

ANALIZA OBCIĄŻEŃ DZIAŁAJĄCYCH NA OPERATORÓW SAMOJEZDNYCH MASZYN GÓRNICZYCH PODCZAS TĄPAŃ

ANALYSIS OF THE LOADS ACTING ON THE UNDERGROUND MINING MACHINE OPERATOR DURING THE ROCK BURST

Paulina Działak, Eugeniusz Rusiński, Jacek Karliński, Mariusz Ptak – Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

Obciążenia działające na operatorów maszyn przeznaczonych do prac w górnictwie podziemnym są bardzo istotne w aspekcie ich bezpieczeństwa. Analiza tych obciążeń w sytuacjach wypadkowych, jakie mają miejsce w kopalniach podczas tąpnięć, umożliwi zwiększenie ochrony operatorów. Wyniki opisywanych badań przyczynią się do opracowania nowych wytycznych do przeprowadzania zaawansowanych analiz oraz wskażą najgroźniejsze dla operatorów maszyn zjawiska powstające w kopalniach podczas ruchu górotworu.

Rock bursts are very common in the underground mines, especially in case of copper mines. They result in a number of phenomena such as floor uplift, cover caving or rock falls and lateral ejections. They pose a great threat to the self-propelled mining machine operators. However, these effects are not taken into consideration in any standards involving operators protection. Authors of the paper decided to analyse the loads acting on the operator body sitting inside the protective structure while thill uplift and lateral rock ejections occurs. Examination indicated range of the loads acting inside the cab during mentioned phenomena. It also contributed to the development of the guidelines of the mining machine operators safety dynamic testing. It may significantly improve their protection during the rock burst subsequent phenomena.

Wprowadzenie

Jednym z największych zagrożeń dla bezpieczeństwa górników w kopalniach podziemnych jest zagrożenie tąpnięciami. Jest to zjawisko dynamiczne, powstałe wskutek wstrząsu górotworu, w wyniku którego wyrobisko lub jego odcinek ulega gwałtownemu zniszczeniu lub uszkodzeniu. Tąpnięciom często

towarzyszy szereg typowych zjawisk tj. wypiętrzenie spągu, boczne wyrzuty skał czy obsypywanie skał z ociosu. Tabela 1 przedstawia poziom zagrożenia tąpnięciami w kopalniach rud miedzi w Polsce.

Zauważyć można, iż wydobywanie rud miedzi odbywa się całkowicie na złożach, gdzie zagrożenie tąpnięciami utrzymuje się na wysokim poziomie. Obserwuje się także wzrost energii

Tab. 1. Zestawienie wydobywania, wstrząsów wysokoenergetycznych, tąpnięć i wypadków w kopalniach rud miedzi [1]

Rok	Wydobycie w mln ton	Wydobycie ze złóż zagrożonych tąpnięciami		Wstrząsy $\geq 1 \times 10^5 \text{ J}$		Liczba tąpnięć	Wypadki wskutek tąpnięć	
		w mln ton	%	liczba	$\Sigma E \text{ [GJ]}$		śmiertelne	ogółem
1980	26,6	26,6	100	206	brak danych	6	3	4
1981	22,8	22,8	100	168	brak danych	7	6	26
1982	27,0	27,0	100	221	brak danych	9	3	9
1983	29,0	29,0	100	217	brak danych	5	2	7
1984	29,4	29,4	100	286	brak danych	5	1	3
1985	29,4	29,4	100	325	1,73	2	1	9
1986	29,6	29,6	100	446	1,72	4	-	10
1987	29,8	29,8	100	484	1,72	5	7	27
1988	30,0	30,0	100	482	1,75	1	1	2
1989	26,5	26,5	100	407	2,82	4	3	8
1990	24,4	24,4	100	447	1,29	2	2	12
1991	23,7	23,7	100	359	0,92	2	2	4
1992	24,1	24,1	100	499	1,22	-	-	-
1993	27,1	27,1	100	492	3,05	4	1	7
1994	26,1	26,1	100	433	2,84	2	5	6
1995	26,5	26,5	100	389	1,87	4	2	13
1996	27,4	27,4	100	644	1,82	4	3	12
1997	24,0	24,0	100	567	2,76	-	-	-
1998	26,8	26,8	100	443	2,80	2	3	9
1999	27,0	27,0	100	414	3,96	3	2	14
2000	28,0	28,0	100	514	7,11	4	2	4
2001	30,9	30,9	100	729	6,22	5	-	3
2002	29,7	29,7	100	694	7,36	8	3	15
2003	30,0	30,0	100	570	3,39	9	5	28
2004	31,8	31,8	100	621	6,56	8	1	15
2005	32,0	32,0	100	786	4,02	3	1	22

wstrząsów powstających wskutek wydobycia rud miedzi. Eksploatacja złoża na coraz większych głębokościach w rejonach aktywnych sejsmicznie powoduje zwiększenie prawdopodobieństwa wystąpienia sytuacji zagrażających zdrowiu oraz życiu i w konsekwencji prowadzi to do rosnącej liczby wypadków wywołanych tąpnięciami.

Na obszarach najbardziej zagrożonych sytuacjami wypadkowymi spowodowanymi tąpnięciami znajdują się operatorzy maszyn górniczych. Są oni jednymi z najbardziej narażonych osób pracujących w kopalniach podziemnych. Dlatego też zagadnienie ich ochrony jest niezwykle istotne. Istnieją normy określające jakie wymogi powinny spełniać konstrukcje chroniące operatorów, by były uznawane za bezpieczne. Jednakże dotyczą one analizy samej konstrukcji chroniącej i uwzględniają jedynie dwie sytuacje wypadkowe: przewrócenie się maszyny oraz spadające z góry przedmioty.

Zapewnienie operatorom odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa wymaga natomiast uwzględnienia wielu innych zjawisk powstających wskutek tąpnięć tj. wypiętrzenia spągu czy bocznego wyrzutu skał. Konieczne jest przeprowadzenie analizy tych zdarzeń, uwzględniającej obciążenia dynamiczne oddziaływujące na operatorów maszyn.

Badania numeryczne

Analizie poddane zostały różne konstrukcje chroniące operatorów maszyn przeznaczonych do prac w górnictwie podziemnym. Badane były dwie sytuacje wypadkowe: wyrzucenie maszyny w górę, spowodowane wypiętrzeniem spągu oraz uderzenie kabiny w poszycie oraz słupki skałą wyrzuconą z ociosu. Przegląd literatury oraz wypadków górniczych zaistniałych w ostatnich latach pozwoliły na określenie warunków brzegowych koniecznych do przeprowadzenia symulacji numerycznych [2].

Skutki tąpnięcia w decydującym stopniu zależą od wielkości energii skumulowanej w górotworze, która wyzwala się powoduje przemieszczenia zniszczonego wokół wyrobiska obszaru górotworu z odpowiednio dużą prędkością. Pomiar prędkości wyrzutu w warunkach eksploatacyjnych jest bardzo trudny do wykonania, stąd wiele rozbieżności w określaniu jej wartości. Przykładowo, dla tąpnięć w kopalniach kanadyjskich przyjmuje ona wartości rzędu 2-4 m/s, podczas gdy niektó-

rzy badacze twierdzą, że może ona wynosić nawet 80 m/s. W Polsce zakłada się, że prędkość mas skalnych wyrzucanych do przestrzeni roboczej wyrobisk w trakcie tąpnięcia wynosi pomiędzy 5 a 15 m/s. Można więc określić średnią prędkość mas wyrzutowych na poziomie 10 m/s. Zarówno wyrzut kabiny w górę jak i boczne wyrzuty masy skalnej w wykonanych symulacjach numerycznych realizowane były przy tej prędkości wymuszenia [3].

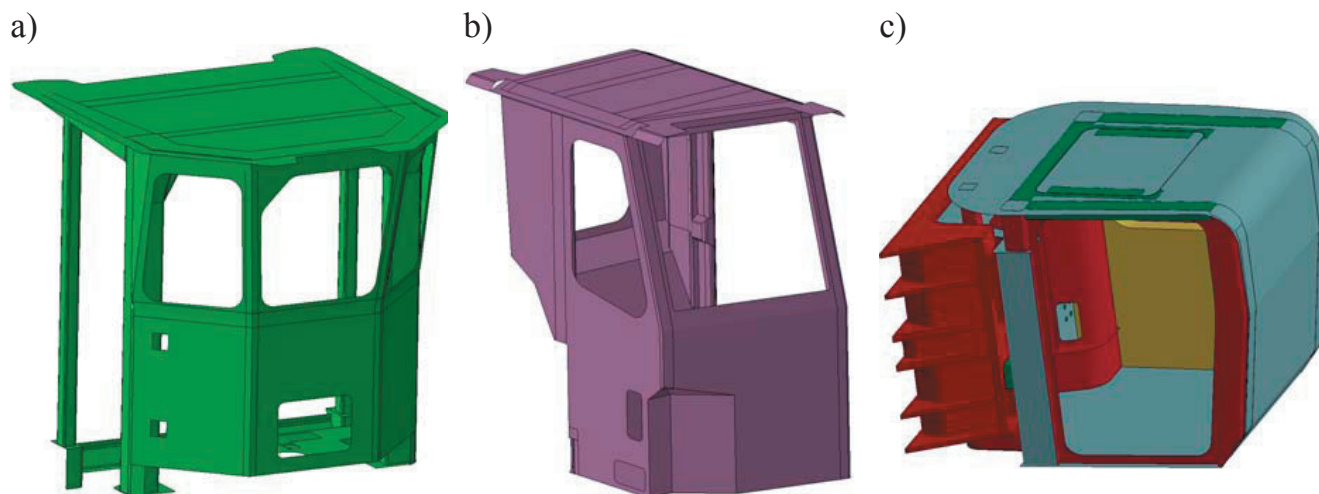
Przebadane zostały 3 konstrukcje chroniące operatorów maszyn stosowanych w górnictwie podziemnym: Face Master 2.3, Roof Master 2.3 ARD-E oraz SLP 8 (rys. 1). Kabiny te spełniają wymagania bezpieczeństwa, jakie stawia przed nimi obligatoryjna obecnie Dyrektywa Maszynowa 2006/42/EC [4]. Podczas symulacji analizowane były głównie przyspieszenia działające na środek ciężkości 50-centylowego operatora maszyny wraz z fotelem, do którego jest on przypięty dwupunktowym pasem bezpieczeństwa. Badane były obciążenia występujące w kierunku działania analizowanego zjawiska.

Efektom przeprowadzonych symulacji jest określenie wartości obciążeń występujących na skutek wypiętrzenia spągu oraz wyrzutów bocznych skał, powodowanych tąpnięciem oraz określenie ich wpływu na ciało operatora znajdującego się w kabinie podczas sytuacji wypadkowej. Takie badania dla samojezdných maszyn przeznaczonych do prac w górnictwie podziemnym i prac tunelowych nie były do tej pory wykonywane.

Analiza uderzenia konstrukcji chroniącej w strop chodnika kopalni podziemnej została realizowana poprzez dynamiczne wyrzucenie kabiny w górę z ustaloną wcześniej prędkością. Kabina następnie zderza się ze stropem zastąpionym w symulacji sztywną barierą (rys. 2). Symulacja była wykonywana w programie ABAQUS. Analiza została przeprowadzona z wykorzystaniem metody jawnego całkowania równań ruchu [2].

Symulacja bocznego wyrzutu skał z ociosu polegała na uderzeniu konstrukcji chroniącej za pomocą obciążnika, którego prędkość początkowa w momencie uderzenia wynosiła 10 m/s (rys. 3), a kierunek uderzenia był poziomy.

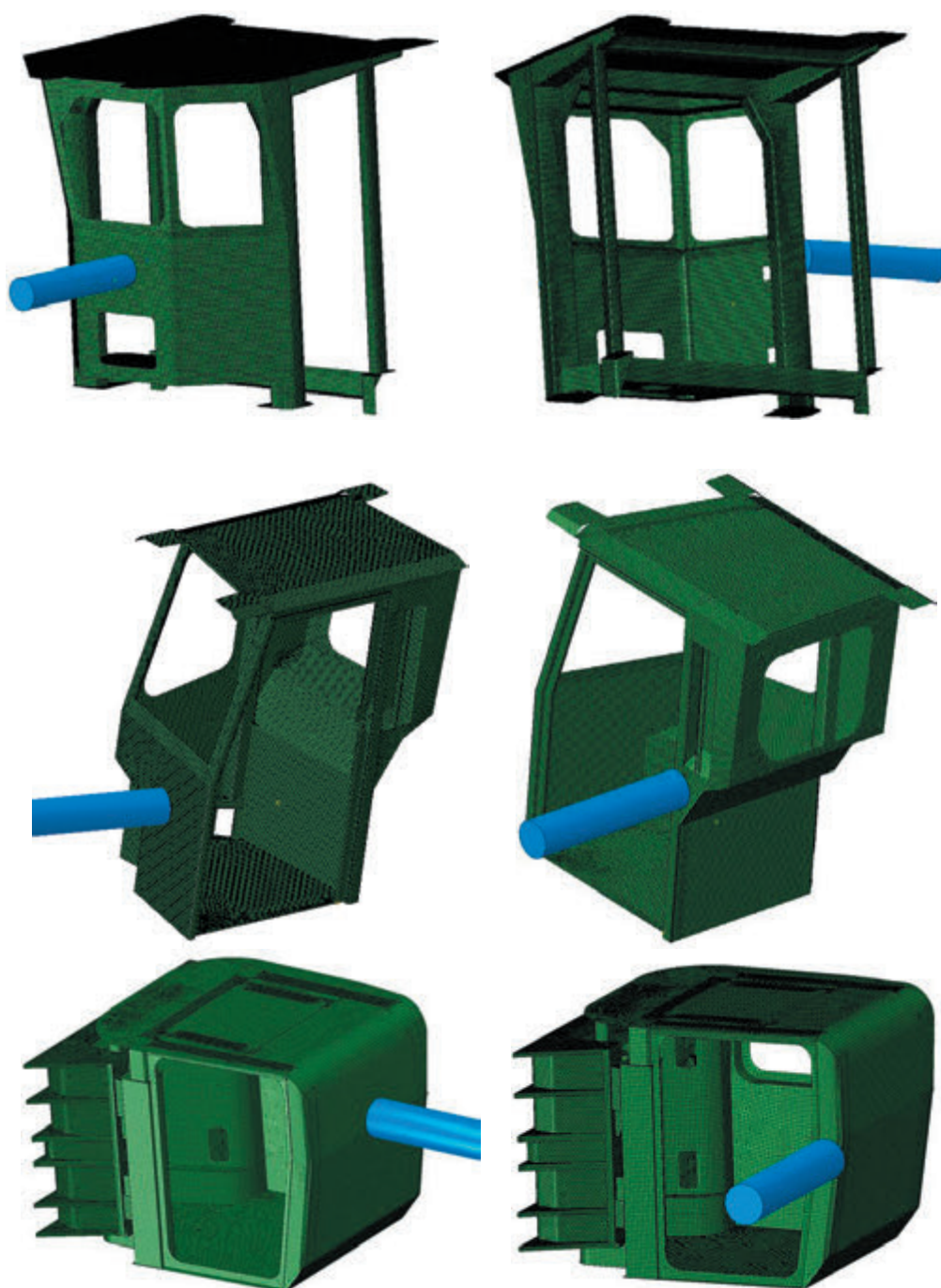
W analizie wykorzystany został obciążnik stosowany w próbie FOPS (ang. *Falling-Object Protective Structures*) [5], sprawdzającej bezpieczeństwo operatorów maszyn w przypadku spadających na konstrukcję chroniącą przedmiotów. W badaniach symulacyjnych przyjęto, że uderzanie będzie następować w 2 miejscach kabiny: w poszycie boczne - od strony najbardziej



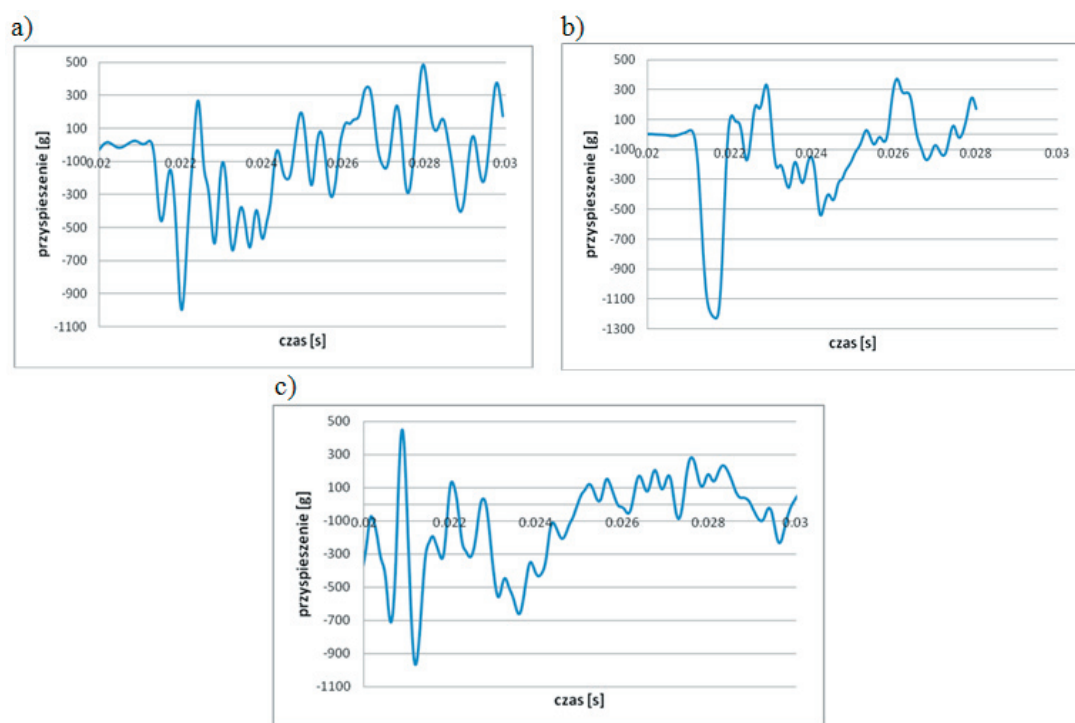
Rys. 1. Konstrukcje chroniące operatorów maszyn górniczych przeznaczonych do pracy w górnictwie podziemnym: a) Face Master 2.3, b) Roof Master 2.3 ARD-E, c) SLP 8



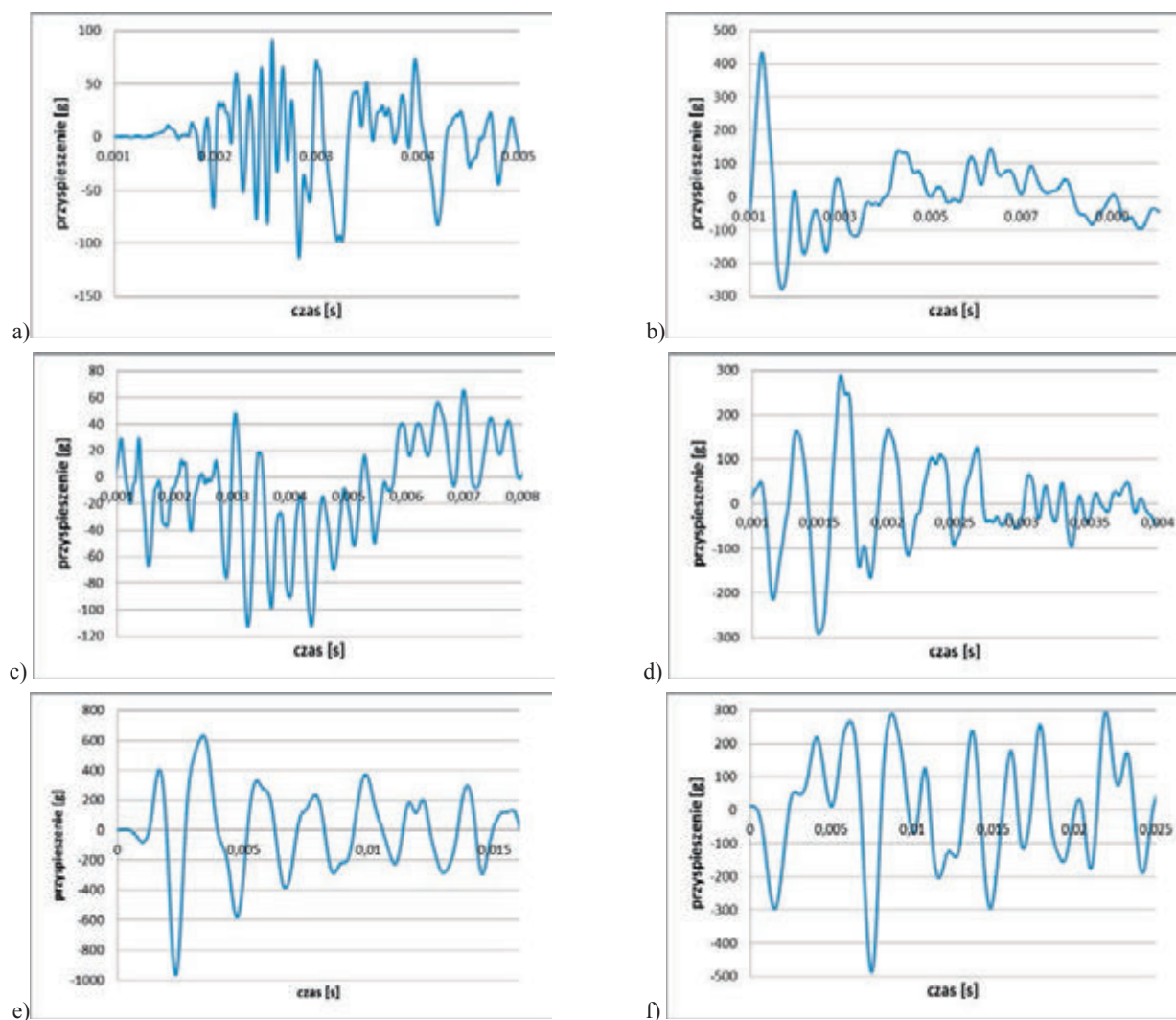
Rys. 2. Symulacja numeryczna wyrzutu kabiny w górę podczas wypiętrzenia spągu w kopalni podziemnej



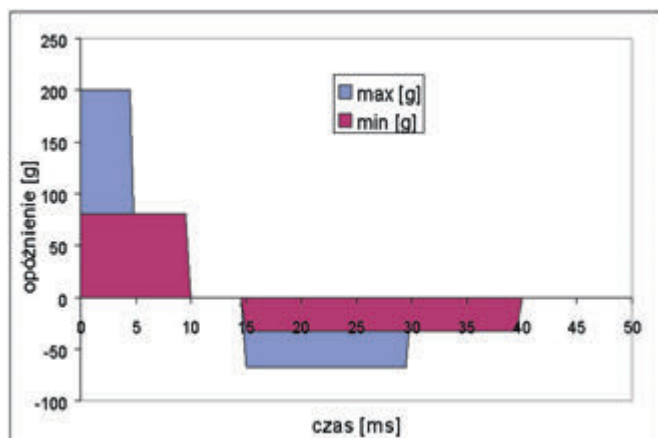
Rys. 3. Symulacja numeryczna wyrzutu skały z ociosu w poszycie boczne (po lewej) oraz słup konstrukcji chroniącej (po prawej)



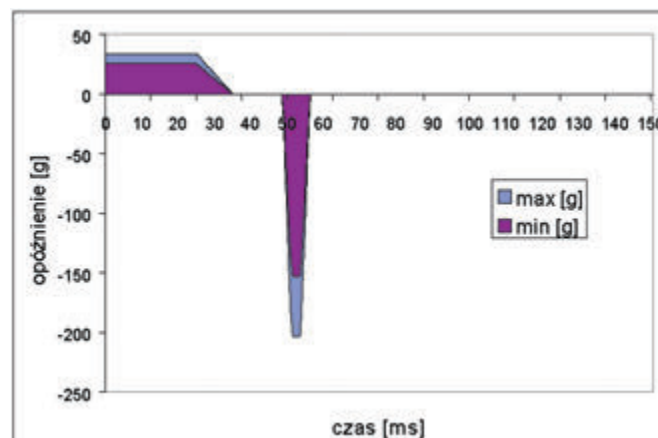
Rys. 4. Wyniki symulacji numerycznej wyrzutu kabiny w górę podczas wypiętrzenia spągu w kopalni podziemnej (a - Face Master 2.3, b - Roof Master 2.3 ARD-E, c - SLP 8)



Rys. 5. Wyniki symulacji numerycznej wyrzutu skały z ociosu w poszycie boczne (po lewej) oraz słup konstrukcji chroniącej (po prawej) (a, b – Face Master 2.3, c, d – Roof Master 2.3 ARD-E, e, f – SLP 8)



Rys. 6. Parametry kinematyczne przeprowadzenia próby uderzenia bocznego



Rys. 7. Parametry kinematyczne przeprowadzenia próby uderzenia pionowego (uderzenie w strop)

nażonej na tego typu sytuację wypadkową, znajdujące się z boku maszyny oraz w słup konstrukcji chroniącej.

Wyniki

Analizowane było przyspieszenie, działające w środku ciężkości operatora maszyny wraz z fotelem, w funkcji czasu. Wyniki uzyskane z symulacji zostały przedstawione na wykresach (rys. 4 i 5).

W wyniku symulacji wypiętrzenia spągu (rys. 4) otrzymano znacznie większe wartości przyspieszeń niż ma to miejsce przy wyrzucie skał bocznych. W każdej z trzech konstrukcji chroniących maksymalne obciążenie, powstałe w początkowej fazie uderzenia kabiny w strop, było zbliżone i wynosiło około 1000 g przy czasie trwania około 1 ms, co jest konsekwencją znacznej sztywności ustroju nośnego kabiny. W dalszej fazie symulacji wartości przyspieszeń są znacznie mniejsze.

W przypadku analizy zjawiska bocznego wyrzutu skał (rys. 5) otrzymane przyspieszenia różniły się i zależały w znacznej mierze od odległości, w jakiej znajduje się operator wraz z fotelem oraz od lokalnej sztywności konstrukcji chroniącej. Zjawisko to jest dobrze widoczne podczas uderzenia obciążnika w poszycie boczne konstrukcji chroniącej maszyny SLP 8 (rys. 5 e). Poszycie w tej kabinie znajduje się w niewielkiej odległości od fotela operatora.

Podsumowanie

Badania pozwoliły na określenie wartości obciążeń działających na operatorów maszyn górniczych podczas różnych sytuacji wypadkowych, powodowanych tąpnięciami. Wiedza ta umożliwi opracowanie środków zapobiegających skutkom

zjawisk zachodzących w kopalniach podziemnych podczas ruchu górotworu, stanowiących zagrożenie dla zdrowia i życia operatorów maszyn. Pozwoli to na rozwój dalszych, bardziej zaawansowanych badań z wykorzystaniem manekinów numerycznych, w których uwzględniane będą najcięższe przypadki obciążeń dynamicznych działających na operatora.

Przeprowadzone symulacje numeryczne umożliwiły opracowanie wytycznych do przyszłych badań polegających na:

- symulacji uderzenia bocznego (wyrzut skał z ociosu),
- symulacji wypiętrzenia spągu.

W przypadku symulacji uderzenia bocznego zamocowany fotel wraz z ustawionym manekinem należy poddać badaniu, w którym następuje ruch platformy (w płaszczyźnie równoległej do podłoża – poziomej), do której fotel jest zamocowany w dwóch prostopadłych kierunkach, z prędkością 10 m/s, w których jeden z nich leży na płaszczyźnie symetrii operatora. Zatrzymanie platformy powinno nastąpić z wymuszeniem kinematycznym przedstawionym na rysunku 6, mieszczącym się w przedziale wyznaczonym przez wartość minimalną i maksymalną (krzywe graniczne). Ponadto średnie przyspieszenie powinno zawierać się między 53,8 a 65,5 g do momentu uderzenia i pomiędzy 32,3 a 38,7 g po uderzeniu (opóźnienie).

W przypadku symulacji wypiętrzenia spągu zamocowany fotel wraz z ustawionym manekinem należy poddać badaniu, w którym następuje ruch pionowy platformy, do której fotel jest zamocowany z prędkością wynoszącą 10 m/s. Zatrzymanie platformy powinno nastąpić z wymuszeniem kinematycznym przedstawionym na rysunku 7, mieszczącym się w przedziale wyznaczonym przez wartość minimalną i maksymalną (krzywe graniczne). Ponadto średnie przyspieszenie powinno zawierać się między 18 a 20 g do momentu uderzenia i pomiędzy 95,6 a 125 g po uderzeniu (opóźnienie).



Prowadzone badania są współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego oraz ze środków Urzędu Marszałkowskiego województwa dolnośląskiego w ramach programu Grant Plus.

Literatura

- [1] www.wug.gov.pl, 12.2013,
- [2] Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T., Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych. Oficyna Wydawnicza PWR., 2000
- [3] Goszcz A., Elementy mechaniki skał oraz tąpnięcia w polskich kopalniach węgla i miedzi, IGSMiE PAN, Kraków 1999
- [4] Derlukiewicz D., Karliński J., Iluk A., The operator protective structures testing for mining machines. Solid State Phenomena. 2010, vol. 165, s. 256-261
- [5] Karliński J., Rusiński E., Smolnicki T., Protective structures for construction and mining machine operators. Automation in Construction. 2008, vol. 17, nr 3, s. 232-244

