

Wpływ gruzowiska zawałowego na osłonę odzawałową i zachowanie się sekcji lemniskatowej obudowy ścianowej

W artykule przedstawiono propozycję wyznaczania oddziaływania gruzowiska zawałowego na osłonę odzawałową i zachowanie się sekcji lemniskatowej obudowy ścianowej ilustrując ją przykładowymi obliczeniami.

1. WPROWADZENIE

Powszechnie uznawany model [1] przedstawiający sytuację w ścianowym przodku wydobywczym, służący do wyznaczania obciążenia sekcji obudowy zabezpieczającej przedział technologiczny wyrobiska przed oddziaływaniem skał stropowych nie jest adekwatny do wszystkich warunków w jakich prowadzi się wybieranie węgla z zalegających w górotworze pokładów.

Równocześnie do formuł matematycznych wyznaczających obciążenie dla sekcji obudowy, generowane skutkiem odprężenia się skał i ujawniania się ich konwergencji, wprowadza się opór zwany podpornością, jakim obudowa może przeciwstawić się obciążeniu [1]. Obie wielkości, tj. obciążenie i podporność są wielkościami wektorowymi, a formułami matematycznymi wyznacza się tylko ich wartość. Zakłada się więc, że obie te wielkości w stanie równowagi skał będą miały wspólną prostą działania, co w realnych warunkach jest trudne do spełnienia. Konieczna jest więc analiza przyjętego modelu i ustalenie w jakich przypadkach będzie on użyteczny, a dla jakich sytuacji obciążenia sekcji obudowy koniecznym staje się opracowanie nowych modeli lub korekta modelu dotychczas stosowanego. Taką sytuacją jest obciążenie sekcji obudowy nie tylko skałami stropowymi, ale również obciążenie ich osłony odzawałowej rumowiskiem zawałowym, które może w pewnych przypadkach mieć znaczące wartości.

W artykule przedstawiono wpływ rumowiska zawałowego na osłonę odzawałową i zachowanie się sekcji lemniskatowej obudowy ścianowej. Podano warunki w jakich dochodzi do zasypywania częściowego lub całkowitego osłony odzawałowej.

Zaproponowany sposób określania obciążeń sekcji gruzowiskiem zawałowym zilustrowano przykładowymi obliczeniami.

2. ZACHOWYWANIE SIĘ SKAŁ STROPOWYCH W WYROBISKU ŚCIANOWYM

Stosowane powszechnie w wyrobiskach ścianowych z eksploatacją na zawał obudowy podporowo-osłonowe zestawiane są w zasadzie z sekcji lemniskatowych.

Sekcje te mogą przyjmować obciążenie na stropnicy, ale również na osłonę odzawałową gdy skały stropu załamują się na końcu stropnicy, a gruzowisko skał stropowych zasypuje osłonę odzawałową [2].

Zjawisko to, w zależności od właściwości skał otaczających wyrobisko może występować w każdym cyklu pracy obudowy lub nawet co kilka cykli pracy obudowy. Osłona odzawałowa może być zasypywana gruzowiskiem skalnym w różnym stopniu. Zależy to od charakterystyki gruzowiska zawałowego i od nachylenia wyrobiska, ale przede wszystkim od zasięgu zawału w głąb stropu.

Pojawia się więc problem czy wyznaczać obciążenie osłony odzawałowej, nawet w przypadku, gdy

jest całkowicie zasypywana rumowiskiem skalnym, ale nie w każdym cyklu pracy obudowy, a także na jaką sytuację projektować czy dobierać obudowę. Czy dla zasypanej osłony odzawałowej sytuacja jest bardziej krytyczna np. od tej gdy strop ma znaczną rozpiętość samonośną i znacznie przewiesza za stropnicę obudowy. Jest jeszcze jedna bardzo istotna sytuacja, gdy strop znacznie przewiesza okresowo za stropnicę i załamuje się przed frontem ściany, a w pewnych cyklach wskutek tego, że skały stropowe nie rozpadają się na gruz, tylko zawisają na końcu stropnic albo jeszcze co gorsze na osłonie odzawałowej [5]. W teorii preferowanego modelu [2] wyróżnia się trzy sytuacje w wyrobisku ścianowym ze względu na kształtowanie się obciążenia dla sekcji podporowo-osłonowej.

Kryterium, na podstawie którego wyróżnia się poszczególne sytuacje stropowe skutkujące różnym poziomem obciążenia sekcji obudowy jest krawędź przegięcia linii stropu [2], a ściślej jej położenie w odniesieniu do ociosu ściany. Położenie krawędzi przegięcia stropu jest kategorią teoretyczną, wielkością w praktyce trudną, wręcz niemożliwą do dostrzeżenia. Kryterium nie ma więc waloru praktycznego. Teoria nie podaje, czy w wyrobisku ścianowym występują symptomy dostrzegalne, na podstawie których można by sytuację klasyfikować i przesądzać o poziomie spodziewanego obciążenia sekcji obudowy.

Z doświadczeń zebranych z praktyki wynika, że pomimo występowania w skałach stropowych nad eksploatowanymi pokładami różnych warunków, sytuacje jakie kształtują się w stropach nad wyrobiskami ścianowymi można wyróżnić i scharakteryzować trzema modelami. Podstawę wyróżnienia modeli dają symptomy i obrazy sytuacji łatwe do zaobserwowania w procesie destrukcji skał oraz powstawania zawałów za obudową ścianowego przodka wydobywczego.

Rozróżnić można następujące typowe sytuacje:

- skały mogą kruszyć się na bryły o różnych rozmiarach i kształtach oraz opadać do pustki wyrobiska zaraz za końcem stropnic [1,2], (rys. 1),
- skały mogą opadać do pustki wyrobiska po oddzieleniu się od calizny w pewnej odległości za końcem stropnic po pokruszeniu się w strefie naturalnego sklepienia (rys. 2). Opadanie gruzu skalnego może występować po każdym cyklu pracy obudowy lub po kilku cyklach w zależności od rozpiętości samonośnej stropu.
- skały stropowe mogą rozwarstwiać się i łamać na bryły o znacznej rozpiętości albo wcześniej podzielone powierzchniami spękań, utrzymywać się na obudowie dużymi blokami. W obu przypadkach do

pustki wyrobiska dostają się po kilku cyklach pracy obudowy w wyniki zsunęcia się z obudowy po przesunięciu jej za początek bryły skalnej (rys. 3).

Kształt i rozmiary brył gruzowiska skalnego a także bloków skalnych oraz rozpiętość stropów samonośnych przewieszających za stropnicę zależy jest od stratygrafii i wytrzymałościowych właściwości skał z warstwy stropowej, a dla danych warunków skalnych zmienia się wraz z powiększaniem się głębokości zalegania tej warstwy. Na zachowanie się skał stropowych, ale również kopaliny wybieranej w określonej odległości od ociosu ściany ma wpływ również postępowanie wybierania. Efekt wpływu wymienionych czynników można oceniać, szczególnie mierzyć na podstawie współczynnika rozluźnienia skały k_φ i współczynnika konsolidacji gruzowiska ε wyrażającego procentowe osiadanie, czyli zmniejszanie jego wysokości. Od obu wielkości zależy grubość warstwy skał stropowych ulegających odprężeniu i rozwarstwieniu oraz pokruszeniu, a w konsekwencji wypełnienie pustki wyrobiska (rys.1, 2, 3). Grubość warstwy skał stropowych H_z jest istotną wielkością wyznaczającą ciężar skały utrzymywanej na stropnicy sekcji obudowy, ewentualnie również na jej osłonie odzawałowej.

Dla skał utrzymywanych na stropnicy sekcji grubość warstwy określa zależność:

$$H_z = H \cdot \frac{1}{k_\varphi - 1} \quad (1)$$

Osłonę odzawałową zasypuje gruz skalny powstały z warstwy o grubości:

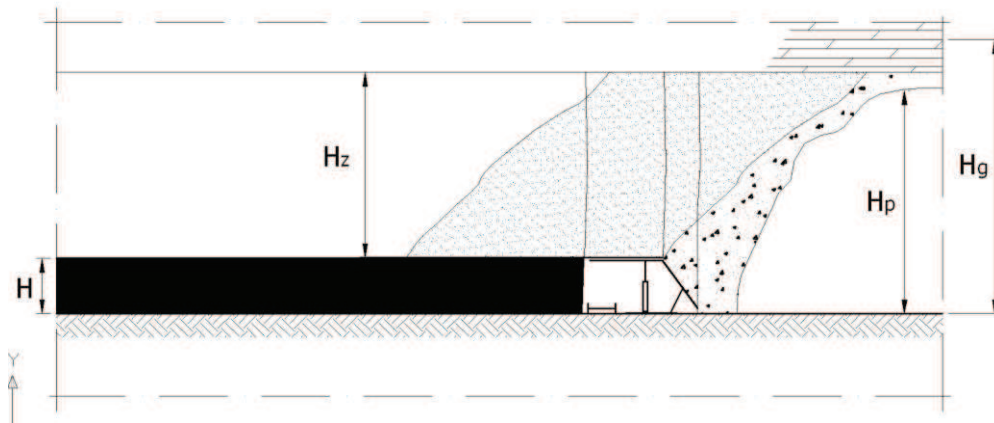
$$H_g = H \cdot \frac{(1 + \varepsilon) \cdot k_\varphi - 1}{(k_\varphi - 1)^2} \quad (2)$$

lub wyrażonej za pomocą procentowego zmniejszenia wysokości warstwy gruzu zawałowego o grubości:

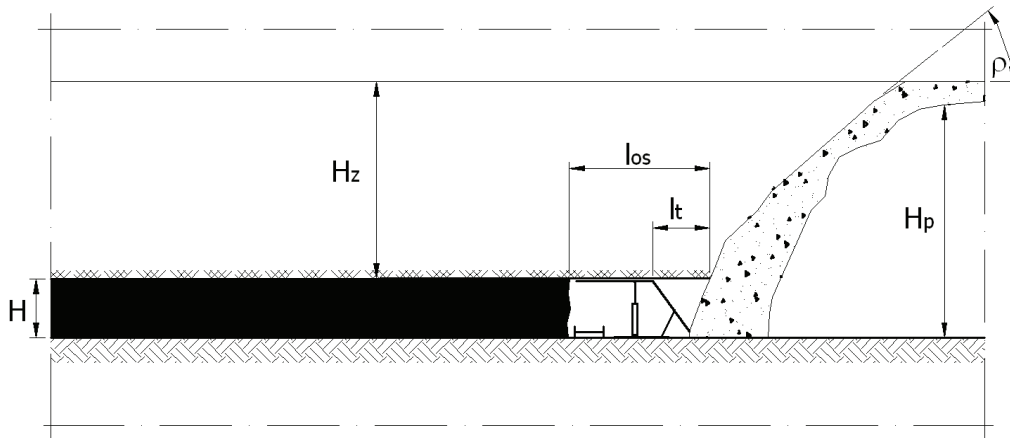
$$H_g = H \cdot \frac{[100 + p \cdot (k_\varphi - 1)] \cdot k_\varphi - 100}{100 \cdot (k_\varphi - 1)^2} \quad (3)$$

dlatego, że pomiędzy wskaźnikiem zmniejszenia wysokości warstwy gruzu zawałowego p pod wpływem osiadającego na nim skał stropu zasadniczego i współczynnikiem ścisłości gruzu zachodzi zależność:

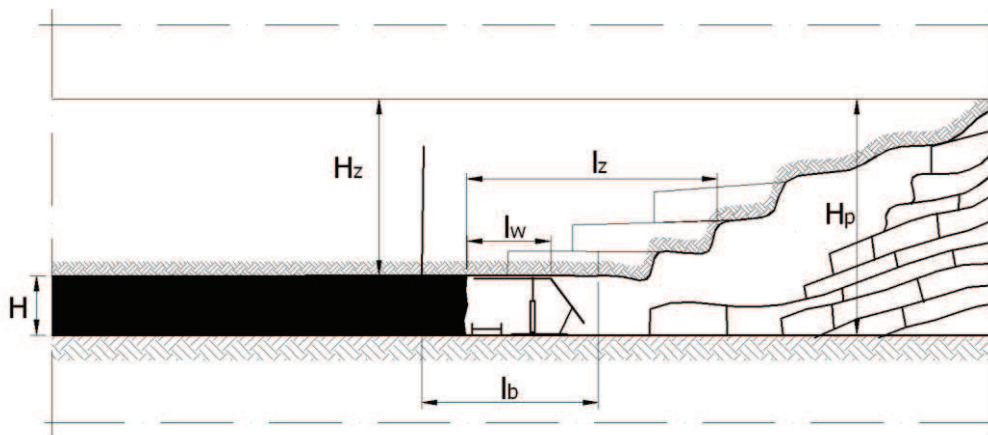
$$\varepsilon = \frac{p}{100} \cdot (k_\varphi - 1) \quad (4)$$



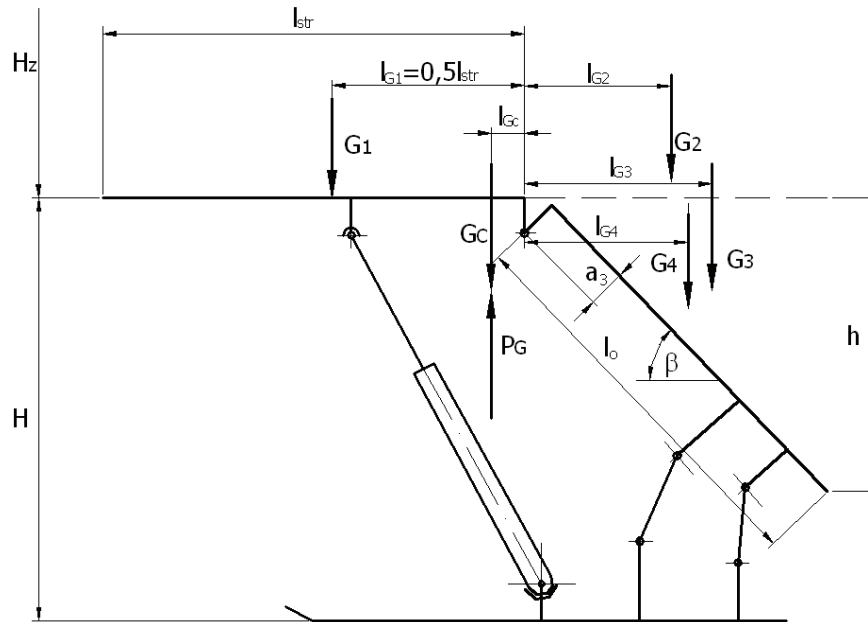
Rys. 1. Sytuacja w przodku ścianowym przy stropie dostarczającym gruz zawałowy całkowicie zasypujący sekcję obudowy



Rys. 2. Sytuacja w przodku ścianowym przy stropie przewieszającym za stropnicę i okresowo dostarczającym gruz zawałowy wypełniający pustkę wyrobiska



Rys. 3. Sytuacja w przodku ścianowym przy stropie podzielonym na bloki lub rozwarstwiający się złamaniem się warstw na bloki



Rys. 4. Obciążenia działające na sekcję obudowy całkowicie zasypaną gruzem zawałowym

Proces zmniejszania wysokości gruzowiska zawałowego ustaje po jego konsolidacji przywracającej stan równowagi naprężeń w ośrodku skalnym. W stanie równowagi naprężeń gruzowisko zawałowe wypełnia pustkę wyrobiska o zasięgu H_p . Gruzowisko zawałowe wypełniające pustkę i podszadzające strop zasadniczy nad wyrobiskiem pochodzi z warstwy o grubości H_g , czyli:

$$H_p = H_g + H = H \cdot \frac{(1 + \varepsilon) \cdot k_\varphi + (k_\varphi - 1)^2 - 1}{(k_\varphi - 1)^2} \quad (5)$$

albo

$$H_p = H \cdot \frac{[100 + p \cdot (k_\varphi - 1)] \cdot k_\varphi + 100 \cdot [(k_\varphi - 1)^2 - 1]}{100 \cdot (k_\varphi - 1)^2} \quad (6)$$

W górotworze, gdy spełnione będą warunki (5) lub (6) spodziewać należy się, że gruzowisko zawałowe zasypywać będzie całkowicie obudowę i obciążać osłony odzawałowe jej sekcji. W innych przypadkach, gruzowisko zawałowe będzie tworzyło się, a zwłaszcza do zasięgu podszadzającego strop zasadniczy w znacznych odległościach za przodkiem wydobywczym. Wtedy, należy spodziewać się, że obudowę będą obciążały skały z warstwy stropu o grubości wyznaczonej z zależności (1).

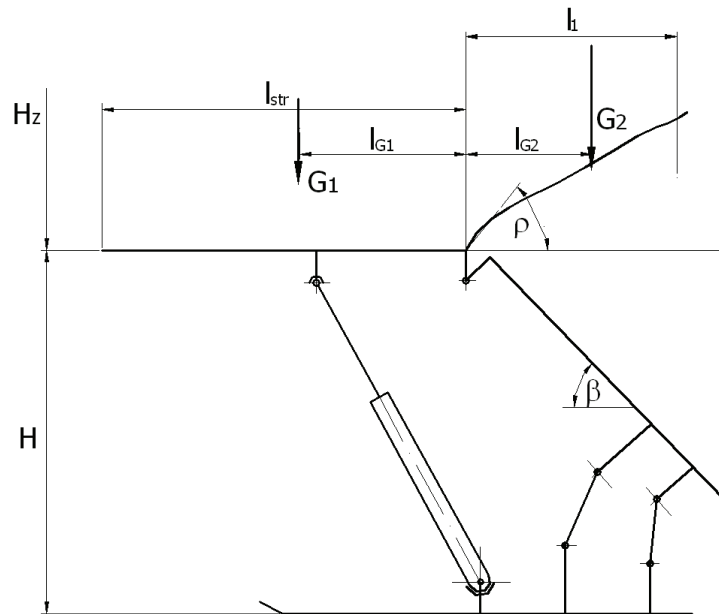
3. OBCIĄŻENIE SEKCJI ZASYPANEJ GRUZOWISKIEM ZAWAŁOWYM

Obciążenia dla sekcji obudowy podporowo-osłonowej można wyznaczać na podstawie schematów przedstawionych na rys. 4, 5, 6. Schemat z rys. 4 odpowiada sytuacji w przodku wydobywczym (rys. 1), na podstawie którego można rozróżnić trzy bryły odpowiednio o ciężarach G_1 , G_2 i G_3 . Sytuacji z rys.2 odpowiada schemat z rys. 5, na którym wyróżnia się dwie bryły stropu odpowiednio o ciężarze G_1 i G_2 z tym, że w przekroju pionowym bryła o ciężarze G_2 będzie mieć formę trójkąta o boku leżącym naprzeciw kąta prostego zaczynającym się na końcu stropnicy lub w określonej odległości na końcu rozpiętości stropu samonośnego. W drugim przypadku blok skalny o ciężarze G_1 będzie miał długość l_1 większą od długości stropnicy l_{str} . Nachylenie boku bryły warstwy stropu leżącego naprzeciw kąta prostego formy trójkątnej wyznacza kąt naturalnego stoku ρ , zależny od właściwości wytrzymałościowych skał warstwy stropu i głębokości zalegania. Rys.6 pokazuje, że blok skały stropowej może być w różnej konfiguracji do stropnicy sekcji obudowy. Może spoczywać jednym końcem na wybranym pokładzie, a drugim przewieszać za obudowę bez podparcia (linia przerywana); może drugim końcem sięgać tylko do końca stropnic. Bryła stropu może mieć swój początek na początku stropnic, a drugim końcem przewieszać za koniec stropnic bez podparcia lub z podparciem na gruzowisku skalnym. W skrajnym przypadku bryła stropu

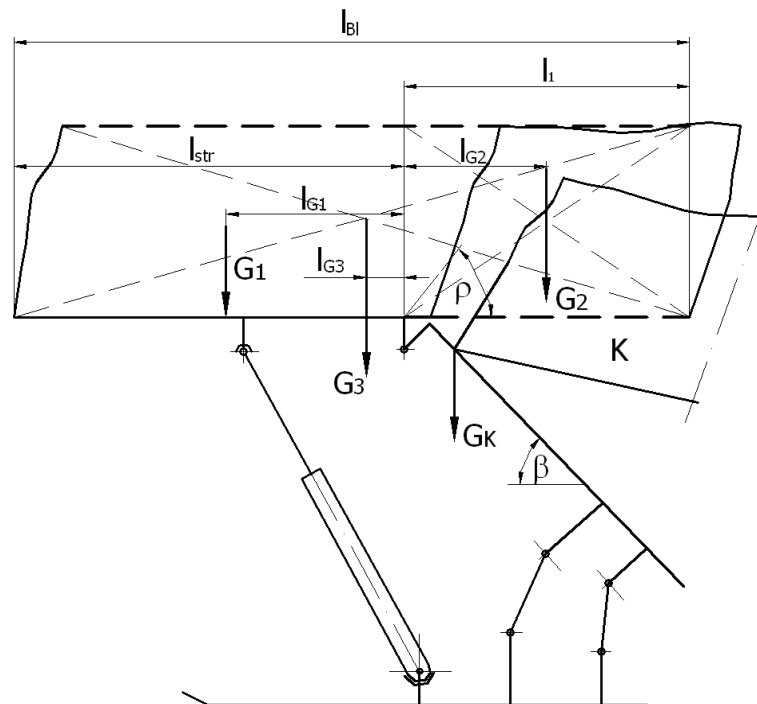
swoim początkiem może spoczywać na końcu stropnic lub nawet na osłonie odzawałowej, a drugim końcem opierać się na gruzowisku skalnym daleko za obudową.

W zależności od tworzących się bloków skalnych należy rozpoznać najbardziej krytyczny przypadek i dla niego wyznaczyć obciążenie sekcji jako podstawę

do jej projektowania lub dobierania. Zawsze dla obciążenia sekcji obudowy należy wyznaczyć jego wartość i położenie prostej działania w odniesieniu od końca stropnicy. Wymóg ten jest konieczny ze względu na podporność sekcji określoną przez wartość i położenie na długości stropnicy prostej jej działania.



Rys. 5. Obciążenia działające na sekcję obudowy stropem przewieszającym się za stropnicę



Rys. 6. Obciążenia działające na sekcję obudowy stropem blokowym

Obciążenia sekcji obudowy całkowicie zasypanej gruzowiskiem zawałowym

Obliczane wielkości	Współczynnik rozluźniania skały zawału, k_φ			
	$k_\varphi = 1,2$		$k_\varphi = 1,5$	
	$p = 5\%$ $\varepsilon = 0,01$	$p = 15\%$ $\varepsilon = 0,03$	$p = 5\%$ $\varepsilon = 0,01$	$p = 15\%$ $\varepsilon = 0,03$
Obciążenie G_1 , kN	2120,6	2120,6	848,2	848,2
Obciążenie G_2 , kN	1146,0	1275,7	464,9	529,8
Obciążenie G_3 , kN	44,5	44,5	44,5	44,5
Obciążenie G_4 , kN	1190,5	1320,2	509,4	574,3
Obciążenie G_C , kN	3311,1	3440,8	1357,6	1422,5
Współrzędne obc. $G_1 - l_{G1}$, mm	1885	1885	1885	1885
Współrzędne obc. $G_4 - l_{G4}$, mm	973	972	989	986
Współrzędne obc. $G_C - l_{Gc}$, mm	1339	1280	516	487
	$G_4 = G_2 + G_3$		$G_C = G_1 + G_4$	

Obciążenie sekcji zasypanej gruzowiskiem zawałowym wynika z ciężaru bryły skał utrzymywanej na stropnicy i gruzowiska zawałowego utrzymywanego na osłonie odzawałowej (rys. 1 i 4).

Pojedynczą sekcję obudowy w jej cyklu pracy może obciążać na stropnicy bryła o ciężarze:

$$G_1 = \gamma \cdot t \cdot l_{str} \cdot H_Z = \gamma \cdot t \cdot l_{str} \cdot H \cdot \frac{1}{k_\varphi - 1} \quad (7)$$

i współrzędnej prostej działania:

$$l_{G1} = 0,5 \cdot l_{str} \quad (8)$$

Oslona odzawałowa sekcji zasypana gruzem zawałowym może być poddana ciężarowi G_4 działającemu na prostej działania o współrzędnej l_{G4} :

$$G_4 = G_2 + G_3 \quad (9)$$

$$l_{G4} = \frac{G_2 \cdot l_{G2} + G_3 \cdot l_{G3}}{G_4} \quad (10)$$

Wartości obciążeń G_2 i G_3 i współrzędnych ich działania l_{G2} , l_{G3} wyznaczają następujące zależności:

$$G_2 = \gamma \cdot t \cdot H (l_0 \cdot \cos \beta + a_3 \cdot \sin \beta) \cdot \frac{(1 + \varepsilon) \cdot k_\varphi - 1}{(k_\varphi - 1)^2} \quad (11)$$

$$l_{G2} = -\frac{l_0 \cdot \cos \beta + a_3 \cdot \sin \beta}{2} \quad (12)$$

$$G_3 = 0,5 \cdot \gamma \cdot t \cdot l_0 [l_0 \cdot \cos \beta + a_3 \cdot \sin \beta] \cdot \sin \beta \quad (13)$$

$$l_{G3} = -2 \cdot \frac{l_0 \cdot \cos \beta + a_3 \cdot \sin \beta}{3} \quad (14)$$

Wartość całkowitego obciążenia sekcji wynosi:

$$G_C = G_1 + G_4 \quad (15)$$

a współrzędną prostej jego działania wyznacza zależność:

$$l_{Gc} = \frac{G_1 \cdot l_{G1} - 2 \cdot G_4 \cdot l_{G4}}{2 \cdot G_C} \quad (16)$$

Dla zilustrowania przedstawionej propozycji obliczeń obciążenia sekcji podporowo-osłonowej skałami stropowymi i rumowiskiem zawałowym wykonano przykładowe obliczenia, przyjmując zgodnie z oznaczeniami na rys. 4 następujące dane:

- wysokość rozparcia sekcji, $H = 3$ m,
- długość stropnicy, $l_{str} = 3770$ mm,
- długość osłony odzawałowej, $l_0 = 2210$ mm,
- odległość osłony odzawałowej od przegubu, $a_3 = 160$ mm,
- kąt nachylenia osłony odzawałowej, $\beta = 34^\circ$.

Obliczenia postanowiono wykonać dla dwóch wartości współczynnika rozluźniania skały zawału: $k_\varphi = 1,2$ i $k_\varphi = 1,5$ oraz dla 2 wartości wskaźnika procentowego zmniejszenia wysokości rumowiska zawałowego $p = 5\%$ i $p = 15\%$.

Wyznaczone wartości obciążeń działających na stropnicę sekcji i osłonę odzawałową oraz współ-

rzędne ich działania zestawiono w tabeli 1. Wynika z niej, że znaczącymi dla obudów są obciążenia G_1 , G_2 i G_4 . Podane wartości dotyczą sekcji rozpartej na wysokości 3 m, dla której wartość kąta nachylenia osłony odzawałowej $\beta = 34^\circ$.

Zamieszczone w tabeli 1 wartości obciążeń powinny stanowić podstawę do projektowania lub doboru sekcji podporowo-osłonowej do wyrobiska ścianowego o danej charakterystyce gruzowiska zawałowego, którą można określić np. w warunkach laboratoryjnych na próbkach skały pobranej ze zrobów wyrobiska (strefy zawałowej).

4. ZAKOŃCZENIE

Na podstawie przykładowych wyników obliczeń wykonanych dla modelu przedstawiającego sytuację w przodku wyrobiska z warstwą skał stropowych łatwo odprężających się i kruszących, dostarczających gruzowisko zawałowe w ilości wystarczającej do wypełnienia pustki i podsadzenia stropu w krótkim czasie za postępowaniem wybierania węgla, a przez to do całkowitego zasypywania obudowy wynika, że:

- przyjęty model odpowiada rzeczywistej sytuacji w wyrobisku, a w szczególności przyjęte do opisu wielkości pozwalają prostymi formułami uwzględnić wpływy zróżnicowanych warunków występujących w górotworze. Wartości wyznaczonych obciążeń dla sekcji obudowy potwierdzone są w praktyce.
- wyniki obliczeń wykazują, że w warunkach, w których gruzowisko zawałowe zasypuje obudowę całkowicie obciąża ją znacząco w odniesieniu do obciążenia wywieranego na stropnicę (tab. 1). Obciążenie działające na osłonę odzawałową w zależności od warunków stanowi od 50 do 70% obciążenia przyjmowanego na stropnicę. W przypadku niecałkowitego zasypywania osłony odzawałowej gruzowiskiem zawałowym wpływ jego na obciążenie sekcji jest mało znaczący.
- metoda wyznaczania obciążenia sekcji bez uwzględniania jej podporności za pomocą prostych formuł matematycznych pokazuje wpływ czynników kształtujących to obciążenie, a wyznaczanie wartości obciążenia i położenia jego prostej działania na długości stropnicy pozwala na odniesienie obciążenia sekcji do jej podporności, wyznaczonej metodą analityczną, dającą dokładne wyniki, określonej wartością podporności i położeniem prostej jej działania na długości stropnicy.

Literatura

1. *Biliński A., Kostyk T., Prusek St.*: Zasady doboru obudowy zmechanizowanej dla wyrobisk ścianowych. Miesięcznik WUG. Katowice 1997, nr 3.
2. *Stoiński K., Kostyk T.*: Aktualne tendencje w doborze zmechanizowanych obudów ścianowych do pokładów tąpniących. Materiały z Konferencji N-T nt. „Zabezpieczenie systemów mechanicznych w górnictwie przed skutkami oddziaływania dużych energii”. CMG KOMAG. Gliwice-Ustroń, listopad 2004.
3. *Losiak St.*: Możliwości wyznaczania podporności obudowy ścianowej na podstawie teorii fali ciśnienia w ujęciu Budryka. Kwartalnik Mechanika T.2, z.2. AGH Kraków, 1983.
4. *Losiak St., Krauze K., Ptak J., Blaschke J.*: Model matematyczny sekcji obudowy z zawieszeniem lemniskatowym. Materiały z Konferencji N-T nt. „Matematyczne metody i technika komputerowa w górnictwie”, t. III. Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Wrocław-Szklarska Poręba 1987.
5. *Cieślak J., Gorczyński H.*: Analiza i rozkład obciążeń w głównych węzłach i zespołach sekcji obudowy ścianowej przy eksploatacji pokładów, w stropie których zalega gruba warstwa piaskowca. Materiały z Międzynarodowej Konferencji nt. „Kompleksy ścianowe o dużej koncentracji wydobycia w warunkach technicznej restrukturyzacji polskiego górnictwa. CMG KOMAG. Gliwice-Szczyrk, listopad 1999.

Recenzent: prof. hab. dr inż. Ryszard Krauze