

JANINA ŚWIĄTEK

Zmechanizowane obudowy ścianowe w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu w GZW – stan obecny w ujęciu statystycznym

Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW) prowadzi eksploatację pokładów węgla głównie w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. Właściwy dobór obudowy do wymienionych warunków jest istotnym czynnikiem bezpiecznej i efektywnej eksploatacji. W publikacji opartej na własnych analizach przeprowadzonych na grupie danych zebranych na podstawie prac zrealizowanych przez Zakład Technologii Eksploatacji, Tępań i Obudów Górniczych, Głównego Instytutu Górnictwa, przy wykorzystaniu statystyki opisowej, przedstawiono: stopień zagrożenia wstrząsami górotworu, stosowane konstrukcje obudów zmechanizowanych w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu oraz sposób oceny ich podporności na przeciążenia dynamiczne.

Słowa kluczowe: obudowa zmechanizowana, przeciążenia dynamiczne, zagrożenie wstrząsami górotworu

1. WSTĘP

Zmechanizowana obudowa ścianowa wprowadzana jest na rynek zgodnie z wymogami wynikającymi z Dyrektyw Unii Europejskiej i ze zharmonizowanymi z nimi polskimi normami. Podstawowe normy określające wymagania mechaniczne dla sekcji z serii PN EN 1804 wyłączają przypadek ich obowiązywania podczas eksploatacji w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. Uzupełnieniem polskich norm w zakresie dotyczącym wstrząsów górotworu jest aktualne rozporządzenie w sprawie BHP właściwego ministra [1]. Wprowadza ono wymóg upodatnienia sekcji dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu niezależnie od tego, według jakich przepisów została ona wprowadzona na rynek. Celem upodatnienia jest wyznaczenie bezpiecznego zakresu pracy sekcji oraz dobór zabezpieczeń przed przeciążeniem dla danych warunków geologiczno-górnictwowych, eksploatacyjnych i technicznych sekcji [2]. Zabezpieczenie sekcji przed przeciążeniem jest dokonywane między innymi w wyniku stosowania zaworów hydraulicznych ograniczających ciśnienie w przestrzeni podtłokowej stojaka, do dopuszczalnego poziomu z uwagi na wytrzymałość mechaniczną konstrukcji.

Metoda upodatnienia stosowana w Głównym Instytucie Górnictwa (dalej GIG) jest metodą analityczną opartą na wybranych parametrach:

- górnicze – współczynnik dociążenia n_{iz} i wskaźnik nośności stropu g ,
- eksploatacyjne,

- techniczne sekcji – kinematykę sekcji, średnice stosowanych stojaków, podporność: wstępną, roboczą, nominalną; współczynnik przeciążenia k oraz zastosowane zabezpieczenia zaworami hydraulicznymi.

W niniejszej publikacji podjęłam próbę opisu obecnego stanu eksploatowanych zmechanizowanych obudów w ujęciu statystycznym, obejmującym ich parametry techniczne oraz warunki pracy, na podstawie zebranej bazy danych za lata 2016–2019.

2. PRZECIĄŻENIE SEKCJI OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

Na potrzeby niniejszej pracy przyjąłam definicję przeciążenia w odniesieniu do zagrożenia wstrząsami górotworu: „Przeciążenie to przekroczenie chwilowych wartości obciążenia nominalnego o więcej niż 50% dla konstrukcji i jej elementów składowych wskutek wstrząsu górotworu”. Przyjęta definicja jest zgodna z zapisami polskiej normy PN-EN 1804-1,2,3+A1 oraz literatury [3].

Skutki przeciążenia to przede wszystkim utrata funkcjonalności sekcji i jej elementów (konstrukcja stalowa, stojaki hydrauliczne oraz hydraulika sterująca) lub zagrożenie ogólnie pojętego bezpieczeństwa eksploatacji (np. niekontrolowany zsuw sekcji w wyrobisku).

Ocena przeciążenia jest dokonywana według metody GIG jako realizacja rozporządzenia właściwego ministra w zakresie przystosowania sekcji obudów zmechanizowanych do podejmowania obciążeń dynamicznych w drodze upodatnienia [1]. Jej celem jest wyznaczenie bezpiecznego zakresu pracy obudowy oraz dobór zabezpieczeń dla danych warunków geologiczno-górnich, eksploatacyjnych i technicznych sekcji [2].

Metoda upodatnienia stosowana w GIG jest metodą analityczną opartą na wybranych parametrach górniczych (współczynnik dociążenia n_{tz} , wskaźnik nośności stropu g), eksploatacyjnych oraz technicznych sekcji i jej zabezpieczeń.

Wskaźnik dociążenia n_{tz} określa przyrost obciążenia obudowy wskutek wystąpienia wstrząsu górotworu w odniesieniu do obciążeń roboczych. Zależy jest od odległości środka warstwy tąpnięcej, będącej prawdopodobnym źródłem wstrząsu, od pułapu wyrobiska oraz maksymalnej prognozowanej energii wstrząsu górotworu. Zmienność wskaźnika n_{tz} zawiera się w przedziale od 1,0 do 1,8 zgodnie z [4]. Współczynnik dociążenia n_{tz} jest również istotnym parametrem wykorzystywanym przy określaniu wskaźnika nośności stropu g [5–10]. Wskaźnik nośności stropu g określa warunki utrzymania stropu i wynosi:

- $g < 0,7$ – stan zagrożenia zawalem (obudowa zmechanizowana nie ma odpowiedniej rezerwy podporności, aby prawidłowo zabezpieczyć wyrobisko);

- $0,7 \leq g < 0,8$ – utrudnione warunki utrzymania stropu (dopuszcza się stosowanie obudowy zmechanizowanej w danym wyrobisku, jednak należy liczyć się z możliwością występowania utrudnień w utrzymaniu stropu wyrobiska);
- $g \geq 0,8$ – poprawne warunki utrzymania stropu (obudowa jest prawidłowo dobrana pod względem podpornościowym dla danego wyrobiska).

W warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu zaleca się, aby wskaźnik g był $\geq 0,8$, a tym samym zapewniał poprawne utrzymanie stropu. Zaznaczyć jednak należy, że zależność pomiędzy wskaźnikiem g a współczynnikiem dociążenia n_{tz} nie jest funkcją liniową i należy je rozpatrywać indywidualnie dla każdego przypadku planowanej do uruchomienia ściany oraz planowanej do zastosowania zmechanizowanej obudowy ścianowej.

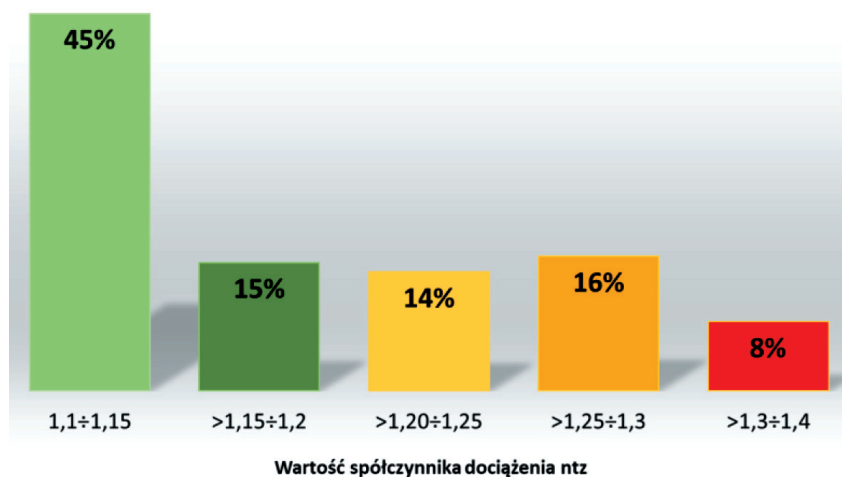
Stopień zagrożenia wstrząsami górotworu wyrobiska ścianowego na podstawie wartości współczynnika dociążenia n_{tz} można określić za pomocą tabeli 1.

Kształtowanie się współczynnika dociążenia n_{tz} w latach 2016–2019 przedstawiono graficznie na rysunku 1. Dane obejmują 266 przypadków ścian prowadzonych w warunkach GZW, analizowanych przez Główny Instytut Górnictwa w ramach wykonywanych prac badawczo-rozwojowych, zleczanych przez kopalnie i producentów obudów, dotyczących doboru obudowy zmechanizowanej i określenia warunków jej upodatnienia do danych warunków geologiczno-górnich.

Tabela 1

Stopień zagrożenia wstrząsami górotworu wyrobiska ścianowego na podstawie wartości współczynnika dociążenia n_{tz} [4]

Wartość wskaźnika n_{tz}	1,0–1,1	1,1–1,2	1,2–1,3	1,3–1,4	>1,4
Zagrożenie wyrobiska	brak	słabe	średnie	silne	bardzo silne



Rys. 1. Współczynnik dociążenia n_{tz} w latach 2016–2019 według GIG

Z powyższych danych wynika, że 29% wyrobisk ścianowych prowadzonych jest w średnim stopniu zagrożenia tąpnięciami, zaś 8% w silnym stopniu zagrożenia wstrząsami górotworu. Uwzględniając obecne pogarszające się warunki geologiczno-górnice w GZW, należy uznać, że procent ścian prowadzonych w silnym stopniu zagrożenia wstrząsami górotworu będzie się zwiększał.

Upodatkowanie sekcji zgodnie z metodyką GIG wyznaczane jest na podstawie modelu górotworu naruszonego według A. Bilińskiego oraz modelu płaskiego sekcji o stałych skupionych i jednym stopniu swobody z zależności [2, 4, 11–13]:

$$f(t) = \frac{1}{\cos(90 - \alpha)} \cdot (F_w + F_d (1 + k_d e^{-\delta t} \sin(\omega t - \varphi))) \quad [N] \quad (1)$$

gdzie:

- $f(t)$, F_w , F_d – siły odpowiednio: obciążenia stojaka, wstępna i dynamiczna [N],
- δ – współczynnik tłumienia układu [s^{-1}],
- k_d – współczynnik obliczeniowy,
- ω – pulsacja układu [s^{-1}],
- φ – kąt przesunięcia przebiegu siły w stojaku w odniesieniu do siły obciążającej [rad],
- α – kąt pochylenia stojaka względem spągnicy [$^\circ$].

Według podanej metody dla każdego przypadku oblicza się maksymalną siłę i odnosi się ją do nominalnej podporności stojaka, dla danej roboczej wysokości obudowy, wartości wskaźnika n_{tz} oraz przepływu w układzie zabezpieczającym stojak przed przeciążeniem.

Dodatkowo przy stropach trudnorabowalnych (nieprzechodzących w stan zawału za sekcjami obudów zmechanizowanych) proponuje się przeprowadzenie dodatkowych obliczeń z wykorzystaniem oceny mocy układu górotwór–sekcja według zależności (2) [4, 14], celem sprawdzenia przepływów w układzie zabezpieczającym stojak.

$$Q \geq \frac{F_r (n_{tz}^2 - n_{tz})}{2P_r \cos \alpha} \cdot 6 \cdot 10^4 \quad [dm^3 \min^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

- Q – przepływ w układzie zabezpieczającym stojak,
- F_r – podporność robocza obudowy [N],
- n_{tz} – współczynnik dociążenia obudowy,
- P_r – podporność nominalna stojaka [N].

3. PARAMETRY EKSPLOATACYJNE I TECHNICZNE AKTUALNIE STOSOWANYCH OBUDÓW ZMECHANIZOWANYCH

W latach 2016–2019 Zakład Technologii Eksploatacji, Tąpań i Obudów Górniczych, GIG, wykonał ponad 550 prac badawczo-rozwojowych, w tym 266 dotyczących określenia warunków upodatkowania sekcji oraz możliwości jej stosowania w danych warunkach geologiczno-górnice.

Z przeprowadzonej analizy wykonanych opracowań dotyczących warunku stosowania sekcji obudów w pokładach zagrożonych wstrząsami górotworu wynika, że w warunkach GZW najczęściej stosowane są sekcje obudowy typu podporowo-osłonowego dwustojakowe. Najczęściej stosowane stojaki hydrauliczne to dwuteleskopowe z zaworem dennym, a ich udział w całej analizowanej grupie wynosi aż 73% (rys. 2).

Stojaki jednoteleskopowe z przedłużaczem mechanicznym są już coraz rzadziej stosowane, jednak ciągle stanowią liczną grupę, a ich udział procentowy klasyfikuje je na drugim miejscu i wynosi 16%.

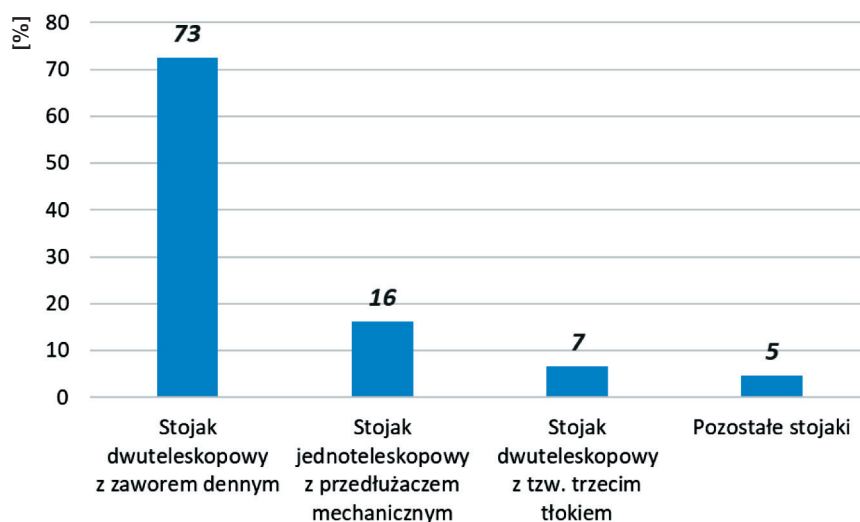
Grupę 7% stanowią stojaki dwuteleskopowe z tzw. trzecim tłokiem. Pozostałe 5% zajmują stojaki, których udział w całej analizowanej grupie był najmniejszy i zaliczyć do nich można stojaki dwuteleskopowe z zaworem dennym i przedłużaczem mechanicznym/hydraulicznym oraz stojaki z cieżką w tłoczyisku.

Procentowy podział stojaków dwuteleskopowych ze względu na ich średnicę I stopnia w analizowanym zbiorze przedstawia rysunek 3.

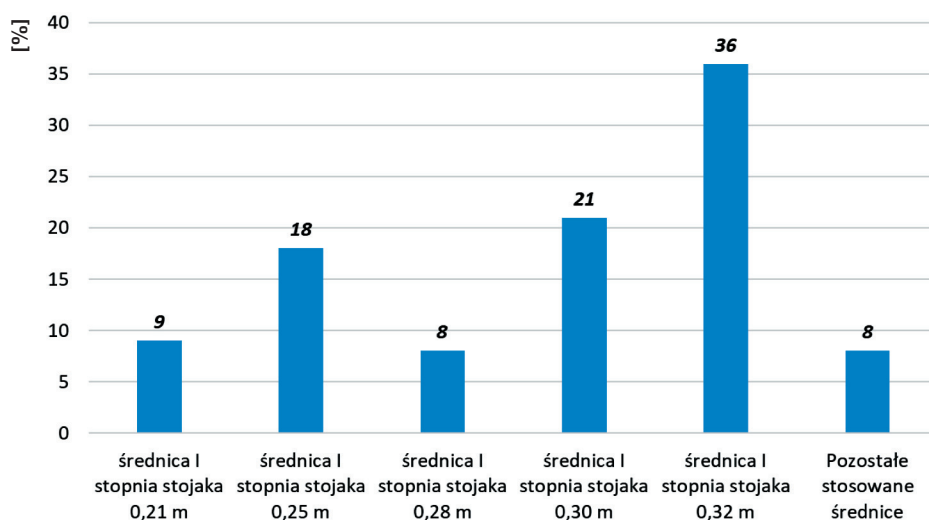
Obecnie najpowszechniej stosowane w GZW są stojaki o średnicach I stopnia równych 0,30 i 0,32 m, co związane jest z pogarszającymi się warunkami geologiczno-górnice. Liczną grupę stanowią także stojaki o średnicy I stopnia 0,25 m, co związane jest z remontami wcześniej eksploatowanych obudów.

Obecnie ponad 60% eksploatacji odbywa się w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu, co potwierdza fakt, że kopalnie coraz częściej zakupują obudowy zmechanizowane ze stojakami o średnicach $\geq 0,30$ m w celu uzyskania większej podporności obudowy oraz zapewnienia poprawnych warunków utrzymania stropu wyrobiska.

Pozostałe stosowane średnice, które stanowią 8% analizowanych przypadków, to stojaki o średnicach I stopnia rzadko stosowanych tj. $\varnothing - 0,255$ m; 0,265 m; 0,275 m; 0,29 m (zwykle są to stojaki poremontowe), a także nowych obudów dopiero wprowadzanych na rynek, do których zaliczamy średnice: $\varnothing - 0,37$ m; 0,38 m; 0,39 m; 0,40 m; 0,42 m.



Rys. 2. Procentowy udział stojaków różnych typów w analizowanej populacji sekcji zmechanizowanych obudów ścianowych w latach 2016–2019



Rys. 3. Procentowy udział stojaków dwuteleskopowych ze względu na średnicę I stopnia, analizowanego zbioru

Ze względu na pogarszające się warunki geologiczno-górnictwa związane głównie z coraz większą głębokością eksploatacji szacuje się, że stojaki o średnicach $\geq 0,37$ m będą coraz powszechniej stosowane w przyszłości, a ich udział procentowy znacznie się zwiększy.

Wśród stojaków jednoteleskopowych obecnie w warunkach GZW najczęściej stosuje się stojaki o średnicach 0,20 m i 0,25 m, co przedstawiono na rysunku 4.

Procentowy udział stojaków w analizie zbiorczej ze względu na wartość współczynnika przeciążenia w badaniu pełnym (typu) przy wprowadzaniu na rynek przedstawiono na rysunku 5.

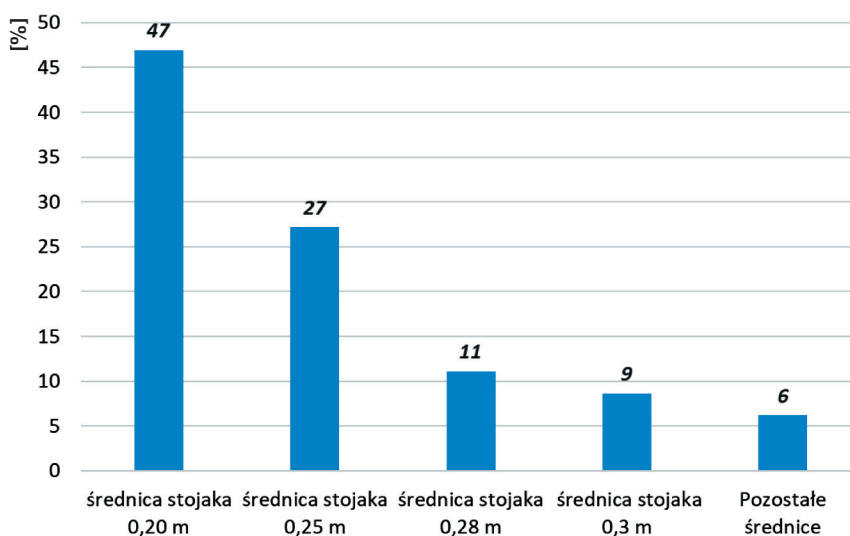
Według dokumentacji techniczno-ruchowych sekcji zmechanizowanych obudów ścianowych (DTR) ciśnienie zasilania zawiera się w przedziale 25,0–32,0 MPa. Aktualnie ponad 90% wszystkich obudów stosowanych w GZW zasilana jest ciśnieniem 25,0 MPa.

W poszczególnych przypadkach (przy uwzględnieniu zaleceń zawartych w DTR) sekcje zasilane są ciśnieniem wyższym, co najczęściej wynika z konieczności utrzymania poprawnych warunków stropowych (wskaźnik $g \geq 0,8$).

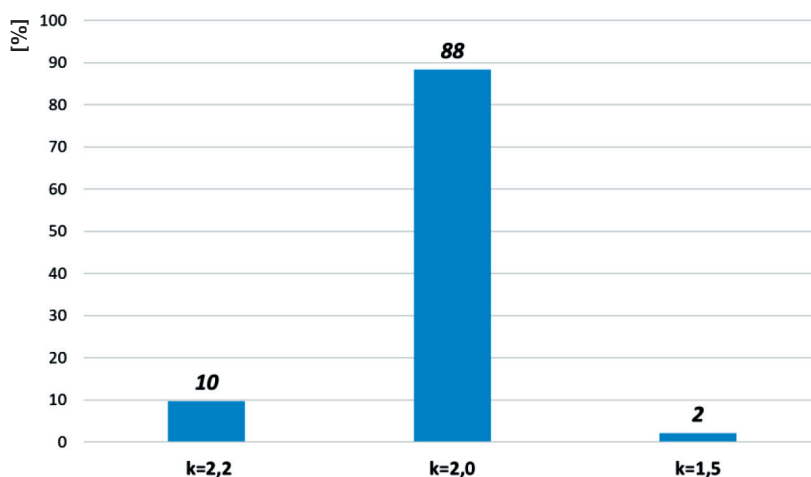
Istotnym elementem sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej eksploatowanej w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu są systemy sterowania, zabezpieczania przed przeciążeniem stojaka oraz kontroli parametrów roboczych. Sterowanie w zdecydowanej większości to hydrauliczne przyległe, bezpośrednie lub pilotowe. Elektrohydrauliczne występuje jedynie w kompleksach strugowych. Trwają prace studialne nad wprowadzeniem opracowanego w Polsce systemu sterowania elektrohydraulicznego do kompleksów kombajnowych, z dużym prawdopodobieństwem nastąpi to w najbliższych latach [15].

Upowszechniane są systemy monitoringu parametrów roboczych sekcji, praktycznie każda nowa obudowa jest już w taki system wyposażona [16, 17]. Zabezpieczenie stojaków przed przeciążeniem polega

na zastosowaniu zaworów o dużych przepustowościach, których wartości najczęściej określone są w opracowaniach dotyczących upodatnienia sekcji dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu.



Rys. 4. Procentowy udział stojaków jednoteleskopowych w analizowanym zbiorze ze względu na ich średnicę



Rys. 5. Procentowy udział stojaków obudów zmechanizowanych ze względu na wartość współczynnika przeciążenia w badaniu pełnym

4. WNIOSKI

Zmechanizowana obudowa ścianowa jest jednym z podstawowych elementów kompleksu ścianowego. Prawidłowe jej funkcjonowanie ma istotny wpływ na efektywność wydobywania, a także na ogólnie pojęte bezpieczeństwo w ścianie. W skład kompleksu ścianowego wchodzi zwykle około 100–150 sztuk sekcji, mających wspólne sterowanie i zasilanie. Najczęściej stosowanym w GZW typem sekcji jest podporowo-osłonowa dwustojakowa. Stojaki są najczęściej dwuteleskopowe z zaworem dennym. Średnice I stopnia

stojaka decydujące o podporności sekcji zawierają się w przedziale od 0,2 m do ponad 0,4 m, co skutkuje ponad czterokrotną różnicą w zastosowanej podporności. Stojaki przed przeciążeniem są zabezpieczane zaworami hydraulicznymi o odpowiednio dobranych przepływach [4, 18].

Z uwagi na pogarszające się warunki geologiczno-górnictwa w nowych, wprowadzanych na rynek sekcjach stosuje się stojaki o średnicach I stopnia co najmniej 0,30 m. Najmniejsze średnice występują najczęściej w stojakach stosowanych w sekcjach wprowadzanych na rynek przed wejściem Polski do Unii Europejskiej.

Aktualnie na rynek sekcje obudów zmechanizowanych są wprowadzane zgodnie z prawem unijnym. Jeżeli sekcje są przeznaczone do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu, muszą dodatkowo spełnić wymagania dotyczące ich upodatnienia wynikające z rozporządzenia w sprawie BHP odpowiedniego ministra [1]. Upodatnienie stawia wymóg przejścia przez sekcję dodatkowych obciążeń wynikających ze wstrząsów górotworu.

Zgodnie z raportem rocznym o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego z 2018 roku [19], wydobywanie ogółem z rejonów zaliczonych do zagrożonych tapaniami wynosiło około 54% ogólnej wielkości wydobycia. Ponieważ zaliczenie pokładu lub jego części do odpowiedniego stopnia zagrożenia tapaniami nie jest miernikiem wystąpienia lub nie, wysokoenergetycznego wstrząsu górotworu, przyjęc należy, że wstrząsy górotworu dotyczą obecnie ponad 60% eksploatowanych pokładów. Stopień zagrożenia wstrząsami górotworu oceniany jest jako średni, jednak w nielicznych przypadkach stopień zagrożenia jest znacznie większy. Ocenę upodatnienia dokonuje Główny Instytut Górnictwa według metody własnej na podstawie dostarczonych przez zleceniodawcę dokumentów.

Duża zmienność warunków geologiczno-górnictwowych oraz konieczność relokacji obudów zmechanizowanych w obszarze GZW jest przesłanką do ujednoczenia konstrukcji sekcji (ograniczenia ilości odmian) i wprowadzenia na rynek wyłącznie sekcji przygotowanych do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu.

Wprowadzenie na rynek i do eksploatacji sekcji ze stojakami I stopnia o średnicach ponad 0,32 m ograniczyło w znacznym stopniu możliwości prowadzenia badań pod obciążeniem dynamicznym, z uwagi na ograniczone możliwości techniczne stanowisk. Proponuje się rozwijanie metod numerycznych, a jako ich uzupełnienie badań stanowiskowych na modelach w pomniejszonej skali.

W niniejszej publikacji poddano analizie w ujęciu statystycznym zbiór danych powstały w wyniku prowadzenia prac badawczo-rozwojowych zleczanych Głównemu Instytutowi Górnictwa przez kopalnie oraz producentów obudów. Powstały zbiór zawiera dane za lata 2016–2019 i będzie on systematycznie uzupełniany.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r., Dz.U. nr 2017, poz. 1118, §523 ust. 1, pkt 1.
- [2] Rajwa S., Prusek S., Stoiński K.: *Opis metody upodatnienia zmechanizowanej obudowy ścianowej*, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 2016, 12: 3–8.
- [3] Zonn W., red.: *Kopernik, astronomia, astronautyka: przewodnik encyklopedyczny*. Wydawnictwo PWN, Warszawa 1973: 193.
- [4] Stoiński K. red.: *Zmechanizowane obudowy ścianowe dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu*, Wydawnictwo GIG, Katowice 2018.
- [5] Rajwa S. et al.: Praca statutowa GIG No. 12090577-152, 2007, GIG Katowice [praca niepublikowana].
- [6] Prusek S., Rajwa S., Wrana A., Krzemień A.: *Assessment of roof fall risk in longwall coal mines*, „International Journal of Mining, Reclamation and Environment” 2016: 1–17.
- [7] Prusek S., Rajwa S., Walentek A., Masny W.: *Powered support selection for longwall workings in dynamic load conditions*, „3rd International Symposium on Mine Safety Science and Engineering, Montreal” 2016: 13–19.
- [8] Prusek S., Plonka M., Walentek A.: *Applying the ground reaction curve concept to the assessment of shield support performance in longwall faces*, „Arabian Journal of Geosciences”, 2016, 9, 3: 1–15.
- [9] Rajwa S., Masny W., Wrana A.: *A comprehensive method for the selection of powered roof support in conditions of the rockburst hazard*, „Wiadomości Górnicze” 2017, 1: 2–7.
- [10] Rajwa S., Janoszek T., Prusek S.: *Influence of canopy ratio of powered roof support on longwall working stability – A case study*, „International Journal of Mining Science and Technology”, 2019, 29, 4: 591–598.
- [11] Biliński A., Kostyk T., Prusek S.: *Zasady doboru obudowy zmechanizowanej dla wyrobisk ścianowych*, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 1997, 3: 14–17.
- [12] Stoiński K.: *Obudowy górnicze w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*, Wydawnictwo GIG, Katowice 2000.
- [13] Prusek S., Rajwa S., Stoiński K.: *Kriterien zur Abschätzung des Risikos von Strebschaden*, „Glückauf-Forschungshefte” 2005, 11: 92–95.
- [14] Szurgacz D.: *Próba określenia dynamicznej mocy stojaka zmechanizowanej obudowy ścianowej przeznaczonego do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu – artykuł dyskusyjny*, „Prace Naukowe GIG” 2011, 10: 79–87.
- [15] Szurgacz D., Brodny J.: *Research on the Effectiveness of the Actuating Element of the Electro Control System for the Powered Roof Support*, E3S Web of Conferences, 2018, 41, 03016.
- [16] Jasiulek D., Bartoszek S., Lubryka J.: *Efektywność wykorzystania i bezpieczeństwo techniczne górniczej obudowy zmechanizowanej – PRASS III*, „Systemy Zasilania, Sterowania, Monitoringu i Diagnostyki” 2019, 1: 73–79.
- [17] Szurgacz D., Brodny J.: *Innovative visualization system designed to monitor parameters of mining systems operation*, MAPE 2018, 1, 1: 361–368.
- [18] Stoiński K., Prusek S., Rajwa S.: *Dobór przepływów w układzie zabezpieczającym stojak zmechanizowanej obudowy ścianowej – opis przypadku*, XXIII International Conference TEMAG, Gliwice 2015.
- [19] Kabiesz J. et al.: *Raport Roczny (2018) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego*, Wydawnictwo GIG, Katowice 2019: 95–99.

mgr inż. JANINA ŚWIĄTEK
Główny Instytut Górnictwa
plac Gwarków 1, 40-166 Katowice
j.swiatek@gig.eu