania tłumienia oraz prędkości refrakcyjnej fali sejsmicznej typu P w pokładzie węgla wzdłuż wyrobiska chodnikowego w warunkach oddziaływania nadległej krawędzi wyeksploatowanego pokładu. Profilowanie zmian prędkości fali refrakcyjnej wykonano zgodnie ze stosowaną w tym zakresie metodyką. Dla potrzeb praktycznego wykorzystania profilowania tłumienia opracowano specjalną metodykę pomiarową i interpretacyjną. Profilowania tłumienia sejsmicznego wymagają

starannego instalowania czujników w taki sposób, aby warunki rejestracji fali sejsmicznej były porównywalne w każdym punkcie pomiarowym. W obliczeniach współczynnika tłumienia należy unikać wpływu pola bliskiego w sąsiedztwie punktu wzbudzenia fali. Miarą obliczanego tłumienia jest wartość współczynnika tłumienia wyznaczonego z amplitudy fali refrakcyjnej typu P. W pracy omówiono przykłady zmian współczynnika tłumienia i prędkości fali refrakcyjnej w strefach oddziaływania krawędzi eksploatacyjnej. Podkreślono przydatność współczynnika tłumienia do tego rodzaju analiz ze względu na jego dużą wrażliwość na zmiany stanu naprężenia i deformacji w pokładzie węglowym w porównaniu do prędkości fali refrakcyjnej typu P. Wartość współczynnika tłumienia może się zmieniać się w wielokrotnie większych przedziałach procentowych w porównaniu do zmian wartości prędkości fali sejsmicznej. Zagadnienie to w warunkach eksploatacji na dużych głębokościach ma istotne znaczenie, gdyż ze wzrostem naprężenia przyrosty prędkości fali są mniejsze. Natomiast przyrosty współczynnika tłumienia ze wzrostem naprężenia maleją w mniejszym stopniu. Pokazano, że tłumienie może być interesującym parametrem uzupełniającym pomiar refrakcyjnej prędkości fali w pokładzie węgla, zwłaszcza w warunkach dużych naprężeń.

EFFECTIVENESS OF RECOGNITION OF EXPLOITATION EDGE INFLUENCE WITH THE HELP OF PROFILING OF ATTENUATION AND VELOCITY OF SEISMIC WAVE

Key words

Mining seismic, profiling of attenuation, profiling of seismic wave velocity

Abstract

In the paper the problem of effectiveness of seismic profiling of attenuation and velocity of refracted P-wave in coal seam along mining excavation in conditions of exploitation coal seam edge above settled has been presented. The profiling of P-wave velocity changes was carried out according Dubinski method. For practical use of seismic attenuation profiling, special measurement and interpretation methodology has been prepared. The profiling of seismic attenuation requires a careful installing the sensors in such a manner that the measuring conditions of seismic wave be comparable in every point. One should avoid influence of a near-field in of wave excitation point in calculations of an attenuation coefficient. The measure of calculated attenuation is the value of attenuation coefficient based on determination of amplitude of refracted P-wave. In the paper examples of attenuation coefficient and velocity of refracted wave changes in the zones of exploitation seam edge have been described. The usefulness of attenuation coefficient for such analysis has been underlined due to its greater sensitivity for changes of the state of stress and deformation in coal seam comparing to changes of refracted P-wave velocity. The value of an attenuation coefficient may change in repeatedly more percentage intervals as compared with changes of the value of seismic wave velocity. This issue has a significant practical meaning under operating conditions at large depths because wave velocity increases are smaller together with growth of stress. Whereas the attenuation coefficient increases diminish in a smaller degree as the stress increases. The attenuation coefficient may be more effective indicator of the state of stress and deformation as compared to seismic wave velocity under these conditions. It is shown that attenuation can be interested parameter complementary to refracted wave velocity in coal seam, especially in high stress conditions.