

# Próba określenia rozkładu współczynnika tłumienia na wybiegu ściany 306b/507 w KWK Bielszowice metodą pasywnej tłumieniowej tomografii sejsmicznej

*W artykule została opisana metoda wykorzystania współczynnika tłumienia fal sejsmicznych do określania stanu naprężeń w górotworze. Badania prowadzono w KWK Bielszowice, na wybiegu ściany 306b w pokładzie 507. Celem pracy była analiza zmian rozkładu współczynnika tłumienia na wybiegu ściany 306b wraz z postępem ściany, przy wykorzystaniu istniejących danych sejsmologicznych i metody pasywnej tłumieniowej tomografii sejsmicznej. W rezultacie przeprowadzonych badań uzyskano mapy rozkładu anomalii współczynnika tłumienia, które wykazały, że przed frontem ściany dominują strefy o podwyższonej wartości współczynnika tłumienia. Występowanie stref o podwyższonych wartościach współczynnika tłumienia świadczy o spadku naprężeń w górotworze. Znalazło to swoje odzwierciedlenie w niskiej aktywności sejsmicznej w rejonie ściany 306b w czasie przeprowadzania badań. Pasywna tłumieniowa tomografia sejsmiczna może w przyszłości stanowić dodatkową, uzupełniającą metodę badawczą do określania stanu naprężeń w górotworze i tym samym do oceny stanu zagrożenia łąpaniami w podziemnych wyrobiskach górniczych.*

## 1. WPROWADZENIE

---

Problem łąpan występuje w kopalniach węgla kamiennego od kilkudziesięciu lat. łąpania pojawiły się wraz z rozpoczęciem eksploatacji na większych głębokościach, a w chwili obecnej są jednym z głównych zagrożeń naturalnych występujących w kopalniach węgla kamiennego. W celu bezpiecznej eksploatacji pokładów węgla zagrożonych łąpaniami istotne jest prowadzenie wyprzedzającej profilaktyki. Jednym z ważniejszych elementów tej profilaktyki jest określanie stanu naprężeń w eksploatowanych pokładach węgla. Coraz większe znaczenie w określaniu stanu naprężeń zyskuje metoda tomografii pasywnej (Dubiński J. i in., 1998; Dubiński J., Konopko W., 2000; Dubiński J. i in., 2004), w ramach której wykonuje się badania rozkładu prędkości oraz współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej P.

W artykule zaprezentowano wyniki badań rozkładu współczynnika tłumienia podłużnej fali sejsmicznej P

w pokładzie 507, które wykonano na wybiegu ściany 306b w KWK Bielszowice. Rozkład współczynnika tłumienia – uzyskany przy pomocy metody pasywnej tłumieniowej tomografii sejsmicznej – przedstawiono w formie dwuwymiarowych map izolinii współczynnika tłumienia.

## 2. TŁUMIENIE FALI SEJSMICZNEJ

---

Proces tłumienia fali sejsmicznej polega na zmniejszeniu się jej amplitudy wraz z odległością od źródła. Tłumienie fali sejsmicznej wywołane jest przez dwa czynniki. Zanikanie amplitudy fali sejsmicznej spowodowane jest geometrycznym rozchodzeniem się fali (zwiększaniem się powierzchni frontu falowego) oraz przez to, że ośrodek, w którym rozchodzi się fala nie jest ośrodkiem sprężystym (energia sejsmiczna jest rozpraszana i pochłaniana). Dla rozchodzącej się w ośrodku niesprężystym fali sejsmicznej,

zanik amplitudy wraz z odległością od źródła opisuje zależność:

$$A = A_o \cdot e^{-\alpha \cdot r}$$

gdzie:

$A$  – amplituda fali w odległości  $r$  od źródła,

$A_o$  – amplituda fali w źródle,

$\alpha$  – współczynnik tłumienia fali [1/m],

$r$  – odległość od źródła [m].

Oprócz współczynnika  $\alpha$ , właściwości tłumiące ośrodka można opisać poprzez stały współczynnik dobroci  $Q$  [-]. Współczynniki te wiążą ze sobą następującą zależność:

$$Q = \frac{\pi \cdot f}{\alpha \cdot v}$$

gdzie:

$f$  – częstotliwość fali [Hz],

$v$  – prędkość fali [m/s].

W chwili obecnej coraz większe zainteresowanie wzbudza wykorzystanie współczynnika tłumienia  $\alpha$  do oceny stanu naprężeń panującego w górotworze. Dzieje się tak dlatego, że  $\alpha$  jest parametrem o wiele bardziej czułym na zmiany stanu naprężeń w górotworze w porównaniu do prędkości podłużnej fali sejsmicznej  $P$  (Pilecki Z., Kłosiński J., 2007).

### 3. PASYWNA TŁUMIENIOWA TOMOGRAFIA SEJSMICZNA (PTTS)

Celem PTTS jest odtworzenie przestrzennego rozkładu współczynnika tłumienia fali sejsmicznej. Rozkład współczynnika tłumienia w pokładzie węgla zależy między innymi od stanu naprężeń panującego w tym pokładzie. Strefy podwyższonych naprężeń są skorelowane z obszarami o obniżonym współczynniku tłumienia. Im mniejszy współczynnik tłumienia, tym większy stan zagrożenia tapaniami. Poprzez wydzielenie stref o obniżonym współczynniku tłumienia można wnioskować o stanie zagrożenia tapaniami w rejonie objętym badaniami.

Metoda PTTS polega na wyznaczeniu rozkładu współczynnika tłumienia  $\alpha$  przy wykorzystaniu fal sejsmicznych wygenerowanych w ogniskach samostnych wstrząsów górotworu.

Istotną zaletą PTTS jest fakt, iż umożliwia ona określenie rozkładu współczynnika tłumienia  $\alpha$  bezpośrednio w pokładzie węgla. W ten sposób w pokładzie wę-

gla można wydzielić obszary o obniżonej wartości współczynnika  $\alpha$ , będące jednocześnie obszarami, gdzie ma miejsce niekorzystna koncentracja naprężeń.

W tomografii tłumieniowej parametrem mierzonym jest amplituda fali sejsmicznej, wygenerowanej w ognisku wstrząsu, a następnie przechodzącej i wytłumionej przez ośrodek skalny. Mając dane na temat zmiany współczynnika  $\alpha$ , istnieje możliwość prognozowania potencjalnie zagrożonych sejsmicznie fragmentów górotworu w określonych oknach czasowych (Dubiński J., Konopko W., 2000, Dubiński J. i in., 2004).

### 4. METODYKA POMIAROWA I OBLICZENIOWA

Rejestracje rzeczywistych zapisów fal sejsmicznych uzyskano z systemu GEOTOMO/E opracowanego przy wykorzystaniu elementów systemu sejsmicznego ARAMIS M/E. Oba systemy opracowane zostały w Centrum EMAG, w ramach projektu EUREKA SAFECOMINE E!3353 (Isakow Z., 2007).

Na chodnikach przyścianowych ściany 306b zainstalowano elektrodynamiczne czujniki geofonowe wraz z nadajnikami sejsmicznymi. Były one przebudowywane na bieżąco wraz z postępem ściany. Sygnał z czujników transmitowano kablami teletechnicznymi na powierzchnię do stacji powierzchniowej wyposażonej w odbiorniki. Następnie dane ze stacji powierzchniowej transmitowano do serwera przetwarzającego, gdzie dokonywano ich obróbki przy pomocy specjalistycznego oprogramowania Tetka, opracowanego w ramach realizacji etapu 10 w projekcie EUREKA SAFECOMINE E!3353 (Leśniak A., Dwornik M., 2006).

Proces określania rozkładu współczynnika tłumienia zachodzi w kilku etapach. Pierwszy krok to dyskretyzacja badanego obszaru. Drugi krok polega na trasowaniu promieni sejsmicznych, biegnących od ogniska wstrząsu do czujników drgań. Zakłada się, że promienie sejsmiczne są liniami prostymi. Dla każdej z komórek określonych w pierwszym kroku interpretacji oblicza się długość promienia przechodzącego przez tę komórkę. W ten sposób tworzy się macierz geometrii modelu. Warunkiem wyznaczenia rozkładu współczynnika tłumienia jest odpowiednie pokrycie badanego obszaru przez promienie sejsmiczne. W końcowym kroku, po uwzględnieniu pseudoinwersji macierzy geometrii i wektora danych, obliczany jest rozkład współczynnika tłumienia.

Należy podkreślić, że metoda PTTS nie nadaje się do analizy krótkookresowej. Służy ona do pokazania rozkładu współczynnika tłumienia w dłuższym

okresie czasowym, np. kilku tygodni czy miesięcy, gdy w prześwietlanej partii górotworu wystąpi znaczna ilość wstrząsów naturalnych o średnich i wysokich energiach. Zbyt mała ilość danych sprawiłaby, że uzyskany rozkład współczynnika tłumienia na badanym wybiegu nie odpowiadałby stanowi faktycznemu.

Przy wyznaczaniu współczynnika tłumienia na potrzeby niniejszego opracowania uwzględniano wstrząsy o energii większej lub równej  $1 \cdot 10^3$  [J].

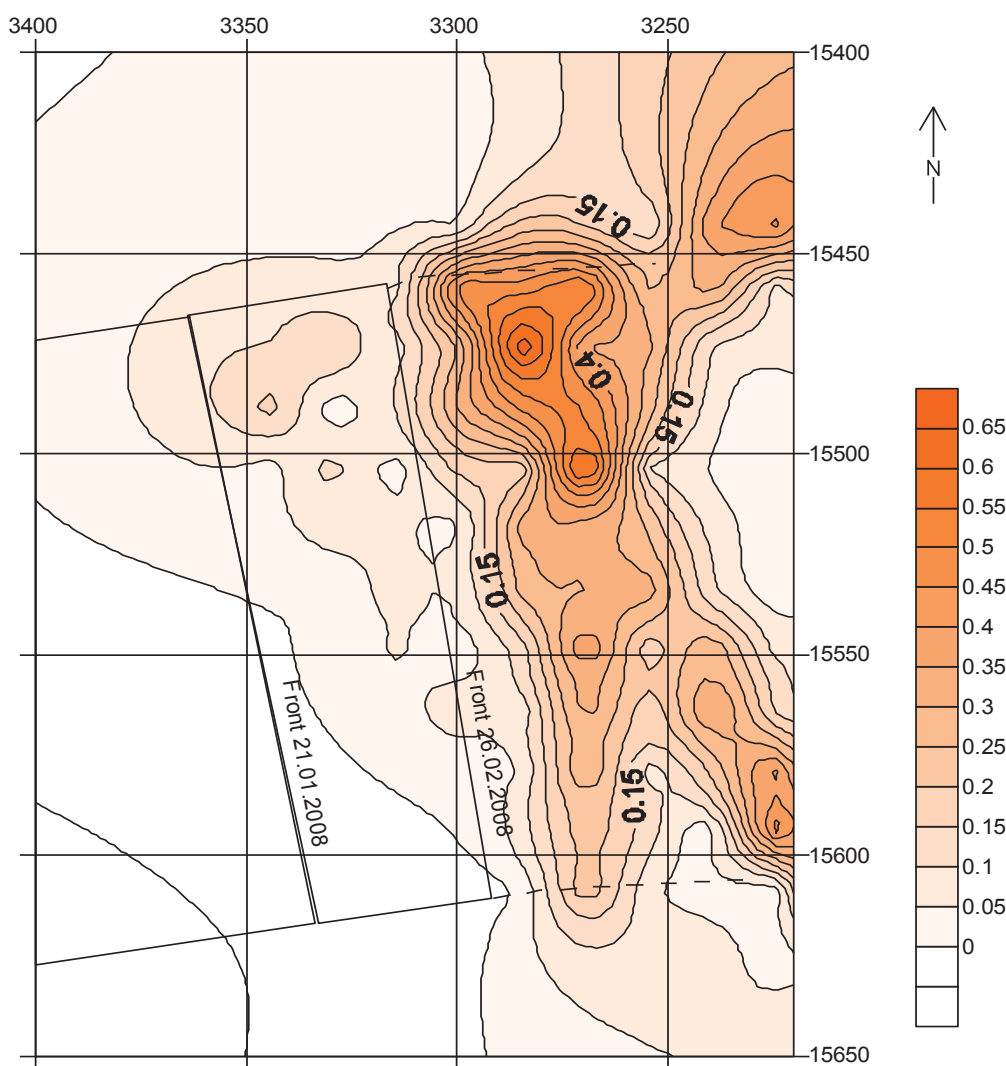
## 5. WYNIKI BADAŃ

W ramach metody PTTS zarejestrowano amplitudowe zapisy zjawisk sejsmicznych powstałych w rejonie ściany 306b w pokładzie 507. Następnie na podstawie uzyskanych zapisów oraz parametrów ognisk wstrząsów uzyskanych ze Stacji Geofizyki Górniczej KWK Bielszowice określono rozkład

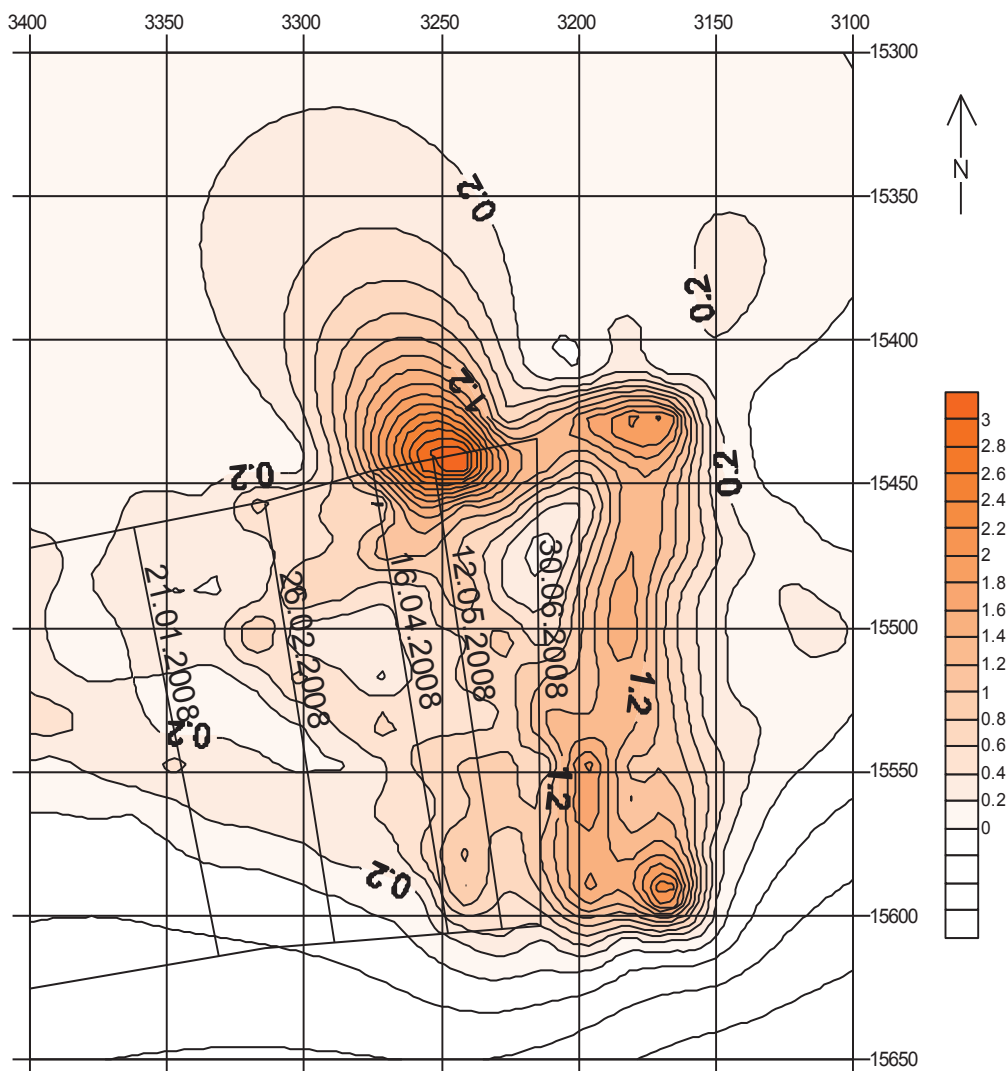
współczynnika tłumienia. Dynamiczny układ zmian pola współczynnika tłumienia wyraźnie koreluje się ze zmianą naprężeń w górotworze. Generowanie najsilniejszych wstrząsów wiąże się ze strefami koncentracji podwyższonych naprężeń bądź z występowaniem skał sztywnych i mocnych, które posiadają zdolność do kumulowania energii. Przeprowadzenie cyklicznych badań pozwoliło na analizę stanu zagrożenia i prześledzenia zmian parametrów ośrodka. Obraz zmian pola współczynnika tłumienia jest ewidentnie zmienny w czasie.

Zbiór analizowanych danych obejmuje dwa przedziały czasowe, tj. od 21.01.2008 r. do 26.02.2008 r. oraz od 16.04.2008 r. do 30.06.2008 r. Dla wyznaczonych w ten sposób przedziałów czasowych wykreślono mapy rozkładu współczynnika tłumienia. Strefy anomalne współczynnika tłumienia zaznaczają się w całości, przed frontem ściany 306b.

Na rys. 1. przedstawiono mapę rozkładu współczynnika tłumienia dla pierwszego analizowanego



Rys. 1. Mapa rozkładu współczynnika tłumienia fali podłużnej P dla ściany 306b w pokładzie 507. Dane za okres od 21.01.2008 r. do 26.02.2008 r.



Rys. 2. Mapa rozkładu współczynnika tłumienia fali podłużnej P dla ściany 306b w pokładzie 507. Dane za okres od 16.04.2008 r. do 30.06.2008 r.

okresu. Wartości współczynnika tłumienia w obszarze przed frontem ściany mieszczą się w przedziale od  $0,05\text{m}^{-1}$  do  $0,7\text{m}^{-1}$ . Obszar o najniższych wartościach współczynnika tłumienia znajduje się w rejonie frontu ściany 306b (położenie na dzień 26.02.2008 r.) i jest on skorelowany z występowaniem strefy ciśnienia eksploatacyjnego. W rejonie północnego fragmentu ściany 306b zaznacza się strefa podwyższonej wartości współczynnika tłumienia, w której współczynnik tłumienia osiąga maksymalną wartość. Występowanie tej strefy związane jest ze spękaniami ośrodka spowodowanymi prowadzonymi w tym rejonie robotami strzałowymi w ramach aktywnej profilaktyki tąpaniowej.

Na rys. 2 przedstawiono mapę rozkładu współczynnika tłumienia dla drugiego analizowanego okresu. Zaznacza się tutaj strefa dodatniej anomalii współczynnika tłumienia uzyskana w trakcie pomiarów dla pierwszego analizowanego okresu. Poza tym

można stwierdzić, że wartość współczynnika tłumienia na całym badanym wybiegu ściany 306b dla drugiego analizowanego okresu uległa podwyższeniu w stosunku do pierwszego analizowanego okresu. Wzrost wartości współczynnika tłumienia na końcowym odcinku wybiegu ściany 306b wiąże się w sposób jednoznaczny ze spadkiem naprężeń w górotworze i tym samym ze zmniejszeniem się stopnia zagrożenia wstrząsami górotworu. Aktywność sejsmiczna w rejonie ściany 306b w okresie od kwietnia do czerwca 2008 r. kształtowała się na bardzo niskim poziomie.

Ponadto w ramach aktywnej profilaktyki tąpaniowej w ścianie 306b wykonywane były w sposób cykliczny tomografie sejsmiczne aparaturą sejsmiczną PASAT-12i opracowaną w Centrum EMAG. Mierzonym parametrem była prędkość podłużnej fali sejsmicznej propagującej przez pokład węgla. W marcu 2008 r. wykonano tomografię sejsmiczną

po uzyskaniu przez front ściany 306b średniego postępu 300 m. Obszar badań obejmował 200 m wybiegu ściany 306b. W wyniku przeprowadzonej tomografii sejsmicznej stwierdzono, że naprężenia w pokładzie 507 są na poziomie normalnym. Wartości anomalii sejsmicznej zawierały się w przedziale od  $-10\%$  do  $+2,5\%$ . Wyniki uzyskane metodą tomografii sejsmicznej korelują się z rezultatami PTTS dla drugiego okna czasowego.

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Pasywna tomografia sejsmiczna odtwarza rozkład badanego parametru fizycznego poprzez prześwietlanie fragmentu ośrodka skalnego, przy pomocy fal sejsmicznych wygenerowanych w samoistnych źródłach wzbudzenia (Dubiński J., Konopko W., 2000). Parametrem mierzonym w PTTS jest amplituda przyjscia fali, mierzona przez czujniki drgań na obszarze ograniczonym przez te czujniki. Wyliczony współczynnik tłumienia zależy w głównej mierze od stanu naprężeń oraz deformacji pierwotnej i wtórnej ośrodka, a także od porowatości i wypełnienia porów medium ciekłym lub gazowym.

Metoda PTTS w przyszłości może stanowić istotną pomoc w walce z zagrożeniem tąpnięciami, jednak na obecnym etapie wymaga ona dalszego testowania. Wyniki uzyskane tą metodą należy porównywać z wynikami innych – stosowanych rutynowo w kopalniach węgla kamiennego – badań. Dalsze prace zmierzać będą do opracowania kryteriów, które bardziej jednoznacznie umożliwią korelowanie wartości współczynnika tłumienia ze stanem naprężeń w pokładach węgla kamiennego i tym samym ze stanem zagrożenia tąpnięciami.

### Literatura

1. *Dubiński J., Lurka A., Mutke G.*: Zastosowanie metody tomografii pasywnej do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach. *Przegląd Górniczy* 3(894), 1998. s. 1-7.
2. *Dubiński J., Tajduś A., Cala M., Lurka A.*: Korelacja wyników geofizycznych i geomechanicznych w rejonie wystąpienia tąpnięcia w ZG Lubin w dniu 4.08.2003. XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, 2004.
3. *Dubiński J., Konopko W.*: Tąpnięcia. Ocena, prognoza, zwalczanie. GIG Katowice, 2000, s. 166-169.
4. *Isakow Z. i in.*: Raport końcowy z realizacji projektu E13353. Katowice, 2007.
5. *Kasina Z.*: Problem tłumienia fal sprężystych w aspekcie sejsmiki poszukiwawczej. *Prace Geologiczne* 128, PAN – Oddz. w Krakowie, 1983.

6. *Krynicky T., Mieszkowski R., Wojas A.*: Wyznaczanie kształtu ścian bocznych wysadów solnych metodą tomografii sejsmicznej na przykładzie wysadu. *Przegląd Geologiczny*, vol. 53, nr 8, 2005.
7. *Leśniak A., Dwornik M.*: Sprawozdanie z realizacji etapu 10 projektu E13353. Kraków, 2006.
8. *Lurka A.*: Metoda tomografii pasywnej w „Badania geofizyczne w kopalniach. Praca zbiorowa pod red. J. Dubińskiego, Z. Pileckiego i W. M. Zuberka, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, 2001.
9. *Manthei G.*: Seismic tomography on a pillar in a potash mine. *Rockbursts and Seismicity in Mines*, Gibowicz & Lasocki (eds), 1997, p.237-243.
10. *Ortyl Ł.*: Badania przydatności metody georadarowej w geodezyjnej inwentaryzacji struktur i obiektów podpowierzchniowych. Rozprawa doktorska, Kraków, 2000.
11. *Pilecki Z., Kłosiński J.*: Profilowanie tłumienia fali sejsmicznej w pokładzie węgla. *Miesięcznik WUG* nr 6/2007, s. 56-57.

Recenzent: dr inż. Zbigniew Isakow