

JANINA ŚWIĄTEK  
KAZIMIERZ STOIŃSKI  
KONRAD STYRYLSKI

## Przyczynek do projektowania konstrukcji sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej przeznaczonej do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu

*Przedstawiono przykład analizy numerycznej z wykorzystaniem programu ANSYS dotyczącej optymalizacji konstrukcji sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej, przeznaczonej do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu. Uwzględniając wzrost obciążenia obudowy ze strony górotworu wynikający z występowania wstrząsów, określono miejsca występowania nadmiernych naprężeń w konstrukcji sekcji zmechanizowanej obudowy ścianowej. Wzrost obciążenia obudowy jako następstwo wstrząsów górotworu jest przyczyną występowania nadmiernych naprężeń w konstrukcji sekcji. Ich identyfikacja oraz uwzględnienie w projektowaniu z wykorzystaniem analizy numerycznej przedstawia niniejszy artykuł. Analizę przeprowadzono dla obudowy typu ZRP-15/35-POz produkowanej w Zakładzie Remontowo-Produkcyjnym (ZRP-Bieruń) Polskiej Grupy Górniczej S.A. Wprowadzenie wzmocnień w miejscach występowania zwiększonych naprężeń konstrukcji sekcji obudowy powinno zwiększyć jej bezpieczeństwo pracy w wyrobisku.*

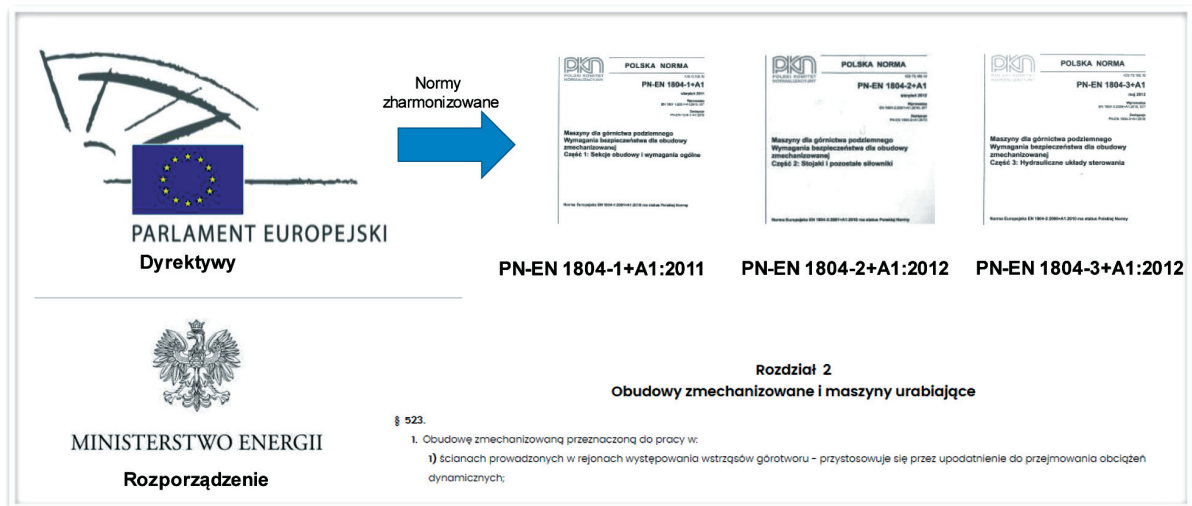
Słowa kluczowe: obudowa zmechanizowana, modelowanie numeryczne, wstrząsy górotworu, obciążenia dynamiczne

### 1. WPROWADZENIE

Zmechanizowana obudowa ścianowa należy do podstawowego wyposażenia kompleksu ścianowego i odpowiedzialna jest między innymi za zabezpieczenie wyrobiska przed opadem skał stropowych do jego przestrzeni roboczej. Duża zmienność warunków geologiczno-górnictwowych, w tym wynikająca z zagrożeń naturalnych, w szczególności wstrząsami górotworu, stawia wysokie wymagania podpornościowe wobec sekcji obudowy. Wymagania te zawierają się zarówno w zakresie obciążeń statycznych, jak również dynamicznych [1, 2]. Sekcje zmechanizowanej obudowy ścianowej są wprowadzane na rynek zgodnie z uregulowaniami ujętymi dyrektywami oraz ze zharmonizowanymi z nimi polskimi normami. Podstawową dyrektywą jest dyrektywa maszynowa [3] oraz polskie normy z nią zharmonizowane z serii PN-EN 1804 [4–6]. Zakres wymagań bezpieczeństwa określony w zharmonizowanych normach nie obejmuje przypadku zagrożenia wstrząsami górotworu. Uzupełnienie wymagań bezpieczeństwa dla warunków zagrożenia wstrząsami górotworu następuje zgodnie z Rozporządzeniem

Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. (Dz.U. Nr 2017 poz. 1118 §523 ust. 1, pkt 1), dotyczącym upodatnienia [7]. Zapis nie określa szczegółowo wymagań i procedur postępowania, pozostawiając problem w gestii jednostki naukowo-badawczej opracowującej opinię dotyczącą upodatnienia sekcji obudowy. Na rysunku 1 przedstawiono, opierając się na dyrektywach i zharmonizowanych polskich normach, zasady wprowadzania na rynek i do eksploatacji sekcji zmechanizowanych obudów ścianowych przeznaczonych do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu.

Aktualnie ocenę upodatnienia opracowuje Główny Instytut Górnictwa (GIG) według metodyki własnej. Metodyka GIG zakłada, że skutek wstrząsu górotworu dla poszczególnych ocenianych przypadków nie może nastąpić przeciążenie stojaka hydraulicznego sekcji ponad dopuszczalną podporność, przy uwzględnieniu współczynnika jego przeciążenia [8–12]. Bezpieczeństwo odniesiono do stojaka sekcji, zakładając, że jest najważniejszym elementem podpierającym strop. Przyjęcie takich założeń dopuszcza wystąpienie przeciążeń poszczególnych elementów sekcji ponad ich wytrzymałość.



Rys. 1. Zasady wprowadzania na polski rynek i do eksploatacji zmechanizowanych obudów ścianowych przeznaczonych do pracy w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu

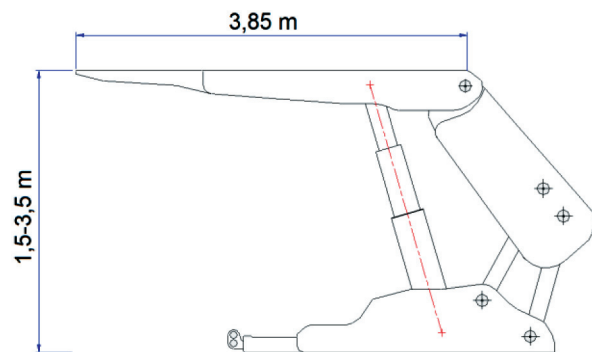
Niniejsza praca ma na celu wyznaczenie miejsc w konstrukcji sekcji, w których występują naprężenia przekraczające wartości dopuszczalne dla zwiększonych obciążeń wytrzymałościowych sekcji przy wykorzystaniu modelowania numerycznego, które z powodzeniem jest stosowane w innych dziedzinach nauki, takich jak lotnictwo, budownictwo czy przemysł samochodowy [13–15].

Dla analizowanych przypadków przyjęto zwiększone obciążenie sekcji o 100% ponad wartości robocze, natomiast sposób obciążenia sekcji odniesiono do ujętego normą PN-EN1804-1+A1:2011. Miejsca, w których naprężenia w materiale sekcji przekroczą dopuszczalne granice, w celu zachowania bezpieczeństwa powinny być przeprojektowane lub wzmocnione. Do analizy naprężeń w elementach sekcji dla różnych sposobów podparcia oraz wartości przeciążeń wykorzystano metody numeryczne z wykorzystaniem programu ANSYS [16]. Przedmiotem analizy jest sekcja zmechanizowanej obudowy ścianowej typu ZRP-15/35-POz. Wyniki w postaci map naprężeń zostaną wykorzystane przez projektantów podczas modernizacji sekcji, jak również przy opracowaniu opinii updatnienia sekcji.

## 2. PRZEDMIOT ANALIZY – SEKCJA ZMECHANIZOWANEJ OBUDOWY ŚCIANOWEJ TYPU ZRP-15/35-POz

Zmechanizowana obudowa ścianowa typu ZRP-15/35-POz zaprojektowana została w biurze konstrukcyjnym ZRP Bieruń i jest produkowana przez zakład ZRP, jak również inne firmy na zlecenie PGG S.A. Uzupełnieniem dokumentacji są rysunki sekcji 2D wykonane w programie CAD, z możliwością

ich wykorzystania do dalszych analiz numerycznych. Rysunek poglądowy sekcji oraz podstawowe parametry techniczne przedstawiono poniżej na rysunku 2.



Dane geometryczne i podpornościowe	
Zakres wysokości obudowy geometryczny/roboczy	1,5–3,5 m / 1,7–3,4 m
Krok sekcji	0,8 m
Długość stropnicy	3,85 m
Typ	podporowo-osłonowa dwustojakowa
Liczba stojaków	2
Średnice stojaka I st. / II st.	Ø 0,30/0,23 m
Podporność wstępna stojaka	1,767–2,121 MN
Podporność robocza stojaka	3,039 MN
Ciśnienie zasilania	25–30 MPa
Ciśnienie robocze	43 MPa
Przyłącze stojakowe i zabezpieczenie przed przeciążeniami	typ ZRP II

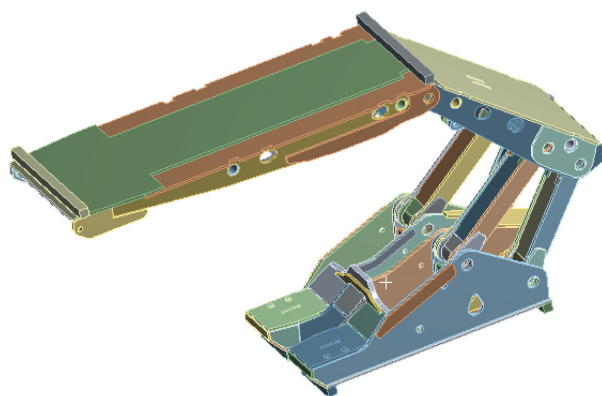
Rys. 2. Rysunek poglądowy oraz podstawowe dane techniczne sekcji zmechanizowanej obudowy typu ZRP-15/35-POz

Zaprojektowana sekcja ZRP-15/35-POz mieści się w realizowanym programie zakładu ZRP-Bieruń związanym z unifikacją i normalizacją obudów dla potrzeb PGG S.A.

### 3. PRZYGOTOWANIE MODELU ORAZ JEGO WARUNKI BRZEGOWE

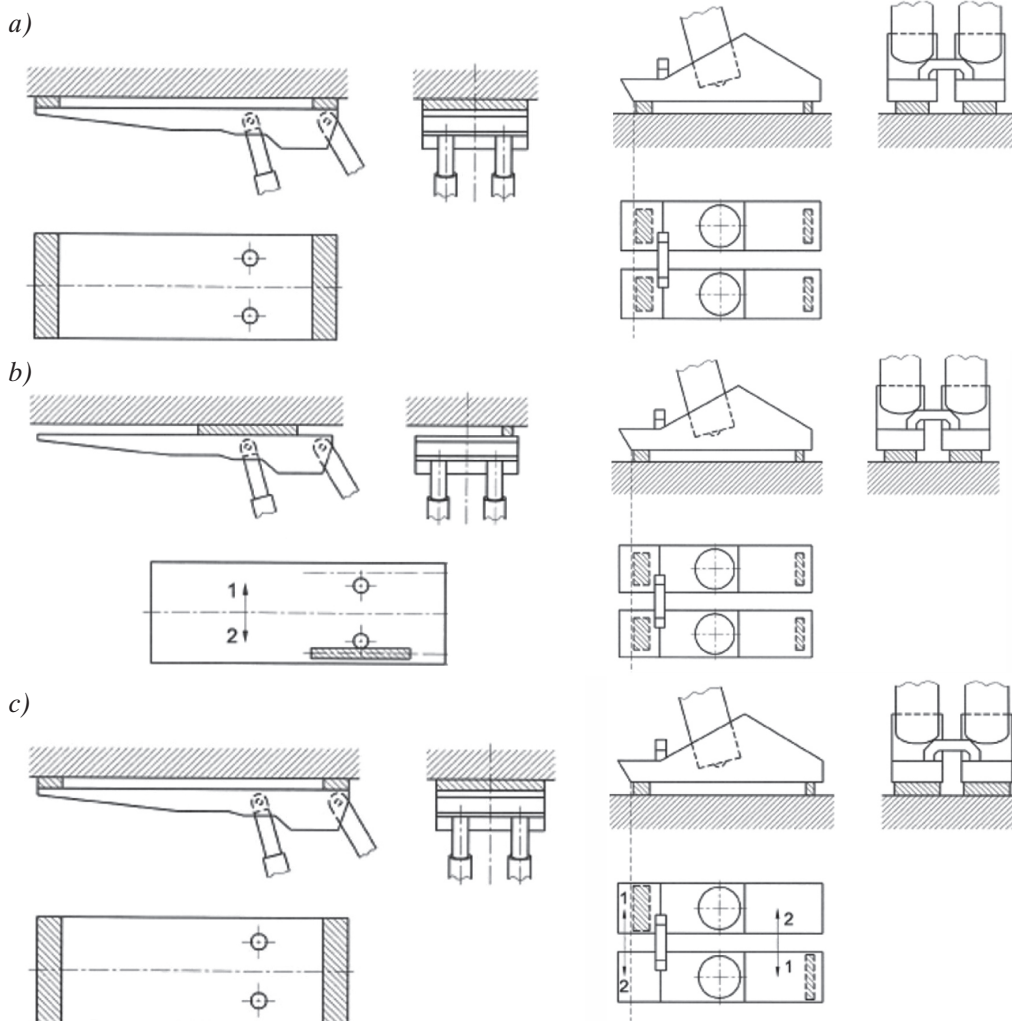
Wykorzystując rysunki importowane z programu CAD, zbudowano model 3D odwzorowujący postać konstrukcyjną sekcji obudowy pod względem geometrii całego układu. Na rysunku 3 przedstawiony został stworzony model 3D sekcji zmechanizowanej obudowy ZRP-15/35-POz wykorzystany do dalszych analiz.

Obliczenia kinetostatyczne modelu wykonano programem PrsLab 1.4.5 [17], natomiast wytrzymałościowym programem ANSYS [16]. Do analiz przyjęto materiał izotropowy o liniowej charakterystyce odkształceniowej. Parametry materiału przyjęto jak dla stali konstrukcyjnej tj. moduł Younga  $E = 200$  GPa i współczynnik Poissona  $\nu = 0,3$ . Jako kryterium wytrzymałościowe przyjęto minimalną granicę plastyczności stali gatunek S690QL, tj.  $Re = 690$  MPa. Siatka i liczba elementów została wygenerowana przez program ANSYS. Wykonano obliczenia numeryczne dla obciążeń elementów sekcji zgodnie z normą



Rys. 3. Model przestrzenny sekcji zmechanizowanej obudowy ścianej ZRP-15/35-POz wykorzystany w obliczeniach numerycznych

PN-EN 1804-1+A1:2011 [4] i przyjęto współczynniki przeciążenia 1,05 dla obciążeń niesymetrycznych oraz 1,2 dla obciążeń symetrycznych. Dodatkowo dla obciążeń symetrycznych i asymetrycznych przyjęto współczynnik przeciążenia 2,0 zgodnie z metodą GIG dotyczącą upodatkowania sekcji obudowy [11, 12]. Przedmiotem analiz była sekcja podparta zgodnie z rysunkiem 4.



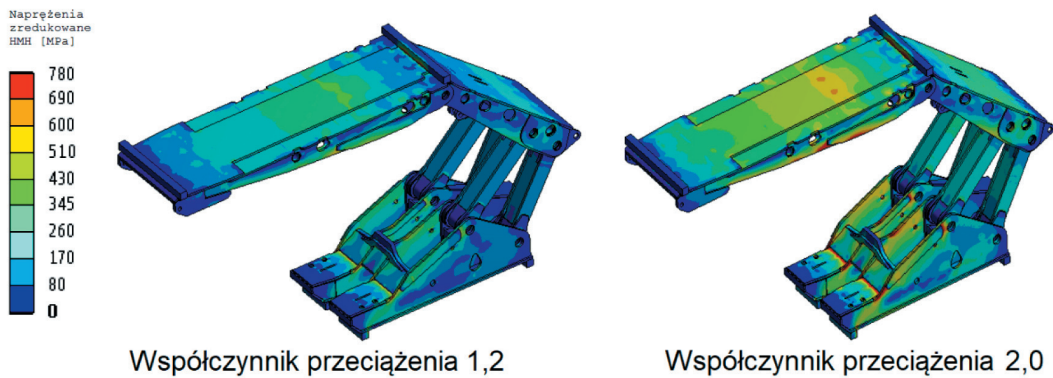
Rys. 4. Analizowane sposoby podparcia sekcji: a) symetria; b) asymetria boku stropnicy; c) asymetria po przekątnej spągnicy

Analizę numeryczną przeprowadzono dla wybranych trzech sposobów podparcia i dla wysokości roboczej sekcji ZRP, dla której występują największe naprężenia w materiale elementów.

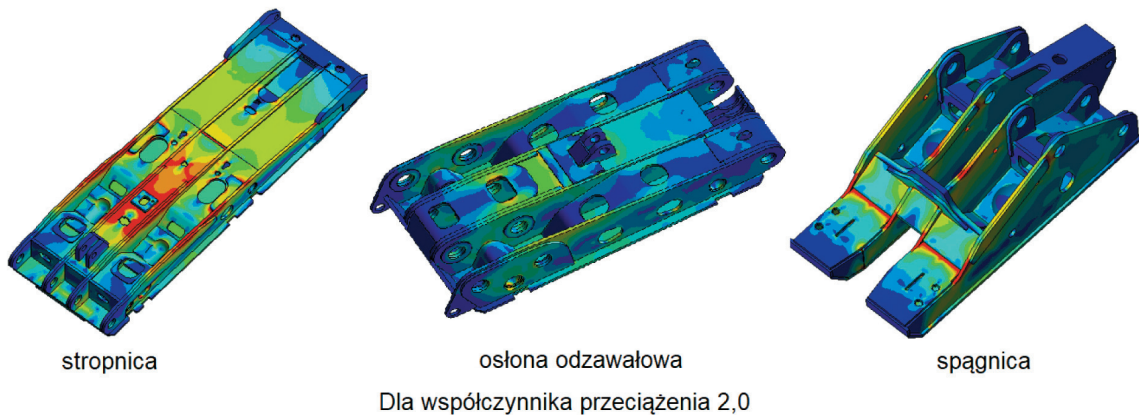
#### 4. OBLICZENIA NUMERYCZNE OBUDOWY ZMECHANIZOWANEJ

Wyniki przeprowadzonych symulacji numerycznych przedstawiono w postaci barwnych map naprężeń zredukowanych w poszczególnych elementach sekcji. Symulacje przeprowadzono oddzielnie dla

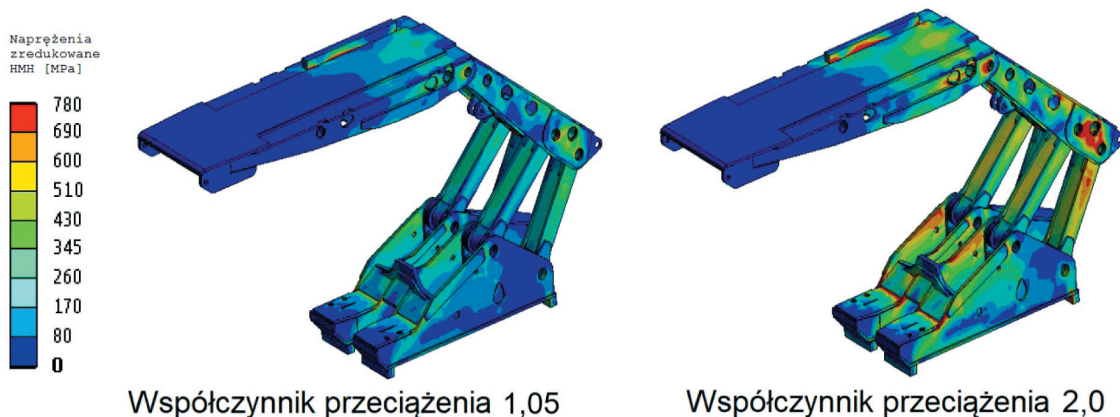
podstawowych elementów sekcji (stropnica, spąglica) oraz złożeniowo dla sekcji. W publikacji omówiono jedynie mapy złożone naprężeń zredukowanych, które w wystarczający sposób przedstawiają wyniki przeprowadzonych analiz numerycznych. Analizy zostały przeprowadzone dla wartości przeciążeń wynikających z polskiej normy dla różnych sposobów podparcia sekcji (1,05 i 1,2) oraz przypadku przeciążenia wynikającego z warunku updatnienia (2,0) jako pochodna wstrząsu górotworu. Mapy naprężeń zredukowanych w sekcji i jej elementach dla różnych sposobów podparcia i współczynników przeciążenia pokazano na rysunkach 5–10.



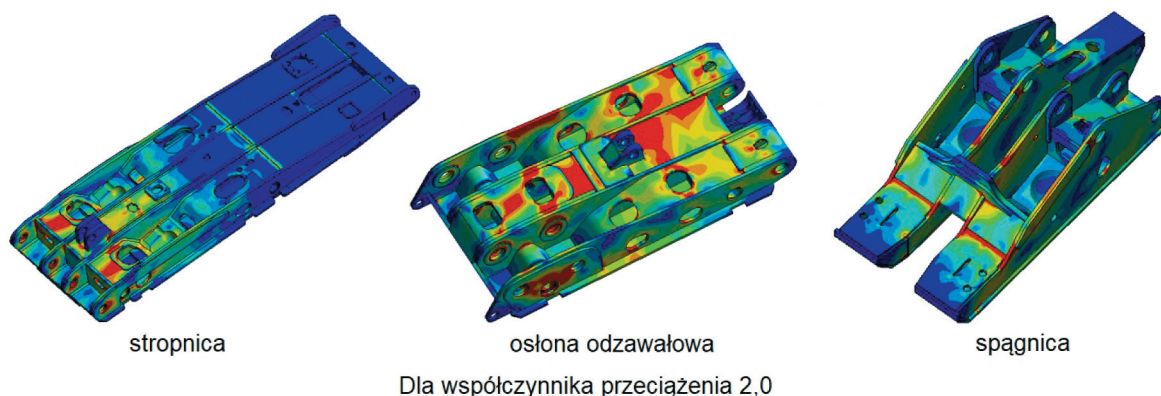
Rys. 5. Mapy naprężeń zredukowanych w sekcji przy podparciu symetrycznym według rysunku 4a



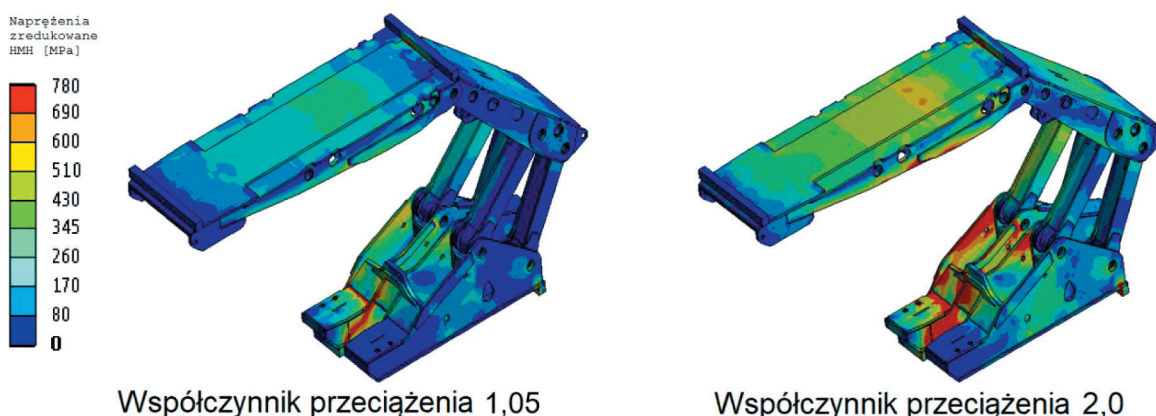
Rys. 6. Mapy naprężeń zredukowanych w elementach sekcji przy podparciu symetrycznym według rysunku 4a



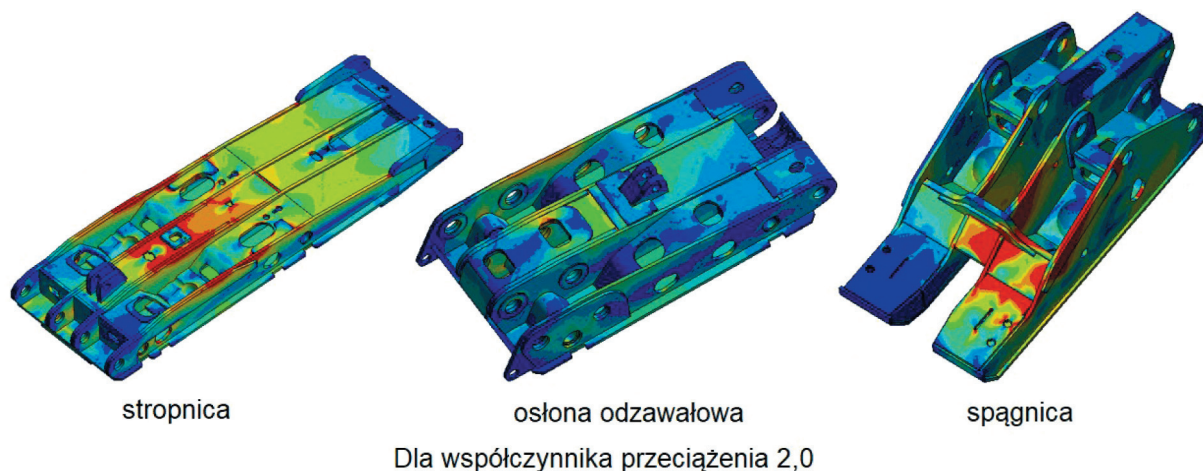
Rys. 7. Mapy naprężeń zredukowanych w sekcji przy asymetrycznym podparciu stropnicy według rysunku 4b



Rys. 8. Mapy naprężeń zredukowanych w elementach sekcji przy asymetrycznym podparciu stropnicy według rysunku 4b



Rys. 9. Mapy naprężeń zredukowanych w sekcji przy asymetrii po przekątnej spągnicy według rysunku 4c



Rys. 10. Mapy naprężeń zredukowanych w elementach sekcji przy asymetrii po przekątnej spągnicy według rysunku 4c

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiona w niniejszym artykule problematyka dotyczy niezwykle ważnego zagadnienia dla bezpieczeństwa eksploatacji w ścianie z uwagi na to, że aktualnie ponad 60% wydobycia odbywa się w pokładach zagrożonych wstrząsami górotworu. Wskutek występowania wstrząsów górotworu następuje przeciążenie konstrukcji sekcji obudowy zmechanizowanej znacznie powyżej wymaganych polskimi normami

współczynników (1,05 i 1,2) [2, 5, 6, 11]. Występuje również możliwość dużej asymetrii rozkładu obciążenia na obudowie, co dodatkowo pogarsza warunki pracy sekcji. Dlatego właśnie autorzy publikacji zdecydowali się na obciążenie sekcji obudowy z dwukrotnym przeciążeniem, aby uzyskać informację co do zakresu i miejsca w konstrukcji występowania zwiększonych przeciążeń (na rysunkach 5–10 kolor czerwony). Jak pokazano na rysunku 6 przy obciążeniu symetrycznym największe przeciążenia występują w stropnicy sekcji.

W przypadku asymetrycznego podparcia stropnicy największe przeciążenia występują w osłonie odzawalowej (rys. 8). Natomiast w przypadku asymetrii po przekątnej spągnicy najbardziej przeciążone są elementy spągnicy i stropnicy, co obrazuje rysunek 10.

Uzyskane informacje odnośnie do przeciążenia poszczególnych elementów sekcji umożliwiają konstruktorowi wzmocnienie tych miejsc w wyniku zmiany wytrzymałości materiału, wzmocnienia ich czy dokonania zmian konstrukcyjnych. Każda taka czynność poprawia bezpieczeństwo pracy, powoduje również wydłużenie bezawaryjnej pracy sekcji obudowy zmechanizowanej. Przeprowadzone analizy numeryczne wskazują również na celowość dokonywania obliczeń numerycznych konstrukcji sekcji z uwagi na duże rozbieżności pomiędzy współczynnikami przeciążenia wymaganymi polskimi normami, a rzeczywistości występującymi przeciążeniami. Przedstawiona procedura postępowania zostanie wprowadzana w procesie projektowania i produkcji sekcji w ZRP-Bieruń.

#### Literatura

- [1] 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.
- [2] Świątek J., Stoiński K.: *Case Analysis of Damages to Control Hydraulics of the Leg in the Powered Roof Support Section*, IV<sup>th</sup> International Innovative Mining Symposium, E3S Web Conf. Vol. 105, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910503013>.
- [3] *Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE*, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L157/24.
- [4] PN-EN 1804-1+A1:2011: *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – Część 1: Sekcje obudowy i wymagania ogólne*.
- [5] PN-EN 1804-2+A1:2012: *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – Część 2: Stojaki i pozostałe siłowniki*.
- [6] PN-EN 1804-3+A1:2012: *Maszyny dla górnictwa podziemnego – Wymagania bezpieczeństwa dla obudowy zmechanizowanej – Część 3: Hydrauliczne układy sterowania*.
- [7] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych*, Dz.U. z 2017 r., poz. 1118.
- [8] 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.
- [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., Prusek S., Stoiński K.: *Opis metody upodatkowania zmechanizowanej obudowy ścianowej*, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnicztwie” 2016, 12: 3–8.
- [11] Stoiński K.: *Obudowy górnicze w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu*, Wydawnictwo GIG, Katowice 2000.
- [12] Stoiński K.: *Metoda upodatkowania sekcji zmechanizowanych obudów ścianowych*, Praca statutowa GIG, nr 10001103-150, GIG, Katowice 2006 [niepublikowane].
- [13] Przemek A., Harlecki A., Tengler S.: *Metoda obliczania wytrzymałości ram samochodów ciężarowych*, „Autobusy” 2017, 12: 1252–1257.
- [14] Dębski H., Koszałka G., Ferdynus M.: *Wykorzystanie MES w analizie struktury nośnej ramy naczepy o zmiennych parametrach eksploatacyjnych*, „Eksploatacja i Niezawodność” 2012, 14, 2: 107–113.
- [15] Osmęda A.: *Porównanie wyników analiz numerycznych i prób wytrzymałościowych demonstratora struktury lotniczej*, „Prace Instytutu Lotnictwa” 2016, 3, 244: 123–134.
- [16] ANSYS V16, 2015.
- [17] PrsLab 1.4.5, program autorski PGG S.A., Oddział ZRP.

dr inż. JANINA ŚWIĄTEK  
 prof. dr hab. inż. KAZIMIERZ STOIŃSKI  
 Główny Instytut Górnictwa  
 pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice  
 {jswiatek, kstoinski}@gig.eu

mgr inż. KONRAD STYRYLSKI  
 PGG S.A. Zakład Remontowo-Produkcyjny  
 ul. Granitowa 132, 43-155 Bieruń  
 konrad.styrylski@gmail.com