

*Dawid Szurgacz* \*

**PRÓBA OKREŚLENIA DYNAMICZNEJ MOCY STOJAKA  
ZMECHANIZOWANEJ OBUDOWY ŚCIANOWEJ  
PRZEZNACZONEGO DO PRACY W WARUNKACH ZAGROŻENIA  
WSTRZĄSAMI GÓROTWORU – ARTYKUŁ DYSKUSYJNY**

**Streszczenie**

W artykule podjęto próbę określenia dynamicznej mocy stojaka pracującego w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. Na podstawie badań eksperymentalnych dynamicznych zjawisk ciśnienia górotworu, mającego bezpośredni wpływ na obudowę zmechanizowaną, jak również pomiarów drgań występujących blisko ognisk wstrząsów górotworu, opracowano prezentowaną metodę. Opisano zakres analityczny metody oceny obciążenia i prób zabezpieczenia zmechanizowanej obudowy ścianowej, pracującej w warunkach dynamicznych obciążeń górotworu, z zastosowaniem pojęcia mocy.

**An attempt to determine the dynamic power of mechanized longwall housing leg  
designed to work in hazardous conditions of rock mass tremors  
– discussion article**

**Abstract**

The article presents the attempt to determine the dynamic power of a working leg in hazardous conditions of rock mass tremors. The research is based on experimental studies of dynamic phenomena of rock pressure which have a direct impact on the mechanized housing, as well as measurements of vibrations occurring near the outbreak of rock mass tremors. This paper describes the range of analytical methods assessing the load and the tests of the security of mechanized longwall housing working in a dynamic load of the rock mass.

**1. WPROWADZENIE**

Wstrząsy górotworu są wynikiem procesów zachodzących w górotworze naruszoną eksploatacją i charakteryzują się specyficznymi właściwościami fizycznymi. Procesy te powodują łapania lub inne gwałtowne odprężenia górotworu, połączone zwykle z jego pękaniem, załamywaniem lub raptownym przemieszczaniem się skał do wybranej przestrzeni. Spośród zjawisk towarzyszących łapaniom i gwałtownym odprężeniom, wstrząsy górotworu należą do nielicznych, które można rejestrować za pomocą aparatury (Konopko 1991). Dzięki temu można określać ich parametry fizyczne, co ma duże znaczenie dla poznawania przebiegu procesów zachodzących w górotworze naruszoną eksploatacją i jest pomocne w praktyce górniczej przy opracowywaniu metod walki z łapaniami.

---

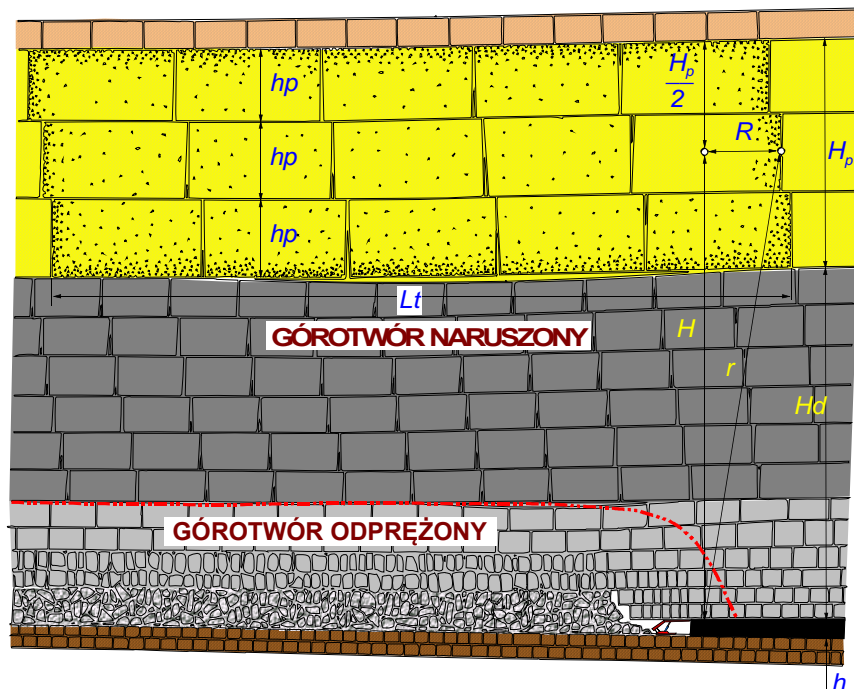
\* Śląskie Środowiskowe Studium Doktoranckie w Głównym Instytucie Górnictwa

## 2. STAN ZAGADNIENIA

Metody obliczania energii sejsmicznej wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku zostały przedstawione między innymi w publikacjach Dubińskiego i Wierzchowskiej (1973) oraz Mutkego (2007). Podstawę ich opracowania stanowiła szczegółowa analiza rejestracji kopalnianych sieci mikrosejsmologicznych oraz dokładne rozeznanie parametrów geofizycznych. Wyznaczono graficzny sposób rozwiązywania wzorów na gęstość i wartość energii sejsmicznej. Znajomość tych dwóch wielkości stanowi punkt wyjścia do obliczania energii tąpnięć i umożliwia pozyskiwanie informacji o mechanizmie tego zjawiska.

Badania obciążeń dynamicznych zmechanizowanych obudów ścianowych, opisane w literaturze (Gwiazda 1997; Kasprusz, Gasztych, Szurgacz 2010; Shein 2002; Stoiński i in. 2010; Stoiński, Kostyk 2005; Szweda 2004) obejmują badania *in situ* i na stanowiskach badawczych, a także próby określenia mocy stojaków, jako ściśle powiązanej z tąpnięciami. Nie zostały one jednak wykorzystane do określania zabezpieczenia obudowy przed jej zniszczeniem w wyniku tąpnięcia.

W artykule podjęto próbę oceny mocy rozwijanej przez górotwór oraz obudowę, wykorzystując metody stosowane w Głównym Instytucie Górnictwa. Podstawę badań stanowił model górotworu naruszonego według Bilińskiego (Biliński, Kostyk, Prusek 1997) – rysunek 1.



Rys. 1. Model górotworu naruszonego według Bilińskiego (Biliński, Kostyk, Prusek 1997)

Fig. 1. Model of disturbed rock mass acc. Biliński (Biliński, Kostyk, Prusek 1997)

Za Bilińskim (Biliński, Kostyk, Prusek 1997) przyjęto, że oddziaływanie dynamiczne na zmechanizowaną obudowę ścianową, zagrażające bezpieczeństwu, jest pochodną łamania się warstw leżących ponad eksploatowanym wyrobiskiem, które może powodować tąpnięcie. Są to zwykle grube warstwy piaskowca. Oddziaływanie to jest przenoszone przez poszczególne warstwy skał, generując dodatkowe dynamiczne obciążenie zmechanizowanej obudowy ścianowej. Wartość tego obciążenia jest zależna od prognozowanej energii wstrząsu oraz odległości źródła wstrząsu znajdującego się w warstwie tąpniącej, od pułapu wyrobiska. Obciążenie to opisuje współczynnik  $n_{tz}$  (Stoiński, Kostyk 2005), przedstawiony na rysunku 2, wynoszący:

- dla ściany zawałowej

$$n_{tz} = 1 + \frac{n_{zr}}{0,04 \cdot \left(\frac{H_t}{E_t}\right)^{0,7} + 0,04H_t + 0,5} \quad (1)$$

- dla ściany podsadzkowej

$$n_{tz} = 1 + \frac{n_{zr}}{0,025 \cdot \left(\frac{H_t}{E_t}\right)^{0,7} + 0,025H_t + 0,3} \quad (2)$$

gdzie:

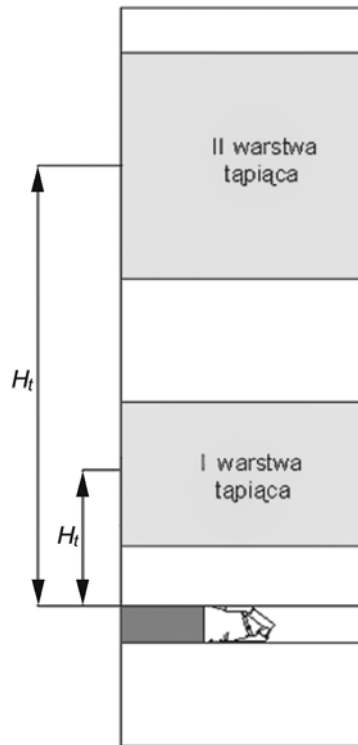
$n_{zr}$  – wartość współczynnika obciążenia zależna od sposobu eksploatacji (przyjmuje się 0,3–0,4);

$H_t$  – odległość pionowa środka warstwy będącej prawdopodobnym źródłem wstrząsu, od pułapu wyrobiska wybierkowego (w przypadku kilku warstw tąpniących przyjmuje się wartość największą) m;

$E_t$  – prognozowana energia wstrząsu górotworu, MNm.

Wartość współczynnika obciążenia w zależności od warunków geologiczno-górnicznych zawiera się w przedziale od 1,05 do 1,8, co odpowiada możliwości obciążenia obudowy w wyniku wstrząsu górotworu, odpowiednio 5–80% w odniesieniu do podporności roboczej.

Przewidywaną prędkość zaciskania wyrobiska  $V_s$  w wyniku wstrząsu górotworu przedstawiono w tabeli 1. Została ona przyjęta na podstawie badań prowadzonych przez ostatnie 10 lat w Głównym Instytucie Górnictwa (Biliński, Kostyk, Prusek 1997; Sprawozdanie GIG... 2007).



Rys. 2. Sposób obliczania współczynnika obciążenia  $n_{LZ}$

Fig. 2. Method of calculating the coefficient of downforce  $n_{LZ}$

Tabela 1. Prędkość zaciskania stojaka  $V_s$ , w zależności od  $n_{LZ}$

Zagrożenie wstrząsami	Słabe	Silne	Bardzo silne
Wartość $n_{LZ}$	>1,1–1,25	>1,25–1,4	>1,4
$V_s, \text{ms}^{-1}$	0,1	0,2	0,3

Parametry, według których ocenia się przydatność zmechanizowanej obudowy ścianowej do danych warunków, to:

- podporność obudowy (wstępna, robocza – zapewniająca uzyskanie wymaganej wartości wskaźnika utrzymania stropu  $g$ ),
- przewidywane obciążenie sekcji obudowy w wyniku wstrząsu,
- przewidywana prędkość zaciskania wyrobiska.

Do tej pory pojęcie mocy nie jest dostatecznie wykorzystywane w doborze zmechanizowanej obudowy ścianowej do pracy w warunkach zagrożenia tąpnięciami.

### 3. PROPONOWANY SPOSÓB OKREŚLANIA WYMAGANEJ DYNAMICZNEJ MOCY STOJAKA DLA DANYCH WARUNKÓW GEOLOGICZNO-GÓRNICZYCH

Przyjęto, że zapewnienie bezpiecznej pracy zmechanizowanej obudowy ścianej w chwili tąpnięcia można uzyskać dla przypadku, gdy moc rozwijana przez stojak hydrauliczny będzie większa od przypuszczalnej mocy wytworzonej przez górotwór, oczywiście w przeliczeniu na pojedynczy stojak i uśrednione dla rozpatrywanego odcinka ściany, a zatem:

$$N_{\max \text{ stoj}} > N_{\max \text{ gór}} \quad (3)$$

gdzie:

$N_{\max \text{ stoj}}$  – maksymalna moc stojaka, W;

$N_{\max \text{ gór}}$  – maksymalna moc, z jaką górotwór będzie działał na obudowę, W.

Moc z jaką oddziałuje górotwór na stojak, można obliczyć, znając prędkość siły obciążającej (rys. 3) stojak oraz prędkość zaciskania wyrobiska, za pomocą wzoru (rys. 4)

$$N(t) = f(t) * V(t) \quad (4)$$

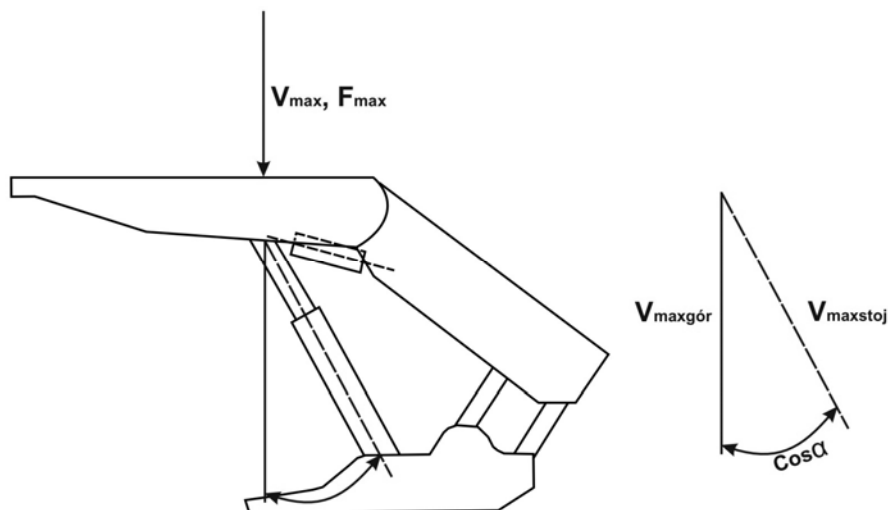
gdzie:

$N(t)$  – moc oddziaływania górotworu,

$f(t)$  – przebieg w czasie dynamicznej siły oddziaływania na obudowę,

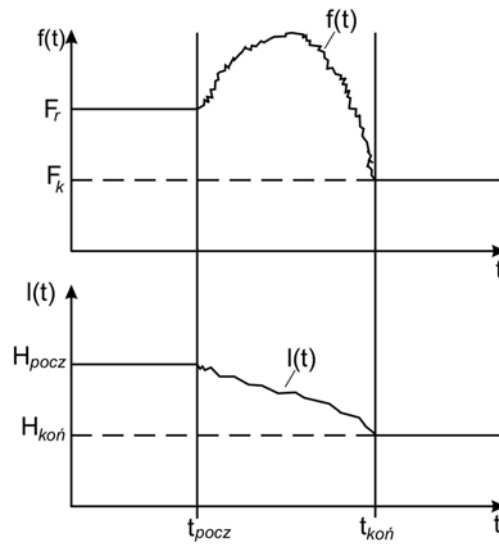
$V(t)$  – dynamiczny przebieg zaciskania wyrobiska,

\* – splot dwóch funkcji czasowych.



**Rys. 3.** Rozkład sił i prędkości obciążających stojak hydrauliczny obudowy zmechanizowanej [objaśnienia pod wzorem (5)]

**Fig. 3.** Loading powers and velocities distribution in a mechanized longwall housing hydraulic leg



**Rys. 4.** Model przebiegu siły i zaciskania wyrobiska wskutek wstrząsu górotworu:  $F_r$  – podporność robocza,  $F_k$  – podporność po wstrząsie,  $H_{koń}$  – wysokość wyrobiska po wstrząsie,  $H_{pocz}$  – wysokość wyrobiska przed wstrząsem,  $l(t)$  – dynamiczna siła obciążająca,  $f(t)$  – zaciskanie obudowy,  $t_{koń}-t_{pocz}$  – czas trwania zjawiska dynamicznego

**Fig. 4.** Model representation of power course and drift clamping as a result of a rock mass tremor, where:  $F_r$  – working support,  $F_k$  – suport after the rock mass tremor,  $H_{koń}$  – height of the draft after the rock mass tremor,  $H_{pocz}$  – height of the draft before the rock mass tremor,  $l(t)$  – dynamic loading power,  $f(t)$  – clamping of the lining,  $t_{koń}-t_{pocz}$  – duration of dynamic occurrences

Obliczanie zmian przebiegu mocy stojaka za pomocą wzoru (4) jest bardzo trudne, z uwagi na brak możliwości uzyskania odpowiednich zmian przebiegu obciążenia stojaka w czasie, a także, prędkości zaciskania wyrobiska oraz obliczenia splotu dwóch funkcji czasowych. Na podstawie literatury (Stoiński 1985), można ocenić, że obliczenie splotu funkcji jest bardzo skomplikowaną procedurą. Dla przypadku krańcowego, tzn. wystąpienia tąpnięcia, moc maksymalną określa się jako iloczyn maksymalnej wartości siły obciążającej stojak i maksymalnej prędkości zaciskania wyrobiska. Moc maksymalną (dla jednego stojaka) można obliczyć za pomocą wzoru

$$N_{\max \text{ gór}} = F_{\max} V_{\max} \quad (5)$$

gdzie:

$N_{\max \text{ gór}}$  – maksymalna moc całkowita, W;

$F_{\max}$  – maksymalna wartość siły dynamicznej obciążającej pojedynczy stojak jako pochodna wstrząsu górotworu, N;

$V_{\max}$  – maksymalna prędkość zaciskania wyrobiska; przyjęta na podstawie przeglądu literatury – od 0,1 do 0,8 m/s,  $\text{ms}^{-1}$ .

Wartości maksymalne siły oraz prędkości można ocenić analitycznie, wykorzystując (opisany w rozdz. 2) współczynnik obciążenia  $n_{tz}$  (Stoiński, Kostyk 2005). Na jego podstawie przyjmuje się

$$N_{\max \text{ gór}} = n_{tz} F_r (n_{tz} - 1), \text{ N} \quad (6)$$

$$F_{\max} = n_{tz} F_r, \text{ N};$$

$$V_{\max} = (n_{tz} - 1) \cdot 1, \text{ ms}^{-1}.$$

Po pomnożeniu otrzymuje się

$$N_{\max \text{ gór}} = F_r (n_{tz}^2 - n_{tz}), \text{ W} \quad (7)$$

gdzie  $F_r$  – podporność robocza stojaka, N.

Maksymalna prędkość zaciskania wyrobiska  $V_{\max}$  w powiązaniu ze współczynnikiem obciążenia  $n_{tz}$  została przyjęta według w tabeli 1. Moc stojaka oblicza się dla przypadku, gdy zaciskanie wyrobiska następuje z maksymalną prędkością i ciecz wpływa przez zawór regulujący ciśnienie w przestrzeni roboczej. Na podstawie zależności z hydromechaniki moc maksymalną można określić za pomocą wzoru

$$N_{\max \text{ stoj}} = Q_{\text{zaw}} P_{\max}, \text{ W} \quad (8)$$

gdzie:

$Q_{\text{zaw}}$  – wydajność objętościowa zaworu dla danego ciśnienia,  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$P_{\max}$  – maksymalne ciśnienie robocze odpowiadające przyjętej dopuszczalnej podporności stojaka, N.

W przypadku rozkładu sił w obudowie, przedstawionej na rysunku 4, moc stojaka ma postać

$$N_{\max \text{ stoj}} = Q_{\text{zaw}} P_{\max} \cos \alpha, \text{ W} \quad (9)$$

gdzie  $\alpha$  – nachylenie stojaka (rys. 3).

Gdy do zależności (3) wprowadzi się obliczone zależności na moc stojaka (9) oraz moc z jaką oddziałuje górotwór w wyniku wstrząsu, a odniesioną do jednego stojaka (7), otrzymuje się

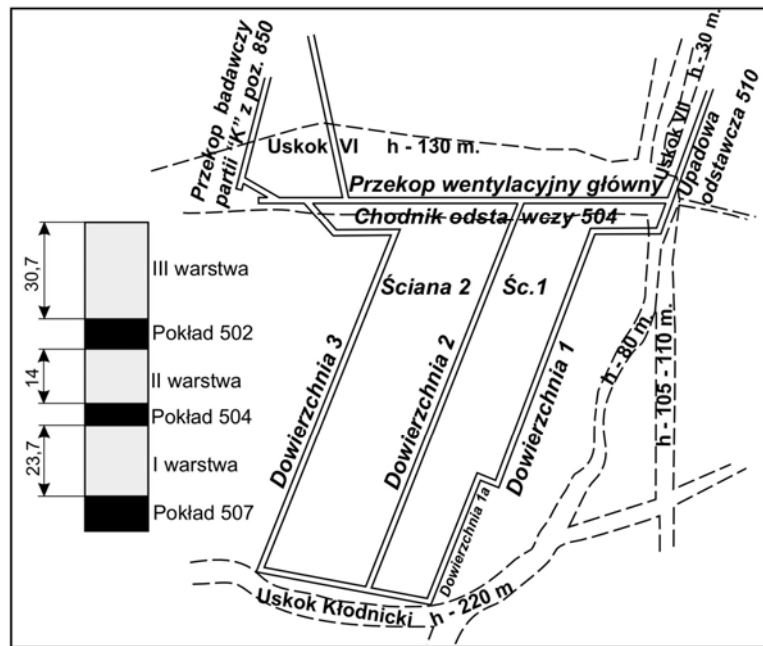
$$Q_{\text{zaw}} P_{\max} \cos \alpha > F_r (n_{tz}^2 - n_{tz}), \text{ W} \quad (10)$$

Obliczaną z zależności (10) wymaganą wydajność objętościową układu hydraulicznego, przy której obudowa nie ulega zniszczeniu, opisuje się za pomocą wzoru

$$Q_{\text{zaw}} \geq \frac{F_r (n_{tz}^2 - n_{tz})}{P_{\max \text{ stoj}} \cos \alpha}, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (11)$$

#### 4. WYKORZYSTANIE METODY – NA PRZYKŁADZIE ŚCIANY 1 POKŁADU 504K W KOPALNI „WUJEK” RUCH ŚLĄSK

W kopalni „Wujek” Ruch Śląsk przygotowuje się eksploatację ściany 1 w pokładzie 504 partii K, w której przewidziano zastosowanie obudowy typu HYDROMEL 12/26 POz wyposażonej w stojak dwuteleskopowy o średnicy 0,21 mm. Plan sytuacyjny eksploatacji przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Szkic sytuacji górniczej pokładu 504K na tle tektoniki

Fig. 5. Sketch of mining situation of the seam no 504K against the background of tectonic

Wysokość eksploatacji będzie mieścić się w przedziale 1,8–2,5 m; wartość dociążenia  $n_{iz}$  dla takiej wysokości ściany wynosi 1,27. Parametry robocze obudowy HYDROMEL 12/26 POZ są następujące:

- podporność robocza – 1,31 MN,
- podporność wstępna – 0,866 MN,
- dobre warunki utrzymania stropu –  $g \approx 0,8$ ,
- obudowa zgodna z PN-EN 1804.

Dla przewidzianej wysokości ściany 1 i wysokości roboczej obliczono wymaganą wydajność objętościową układów hydraulicznych zabezpieczających obudowę:

- dla  $H_{ob} = 1,8$  m

$$Q_{1,8} \geq \frac{1,31 \cdot 10^6 (1,27^2 - 1,27)}{P_{\max \text{ stoj}} \cos \alpha_{1,8}} = 460 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \quad (12)$$

- dla  $H_{ob} = 2,1$  m

$$Q_{2,1} \geq \frac{1,31 \cdot 10^6 (1,27^2 - 1,27)}{P_{\max \text{ stoj}} \cos \alpha_{2,1}} = 390 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1} \quad (13)$$

gdzie:

$P_{\max \text{ stoj}} = kP_r$  – maksymalne dopuszczalne ciśnienie w stojaku, N;

$\alpha_{1,8}$ ,  $\alpha_{2,1}$  – nachylenie stojaka odpowiednie dla wysokości roboczej 1,8 i 2,1 m;

$H_{ob}$  – współczynnik przeciążenia (wg PN-EN 1804-2 + A1:2010).



Wydajność objętościową układu hydraulicznego przyjęto o wartości  $Q \geq 460 \text{ l} \cdot \text{m}^{-1}$ . Taka powinna być wydajność układu hydraulicznego, ograniczającego ciśnienie w stojaku, aby zmechanizowana obudowa ścianowa HYDROMEL 12/26 POz w warunkach ściany 1 pokładu 504K kopalni „Wujek” Ruch Śląsk, mogła pracować bezpiecznie.

## 5. PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda określania mocy zmechanizowanej obudowy ścianowej oraz przewidywanej mocy, z jaką oddziałuje górotwór w chwili tąpnięcia, może zostać wykorzystana do doboru zabezpieczenia stojaka. Przedstawiona propozycja wymaga jednak potwierdzenia badaniami prowadzonymi w czasie eksploatacji. Zaletą metody są proste zasady obliczeniowe powiązane z już stosowanymi w GIG procedurami w zakresie doboru zmechanizowanej obudowy do warunków zagrożenia wstrząsami górotworu.

### Literatura

1. Biliński A., Kostyk T., Prusek S. (1997): Zasady doboru obudowy zmechanizowanej dla wyrobisk ścianowych. Bezpieczeństwo i Ochrona Pracy w Górnictwie nr 3.
2. Dubiński J., Wierchowaska Z. (1973): Metody obliczenia energii wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku. Prace GIG, Komunikat nr 591.
3. Gwiazda J.B. (1997): Górnicza obudowa hydrauliczna odporna na tąpnięcia. Katowice, Wydaw. „Śląsk”.
4. Kasprusz A., Gasztych T., Szurgacz D. (2010). Dobór stojaka hydraulicznego zmechanizowanej obudowy ścianowej na przykładzie HYDROMEL-08/22-POz dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu. XVIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych. Gliwice, Politechnika Śląska.
5. Konopko W. (1991): Klasyfikacja tępnięć. Przegląd Górniczy nr 7.
6. Mutke G. (2007): Charakterystyka drgań wywołanych wstrząsami górniczymi w odległościach bliskich źródła sejsmicznego w aspekcie oceny zagrożenia tąpnięciem. Prace Naukowe GIG nr 872.
7. Shein G. (2002): Dynamiczne obciążenia zmechanizowanej obudowy ścianowej. Maszyny Górnicze nr 92.
8. Sprawozdanie GIG nr 11010577-152 (2007): Zasady bezpiecznego stosowania obudów zmechanizowanych w warunkach występowania wstrząsów górotworu.
9. Stoiński K. (1985): Metody wyznaczania obciążenia dynamicznych stojaków hydraulicznych oraz obudów ścianowych. Prace GIG, Seria dodatkowa. Katowice, GIG.
10. Stoiński K., Doległo L., Gasztych T., Gil J., Kasprusz A., Kubiesa R., Szurgacz D. (2010): Propozycje wymagań, badań oraz procedury wprowadzania do eksploatacji zmechanizowanych obudów ścianowych do warunków zagrożenia wstrząsami górotworu. II Międzynarodowa Konferencja nt. Problemy bezpieczeństwa w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń górnictwa podziemnego. Gliwice, Politechnika Śląska.
11. Stoiński K., Kostyk T. (2005): Sposób określenia upodatnienia sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej – metodą analityczną. Maszyny Górnicze nr 9.
12. Szweda S. (2004): Identyfikacja parametrów charakteryzujących obciążenie sekcji obudowy zmechanizowanej spowodowane dynamicznym oddziaływaniem górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo z. 259.

**Recenzent:** prof. dr hab. inż. Kazimierz Stoiński