ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: GÓRNICTWO z. 254 Nr kol. 1563

Janusz KONIOR
Politechnika Śląska, Gliwice

WPŁYW STÓP SZYBOWYCH NA ZACHOWANIE SIĘ OBUDOWY SZYBU W WARUNKACH EKSPLOATACJI DOFILAROWEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiono rozważania teoretyczne dotyczące zachowania się stóp szybowych i ich wpływu na wzrost naprężeń ściskających w obudowie, w warunkach oddziaływania wpływów eksploatacji dofilarowej.

THE INFLUENCE OF THE CURB UPON THE BEHAVIOUR OF THE SHAFT LINING IN THE CASE OF ADVANCING WORKING

Summary. The paper deals theoretically with the behaviour of the curbs and its influence on the increase of compressive stresses in the lining affected by advancing mining.

1. Wprowadzenie

W wyniku prowadzenia eksploatacji górniczej do granic filara ochronnego dla szybu powstają w miejscu szybu dodatkowe odkształcenia górotworu, które w przypadku obudowy posiadającej stopy szybowe mogą spowodować jej uszkodzenia. W celu określenia, czy w obudowie szybu wystąpią naprężenia graniczne, zachodzi konieczność przeanalizowania wielkości tych naprężeń na poszczególnych głębokościach, z uwzględnieniem przyrostów naprężenia i odkształcenia spowodowanych prowadzoną do granic filara ochronnego eksploatacją górniczą.

2. Określenie wielkości oporów ścinania na kontakcie obudowa-górotwór i przyrostów naprężeń w obudowie szybu, przy znanych wielkościach ciśnienia górotworu na obudowę szybu w poszczególnych warstwach

W wyniku oddziaływania eksploatacji dofilarowej może wystąpić poślizg skał na kontakcie obudowa-górotwór oraz poślizg skał względem stopy z równoczesnym wgniataniem się stopy do skał, podczas którego mogą być przekroczone w obudowie szybu nie tylko naprężenia obwodowe, ale również pionowe i mogą powstawać strefy złuszczeń obudowy.

Obudowa szybów ma przeważnie znacznie większy współczynnik sprężystości E od skał otaczających i w wyniku zaistnienia pionowych odkształceń ściskających występuje zjawisko powstania na kontakcie obudowy z górotworem naprężeń ścinających. Wynikają one z różnicy odkształceń górotworu ε_{zg} i obudowy ε_{ob}.

W tych warunkach, gdzie odkształcenia obudowy szybu są równe odkształceniom górotworu, nie występuje ścięcie warstw górotworu względem zewnętrznego obrysu obudowy. Przyrost naprężeń na kontakcie obudowa-górotwór można określić z zależności:

$$\sigma_g = \Delta\varepsilon * E_g \tag{1}$$

Z warunku stanu granicznego wynika zależność:

$$\tau_g = p * tg\varphi + c \tag{2}$$

gdzie:

p – ciśnienie na obudowę szybu, [MPa],

φ – kąt tarcia na kontakcie obudowa-górotwór, [°],

c – spójność (kohezja) na kontakcie obudowa-górotwór, [MPa].

Jeżeli odkształcenia obudowy są mniejsze od odkształceń górotworu, to może wystąpić ścinanie warstw skalnych względem obudowy szybu.

Występujące naprężenia ścinające τ powodują wzrost naprężeń w obudowie szybu, którego wielkość można obliczyć z zależności:

$$\Delta\sigma_{ob} = \int_0^h \frac{\tau * 2\pi * a * dh}{F_c} \tag{3}$$

gdzie:

$\tau = p * tg\varphi + c$

φ – kąt tarcia na kontakcie obudowa-górotwór, [°],

c – spójność (kohezja) na kontakcie obudowa-górotwór, [MPa].

F_c – pole przekroju poprzecznego obudowy szybu, [m^2].

$$F_c = \frac{\pi\left[D^2 - (D-2d)^2\right]}{4} \tag{4}$$

gdzie:

D – średnica zewnętrzna obudowy szybu D = 2a, [m],

d – grubość obudowy szybu, [m].

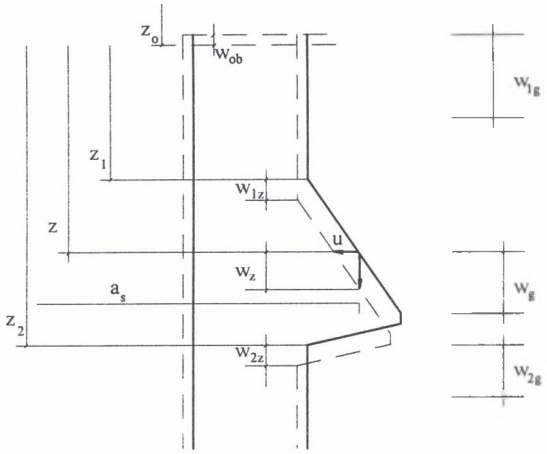
W artykule rozpatrzono przypadek, w którym zaistniałe naprężenia w obudowie szybu są mniejsze od stanu granicznego, mimo zaistnienia „poślizgu" górotworu względem obudowy szybu i są przekazywane na stopę szybową. Jeżeli występujące naprężenia pod stopą szybową przekraczają nośność warstwy skalnej, to występują plastyczne deformacje pod stopą, a w przypadku gdy skały posiadają dużą wytrzymałość, większą od wytrzymałości stopy to może wystąpić zjawisko ścięcia stopy.

Ponieważ obecnie stopy projektuje się głównie w celu posadowienia obudowy szybu w warstwach nadkładu o mniejszej wytrzymałości od obudowy szybu, więc w dalszej części rozważań przyjęto, że stopy mają taką wytrzymałość, iż w niekorzystnych warunkach w przypadku wystąpienia stanu granicznego ulegają wgniataniu w skały.

W większości szybów zaprojektowane stopy szybowe spełniają swoje zadanie zgodnie z przeznaczeniem, przy którym zachowana jest stateczność obudowy szybu, mimo wystąpienia odkształceń górotworu wynikających z eksploatacji dofilarowej. Stan taki występuje wówczas, gdy mimo zaistnienia ścinania górotworu względem obudowy naprężenia w obudowie i stopach szybowych nie przekraczają wielkości granicznych.

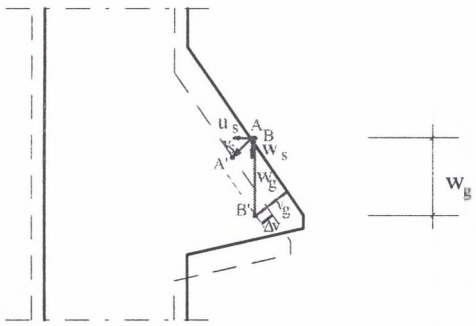
Tam, gdzie występuje poślizg górotworu w stosunku do obudowy szybu, ujawnia się w znacznym stopniu oddziaływanie stóp szybowych, gdyż stopy te z uwagi na to, iż posiadają większe wymiary od obudowy, powodują zwiększenie płaszczyzn ścinania względem otaczającego górotworu. Zagadnienie takie obserwuje się również podczas wgniatania klina do innego materiału.

Schemat zachowania się stopy przed i po wystąpieniu deformacji górotworu przedstawiono przykładowo na rys. 1.



Rys. 1. Schemat zachowania się stopy szybowej przed i po wystąpieniu deformacji górotworu
Fig. 1. Diagram of the behaviour of the curb before ond after the deformation of the orogen

Linią przerywaną przedstawiono położenie stopy, gdzie w wyniku parcia bocznego górotworu wystąpiły przemieszczenia radialne obudowy, a w wyniku oddziaływania naprężeń ścinających od poślizgu górotworu względem obudowy podczas jego osiadania wystąpiło względne przemieszczenie stopy w stosunku do stanu początkowego.



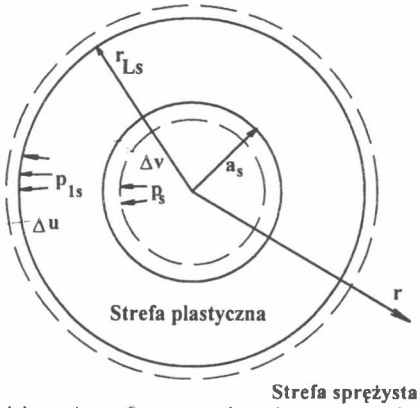
Rys. 2. Zmiana położenia punktów A i B na styku stopy z górotworem w przypadku wystąpienia wpływów eksploatacji dofilarowej
Fig. 2. Changes in the position of points A and B at the contact of the curb with the orogen in the case when effects of advancing mining do occur

Przyjęto, że w połowie pobocznicy stopy znajduje się punkt A, który uległ obniżeniu i przesunięciu o wielkości w_s i u_s. Przykładowo na rys. 2 podano zmiany położenia początkowego punktu A znajdującego się w połowie pobocznicy stopy i punktu B stykającego się ze stopą i znajdującego się w górotworze w początkowym okresie, tj. przed wystąpieniem wpływów eksploatacji i punktów A' i B' po wystąpieniu wpływów eksploatacji, przy czym oznaczono obniżenie punktu A do A' jako w_s, a punktu B do B' jako w_g.

Przy założeniu, że linie poślizgu górotworu po stopie są równoległe do jej pobocznicy, wynikają następujące zależności:

$$\Delta v = v_g - v_s$$
$$\Delta v = w_g \cos\beta - \sqrt{u_s^2 + w_s^2} \tag{5}$$

W rozważaniach przyjęto uproszczony sposób, w którym w pierwszym etapie założono, że oddziaływanie górotworu na stopy podczas wystąpienia względnego przemieszczenia Δv określonego wzorem (5) można aproksymować do zastępczej czaszy o promieniu a_s przejmującej obciążenie wynikające z tworzącej się strefy odkształceń plastycznych w wyniku wgniotu stopy do skały o promieniu r_{Ls} (rys 3).



Rys. 3. Przebieg oddziaływania strefy sprężystej na plastyczną w rejonie stopy szybowej
Fig. 3. The effects of the behaviour of the elastic zone upon the plastic zone in the vicinity of the curb

Rozkład naprężeń wokół czaszy lub kuli opisany jest podobnymi wzorami, jak wokół cylindra, z tym że naprężenia w czaszy są o połowę mniejsze od naprężeń w otoczeniu walca, a zatem można stosować wzory na naprężenia i odkształcenia wokół walca dobierając odpowiedni współczynnik korekcyjny dla ciśnienia p, który dla walca wynosi $k_s = 1$, zaś dla kuli $k_s = 0{,}5$.

W wyniku wgniatania się stopy szybowej do górotworu tworzy się strefa sprężysta, a następnie może wytworzyć się strefa plastyczna. Położenie promienia granicznego strefy plastycznej można wyznaczyć opierając się na poniższych rozważaniach.

Na granicy strefy sprężystej i plastycznej o promieniu r_{Ls} występują naprężenia radialne σ_r oraz obwodowe σ_θ. Dla $r = r_{Ls}$ i $p_1 = p_{1s}$ wzory te przyjmują postać:

$$\sigma_r = p_{1s}$$
$$\sigma_\theta = 2p - p_{1s} \tag{6}$$

Naprężenia te również powinny spełniać warunek stanu granicznego. W zależności od wielkości naprężeń stan graniczny może być opisany równaniem:

$$\text{dla } \sigma_r > \sigma_\theta \text{ oraz } p_z > \sigma_\theta: \qquad \sigma_r = A * \sigma_\theta + R_c \tag{7}$$

natomiast w strefie plastycznej warunek ten przyjmuje postać:

$$\sigma_r = A * \sigma_\theta + R_o \tag{8}$$

Powyższe zależności dotyczą stanu, w którym naprężenie obwodowe σ_θ jest ściskające i jest mniejsze od σ_r.

W sytuacji gdy pojawi się naprężenie obwodowe σ_θ rozciągające, stan graniczny między strefą sprężystą i plastyczną opisany jest równaniem (7), natomiast w strefie plastycznej warunek ten ma postać (8).

W takiej sytuacji rozpatruje się dwa przypadki rozkładu naprężeń, z których pierwszy dotyczy stanu, w którym naprężenie σ_θ jest najmniejsze i jest ściskające, natomiast w drugim przypadku naprężenie σ_θ jest najmniejsze, ale jest rozciągające, a ponadto $\sigma_\theta < R_r$.

W analogii do poprzednich rozważań dla przypadku 1 uzyskano następujące zależności:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \tag{9}$$

- na granicy strefy sprężystej i plastycznej od strony strefy sprężystej $\sigma_r = p_{1s} \qquad \sigma_\theta = 2p - p_{1s}$,
- z warunku stanu granicznego w postaci: $\sigma_r = A * \sigma_\theta + R_c$ po przekształceniu otrzymano:

$$p_{1s} = \frac{2pA + R_c}{1 + A} \tag{10}$$

- w strefie plastycznej, gdzie występuje zgniatanie materiału, po podstawieniu do warunku równowagi segmentu pierścienia górotworu (9) warunek brzegowy $\sigma_r = A * \sigma_\theta + R_o$ $\Rightarrow \sigma_\theta = \dfrac{\sigma_r - R_o}{A}$ otrzymano następujące zależności:

$$r_{Ls} = a * \left(\frac{p_{1s}\left(\frac{1}{A}-1\right)-\frac{R_o}{A}}{p_{os}\left(\frac{1}{A}-1\right)-\frac{R_o}{A}} \right)^{\left(\frac{1}{\frac{1}{A}-1}\right)} \tag{11}$$

Dla drugiego przypadku postępowanie jest podobne. W rezultacie uzyskuje się wzór na wielkość promienia strefy plastycznej w postaci (11), z tym, że za wielkość A należy podstawić zamiast $A = \frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$, jak w przypadku pierwszym wielkość określoną z zależności $A = -\frac{R_c}{R_r}$.

Mając tak wyznaczoną wielkość promienia granicznego r_{Ls} można określić wielkość przemieszczenia radialnego v_s na kontakcie ze środkiem stopy.

W celu określenia rzeczywistego przemieszczenia środka stopy należy uprzednio podać jej charakterystykę pracy, tj. zależność przemieszczenia od ciśnienia. Charakterystykę tę oznaczono jako $u_s = f(p_s)$.

Przyrównując charakterystykę pracy obudowy z charakterystyką pracy skały na zewnątrz stopy można obliczyć, rozwiązując podane równania, rzeczywistą wielkość p_s i v_s, a następnie sprawdzić, czy zaistniały stan naprężenia nie powoduje osiągnięcia stanu zbliżonego do granicznego.

Pod wpływem nacisków radialnych na obudowę szybu, jak i stopę szybową, podczas występowania względnej różnicy osiadań obudowy i górotworu powstają naprężenia ścinające na kontakcie obudowa-górotwór, a wynikające z tych naprężeń siły ścinania powodują wzrost naprężeń ściskających w obudowie szybu.

Całkowite naprężenia w obudowie szybu są sumą naprężeń wynikających z ciężaru własnego i oporu ścinania na kontakcie obudowa-górotwór.

Ogólny wzór na naprężenia w obudowie ma postać:

$$\sigma_{ob} = \rho * g * h + \frac{T}{F} =$$

$$= \rho * g * h + \frac{2a\left(\left(\Delta z_j * p_{oj} * \mu_{oj} + c_{oj}\right) + (z_2 - z_1) * (p_{os} * \mu_{os} + c_{os}) + \sum_{i=1}^{n} \Delta z_i \left(p_{oi} * \mu_{oi} + c_{oi}\right)\right)}{a^2 - (a-d)^2} \tag{12}$$

gdzie:

n – ilość warstw na odcinku od zrębu do głębokości z_o,

Δz_i – grubość i-tej warstwy, [m],

p_{oi} – ciśnienie górotworu na obudowę w i-tej warstwie, [MPa],

μ_{oi} – = tgφ - współczynnik tarcia i-tej warstwy skały względem obudowy,

c_{oi} – spójność (kohezja) i-tej warstwy skały względem obudowy, [MPa],

Δz_j – grubość warstw na odcinku od z_o do z_1 [m],

p_{oj} – ciśnienie górotworu na obudowę w j-tej warstwie, [MPa],

μ_{oj} – = tgφ - współczynnik tarcia j-tej warstwy skały względem obudowy,

c_{oj} – spójność (kohezja) j-tej warstwy skały względem obudowy, [MPa],

z_2 – głębokość położenia końca stopy szybowej, [m],

z_1 – głębokość położenia początku stopy szybowej, [m],

p_{os} – ciśnienie górotworu na obudowę w rejonie stopy, [MPa],

μ_{os} – = tgφ - współczynnik tarcia warstw skalnych na odcinku położenia stopy względem obudowy,

c_{os} – spójność (kohezja) j-tej warstwy skały względem obudowy, [MPa].

3. Zakończenie

Podsumowując powyższe rozważania można wyróżnić następujące etapy wpływu stóp szybowych na obudowę:

- powstająca siła ścinająca T na kontakcie obudowa - górotwór powoduje powstanie siły ściskającej obudowę $P = \sigma_c * d$, przy której naprężenia $\sigma_c < R_m$, a zatem obudowa nie ulegnie złuszczeniu,
- siła ścinająca T może spowodować ścięcie stopy, przy spełnieniu warunków:

$$T = \sigma_c * d + \tau_{gr} * h_s \qquad b * R_c < \tau_{gr} * h_s$$

gdzie:

b – szerokość stopy szybowej,[m]

h_s – wysokość stopy szybowej, [m].

- wówczas może wystąpić po ścięciu stopy uszkadzanie obudowy poniżej jej położenia,

- w przypadku gdy wytrzymałość muru między stopami przejmie siłę ścinania T, należy obliczyć z powyższej zależności, czy wystąpi ścięcie stopy, a jeśli nie, to należy z warunku współpracy obudowy z górotworem określić wielkość naprężenia w obudowie wynikającą z wgniotu stopy do skał otaczających i możliwość dalszego zgniatania obudowy w wyniku wgniatania do skał niżej położonej stopy,
- wraz z głębokością rośnie wytrzymałość skał i należy się liczyć, że jeśli stopy nie ulegną ścięciu, to obudowa między stopami będzie ulegała zgniataniu, w wyniku którego zachodzić będzie potrzeba dokonywania jej naprawy.

LITERATURA

1. Булычев Н.С., Абрамсон Х.И.: Крель вертикальных стволов шахт. Издательство Недра, Москва 1978.
2. Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Uczelniany nr 956/61, Politechnika Śląska, Gliwice 1981.
3. Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1982.
4. Kisiel I., Derski W., Izbicki R., Mróz Z.: Mechanika skał i gruntów. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982.
5. Kłeczek Z.: Geomechanika górnicza. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994.
6. Konior J.: Zachowanie się obudowy szybu pod stopą głowicy w zależności od wielkości wpływów wynikających z eksploatacji górniczej. Praca o symbolu BW-457/RG-4/95 – niepublikowana.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka

Abstract

In the case of the appearance of effects caused by advancing mining in the vicinity of the shaft, when the lining has curbs in the overlaying strata, it may be possible that the curb is truncated or indented into the surrounding strata of the orogen. This may result in a considerable increase of vertical stresses in the shaft lining, and consequently the lining of the shaft can be locally damaged, so that it must be repaired. The technical state of the shaft lining in the vicinity of the curbs may be evaluated basing on the considerations presented in this paper.