

Krzysztof ĆWIERTNIA, Jerzy KLUKA
KWK Staszic

Zenon SZCZEPANIAK, Jan URBAŃCZYK
Politechnika Śląska

WPLYW EKSPLOATACJI W FILARACH OCHRONNYCH SZYBÓW NA ZACHOWANIE ICH STATECZNOŚCI

Streszczenie. Obudowa w istniejących i użytkowanych szybach podlega różnym sposobom obciążenia od strony otaczających ją skał. Warunkiem zachowania stateczności rury szybowej jest taka współpraca jej obudowy z otaczającym ją górotworem, przy której naciskające na nią skały przestają się deformować. W pracy podano kryteria, przy których można zachować stateczność uszkodzonej obudowy szybu bez konieczności jej naprawy.

INFLUENCE OF THE EXPLOITATION IN THE SHAFT PROTECTING PILLARS ON PRESERVATION OF THEIR STABILITY

Summary. The lining in existing and now use shafts are subjected to various ways of loading from surrounding rock. A condition of the shaft maintaining is such co-operation of its lining and surrounding rock when the thrusting rock stops its deforming. In this paper have shown criteria, by which it is possible to maintain stability of damaged shaft's lining, without necessity of its repairing.

1. Wstęp

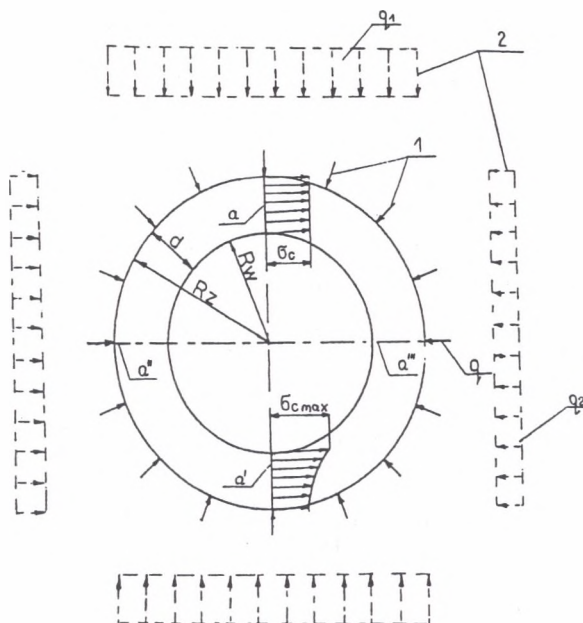
Realizowana w Polsce restrukturyzacja górnictwa prowadzi do ograniczenia rozbudowy frontów wydobywczych, a tym samym do zmniejszenia ilości wykonywanych wyrobisk udostępniających i niemal do całkowitego wyeliminowania robót związanych z pogłębianiem szybów. Występuje natomiast, w dalszym ciągu, potrzeba bezpiecznego utrzymania szybów użytkowanych w poszczególnych kopalniach na potrzeby prowadzonego w nich wydobycia. W większości dotychczas głębinnych szybów powszechnie stosowana była obudowa murowa, w tym w szybach starszych - z cegły lub betonitów, a w nowszych - najczęściej z betonu.

Stateczność obudowy szybu, w której utwierdzone są dźwigary zbrojenia z przymocowanymi do nich przewodnikami naczyń wydobywczych, jest głównym warunkiem bezpiecznego ruchu urządzenia wyciągowego [1].

W obudowie murowej szybu, obciążonej od strony górotworu, występują dość często uszkodzenia w postaci spękań i złuszczeń, których zaistnienie może być przyczyną wypychania i wypadania do szybu dużych bloków muru obudowy dewastujących jego zbrojenie oraz wyposażenie. Ze względu na różnorodność występujących uszkodzeń obudów szybowych oraz powodujących je przyczyn w pracy przedstawiono zagrożenia, jakie mogą wystąpić przy bardzo niekorzystnym, to jest zwiększonym z jednego kierunku obciążeniu rury szybowej o kształcie kołowym. Wzrost nacisku skał na obudowę szybu z jednego kierunku najczęściej może być spowodowany eksploatacją pokładu w filarze ochronnym dla szybu lub w bezpośrednim jego sąsiedztwie.

2. Przewidywane zachowanie się obudowy murowej szybu na podstawie stwierdzonych, najczęściej występujących w niej uszkodzeń

Większość istniejących w przemyśle górnictwem szybów i wszystkie szyby obecnie głębie oraz pogłębiane posiadają kształt kołowy. Kształt taki podyktowany jest korzystną współpracą obudowy z górotworem, pracującej głównie na ściskanie, na które mur obudowy posiada dość dużą wytrzymałość.



Rys.1. Obciążenie równomierne obudowy murowej szybu o kształcie kołowym:

1 - obciążenie radialne wielkością q i rozkład naprężeń w obudowie pod wpływem tego obciążenia, 2 - równomierne obciążenie obudowy w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach o różnych wielkościach q_1 i q_2 ($q_1 > q_2$)

Fig.1. The uniform loading on the ginged lining of the circle shaped shaft:

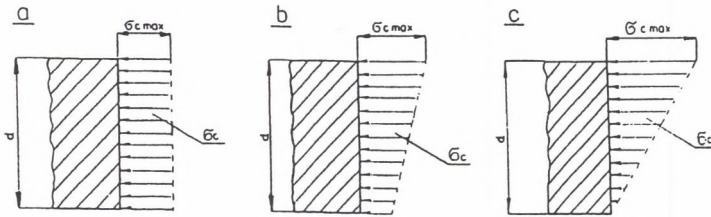
1 - the radial loading q and distribution of stresses in the lining under influence of this loading.

2 - The uniform loading on the lining in two orthogonal directions and different quantities q_1 and q_2 where $q_1 > q_2$

W przypadku równomiernego radialnego ciśnienia górotworu na zewnętrzną stronę obudowy szybu w każdym jej przekroju poprzecznym i na całej grubości występują tylko naprężenia ściskające. Jeżeli kołowa obudowa szybu spełnia warunki rury cienkościennej (to znaczy $R_w / d \geq 5$, gdzie: R_w - promień szybu w świetle obudowy, d - grubość obudowy), wówczas można przyjąć, że naprężenia ściskające na całej grubości obudowy mają w przybliżeniu jednakową wielkość (jak na rys.1 - wykres a). Natomiast przy spełnieniu przez obudowę szybu warunków rury grubościennej (to znaczy warunku $R_w / d < 5$) należy przyjmować, że większa wartość naprężeń ściskających wystąpi przy wewnętrznej stronie obmurza (rys.1 - a'). Niszczenie muru przy takim obciążeniu obudowy może występować wówczas, gdy w najbliższym jej miejscu zostanie spełniony warunek $\sigma_{cmax} > R_c$ (gdzie R_c - wytrzymałość muru na ściskanie).

Inaczej będą się kształtować naprężenia ściskające w obudowie o kształcie kołowym, w takim przypadku gdy jej obciążenie od strony otaczających ją skał nie będzie równomiernie rozłożone na całym obwodzie szybu. Na rys.1 przedstawiono również jednostronnie

równomierne obciążenie obudowy murowej szybu o kształcie kołowym różnymi wielkościami q_1 i q_2 w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, przy czym wielkości tych obciążeń (nacisków) spełniają warunek $q_1 > q_2$.



Rys.2. Rozkład naprężeń ściskających σ_c wzdłuż grubości „d” obudowy murowej szybu o kształcie kołowym: a - przy równomiernym jej obciążeniu od strony górotworu wg rys.1, b i c - przy zwiększonym w jednym kierunku obciążeniu obudowy i nieznacznym jej spłaszczeniu

Fig.2. The distribution of the pressure stresses σ_c along the thickness „d” of the shaft lining:

a - at the uniform loading of the rock mass from Fig.1.

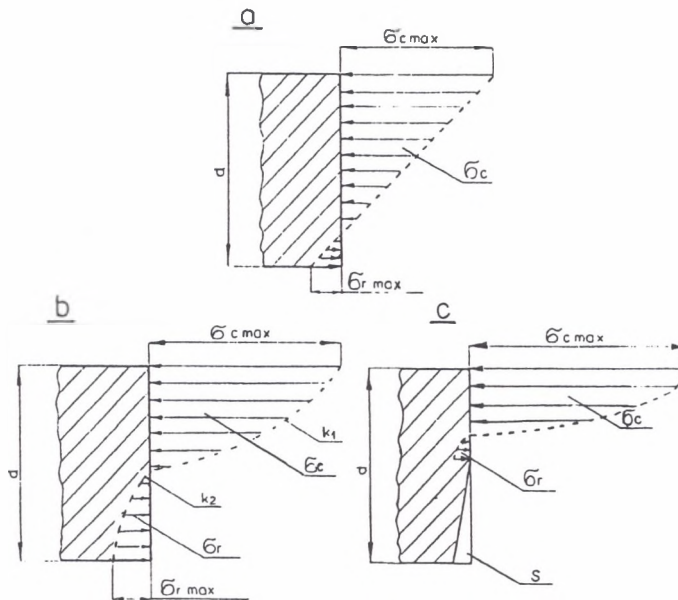
b and c - at the increased single -axial loading on the lining and its small flattening

Z obserwacji wynika, że pod wypadkową nacisków q_1 występują, pod kątem $\alpha_0 = 40^0 \div 60^0$ z każdej jej strony, przekroje charakteryzujące się najniekorzystniejszym rozkładem naprężeń ściskających i największym wyęzieniem materiału obudowy.

W zależności od wielkości różnicy między wartościami q_1 i q_2 naprężenia te mogą kształtować się następująco:

- przy jednakowych wartościach q_1 i q_2 - w przybliżeniu według prostokąta (rys.2 a),
- przy niewielkiej różnicy wartości q_1 i q_2 ($q_1 > q_2$) – według trapezu (rys.2 b), przy czym im bardziej różnica między wielkościami q_1 i q_2 zbliża się do zera, tym bardziej kształt trapezu zbliża się do kształtu prostokąta,
- przy większej różnicy q_1 i q_2 naprężenia rozkładają się według trójkąta (rys.2 c),
- przy znacznej różnicy q_1 i q_2 wysokość trójkątów obrazujących rozkład naprężeń ściskających σ_c (przy zwiększającej się ich koncentracji) ulega skróceniu, natomiast w ich przedłużeniu - to jest na pozostałym odcinku grubości obudowy - pojawiają się naprężenia rozciągające (rys.3 a),
- jeżeli różnica między wielkościami q_1 i q_2 w dalszym ciągu się zmniejsza, to znaczy maleje wielkość q_2 , wówczas zasięg naprężeń rozciągających zwiększa się, a ściskających maleje (przy wzroście ich wielkości maksymalnej), a ich rozkład przebiega według krzywych k_1 oraz k_2 (rys.3 b),
- jeżeli wielkość naprężeń rozciągających przekroczy wytrzymałość muru na rozrywanie, wówczas pod wypadkowymi naciskami na obudowę q_1 i q_1' (gdzie $q_1 \approx q_1'$) pojawiają się widoczne od strony obmurza szczeliny Sw_1 i Sw_2 (rys.4), a pod kątami $\alpha_0 = 40^0 \div 60^0$

względem wypadkowych nacisków na obudowę q_1 i q_1^* powstaną - przy zewnętrznej stronie obudowy murowej szybu - szczeliny Sz_1, Sz_2, Sz_3 i Sz_4 (rys.4), a na ich przedłużeniu (przy wewnętrznej stronie obmurza) wystąpi koncentracja naprężeń ściskających σ_{c2} . Jeżeli naprężenia σ_{c2max} przekroczą wytrzymałość muru na ściskanie, wówczas uwidoczni się ich działanie w postaci złuszczeń muru i zaistniałych w nim ubytków od wewnętrznej strony obudowy szybu. Uszkodzenia obudowy w postaci złuszczeń i szczelin zaistnieją szczególnie wówczas, gdy będzie działało na nią zdecydowanie aktywne obciążenie q_1, q_1^* w jednym kierunku. W takim przypadku, na skutek tendencji do intensywnego spłaszczenia rury szybowej, wystąpią - w miejscu dociskania obudowy szybu do skał - naprężenia reakcyjne (odporowe) $\sigma_{c\text{reakc}}$ (rys.4).



Rys.3. Występowanie naprężeń ściskających σ_c i rozciągających σ_r w obciążonej nierównomiernie od strony górotworu murowej obudowie o grubości „d” szybu o kształcie kołowym: a – przy dość dużej różnicy między wielkościami q_1 i q_2 (rys.1), b – przy dużej wielkości q_1 i wielkości q_2 zbliżającej się do zera, c – przy dużej wielkości q_1 i wielkości $q_2 = 0$

Fig.3. Occurring of the pressure stresses σ_c and tension stresses σ_r from the rock mass in the non-uniform loaded lining. „d” - thickness of the circle shaped shaft lining:

a - at the relative big difference between quantities q_1 and q_2 (Fig.1)

b - at the big quantity q_1 and the quantity q_2 approaching to zero

c - at the big quantity q_1 and the quantity $q_2 = 0$

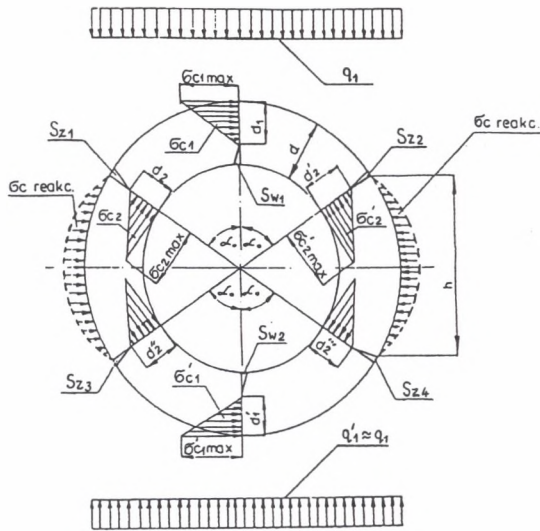
Zdolność do przyjmowania przez murową obudowę szybu nacisku od strony górotworu może być zachowana dzięki dostatecznie dużej wytrzymałości jej materiału na ściskanie. Utrata

stateczności obudowy we wszystkich przypadkach kształtowania się naprężeń wzdłuż jej grubości może mieć miejsce wówczas, gdy od wewnętrznej strony obmurza – w miejscu największego wyęźnienia materiału (rys.4) – zaistnieje warunek $\sigma_{c2max} > R_c$. Wystąpieniu tego warunku towarzyszy łuszczenie się muru [2]. Stąd stwierdzenie - w czasie kontroli obudowy szybu - że na określonej głębokości ujawniły się w niej miejscowe złuszczenia, jest to sygnał zmuszający do przeprowadzenia analizy jej stateczności w otoczeniu zauważonego w murze uszkodzenia.

Zaistnienie miejscowego złuszczenia muru jest najbardziej niebezpieczne w przypadku stwierdzenia występowania, na tej samej głębokości szybu, rozwartych szczelin lub rys zlokalizowanych pod kątem $\alpha_0 = 40^0 \div 60^0$ w stosunku do tego złuszczenia. Rysy i szczeliny na wewnętrznej stronie obmurza rury szybowej występują zazwyczaj przed zaistnieniem złuszczeń, lecz są trudne do zauważenia na zanieczyszczonej powierzchni obudowy szybu. Z tego powodu, po zauważeniu występowania w obudowie złuszczenia, należy przeprowadzić - na tej głębokości w szybie - bardzo dokładną kontrolę, w celu stwierdzenia, czy w sąsiedztwie tego złuszczenia nie występują rysy i szczeliny.

Stwierdzenie występowania na tej samej głębokości rys i szczelin oraz złuszczeń w ich sąsiedztwie na wewnętrznej stronie obmurza szybu oznacza, że w materiale obudowy zachodzi warunek $\sigma_{c2max} > R_c$ bądź też $\sigma_{c1max} > R_c$ (rys.4). W tym przypadku mur wzdłuż łuku ograniczonego szczeliną Sw_1 oraz zaistniałymi złuszczeniami (na przedłużeniu szczelin Sz_1 i Sz_2) może ulec wypchnięciu do wnętrza szybu. Zatem po zauważeniu, że na wewnętrznej stronie obmurza występują złuszczenia, a pod kątem α_0 względem nich szczelina, należy podjąć decyzję natychmiastowej naprawy obudowy szybu na tym odcinku.

Jeżeli w czasie dokładnej kontroli obmurza zostaną zauważone w nim tylko rysy i szczeliny, bez złuszczenia muru w ich sąsiedztwie, wówczas nie ma niebezpieczeństwa wypchnięcia muru do wnętrza szybu. W tym przypadku stwierdzenie, że po wewnętrznej stronie muru znajduje się rysa lub szczelina Sw_1 (rys.4), oznacza:



Rys.4. Koncentracja naprężeń ściskających na przedłużeniu szczelin w murowej obudowie szybu o kształcie kołowym, obciążonej wielkościami q_1 i $q_1 \approx q_1$

Fig.4. The concentration of the pressure stresses on louvers lengthening in the ginged, circle shaped, shaft lining, loaded q_1 i $q_1 \approx q_1$

- występowanie zwiększonego nacisku na obudowę szybu w kierunku głębokości szczeliny Sw_1 , co równocześnie świadczy o znajdowaniu się w jej otoczeniu wypadkowej nacisku q_1 ,
- po wystąpieniu szczeliny Sw_1 i ewentualnie Sw_2 mogą zaistnieć również (niewidoczne od wewnętrznej strony szybu) szczeliny zewnętrzne Sz_1, Sz_2, Sz_3 i Sz_4 , co umożliwi rozparcie obudowy szybu o obrys jego wyłomu i wystąpienie naprężeń reakcyjnych $\sigma_{c \text{ reakc}}$ (rys.4) równoważących naprężenia ściskające w obudowie, wzdłuż jej grubości, na odcinku d_1 i d_1' w przedłużeniu zaistniałych szczelin,
- brak złuszczeń przy wewnętrznej stronie obudowy murowej szybu z jednej lub obu stron szczeliny Sw_1 wskazuje, że spełniony jest warunek $\sigma_{c2max} < R_c$ i obudowa może, w sposób bezpieczny, w dalszym ciągu przejmować działające na nią ciśnienie górotworu q_1 ,
- stwierdzenie występowania tylko szczeliny Sw_1 , bez złuszczeń muru w jej sąsiedztwie, zmusza do podjęcia decyzji o konieczności zwiększenia częstotliwości kontroli obmurza na głębokości ich występowania w szybie, aby pokazać, czy z upływem czasu nie wystąpią w ich otoczeniu złuszczenia obmurza.

3. Uzasadnienie dalszej nośności obudowy murowej szybu po wystąpieniu w niej szczelin

Na podstawie rysunków 4 i 5 można przedstawić uproszczone zależności (1), (2) i (3), które umożliwiają określenie wielkości momentów gnących M w obudowie murowej szybu obciążonej równomiernie w jednym kierunku aktywnym ciśnieniem od strony górotworu, przy założeniu że znane są wszystkie wielkości występujące w tych zależnościach.

$$M = Q \cdot R_0 \cdot \sin \alpha - [H \cdot R_0 \cdot (1 - \cos \alpha) + M_1] \quad (1)$$

$$M = q \cdot R_0^2 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (\sin \alpha - 0,5 \cdot \sin \alpha_1) - [H \cdot R_0 \cdot (1 - \cos \alpha) + M_1] \quad (2)$$

$$M = 0,5 \cdot q \cdot R_0^2 \cdot \sin^2 \alpha - [H \cdot R_0 \cdot (1 - \cos \alpha) + M_1] \quad (3)$$

W rzeczywistości obudowa murowa szybu, przy aktywnym jej obciążeniu w jednym kierunku, jest konstrukcją statycznie niewyznaczalną z uwagi na to, że wymienione zależności dla każdego przypadku zasięgu aktywnego obciążenia obudowy pozwalają uzyskać jedno równanie, podczas gdy wielkościami niewiadomymi w każdym z tych równań są:

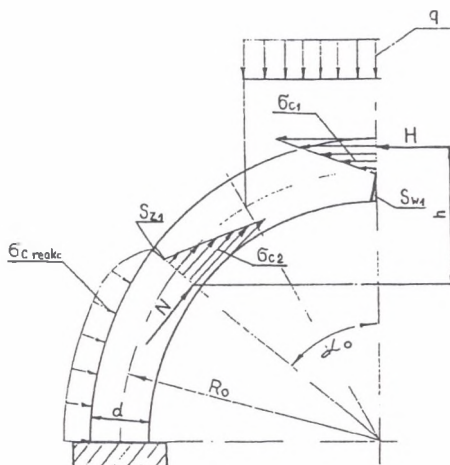
- wielkość rozporu H ,
- wielkość momentu M_1 ,
- wielkość kąta α .

Próba rozwiązania przedstawionego zagadnienia jako układu statycznie niewyznaczalnego nie ma większego uzasadnienia z uwagi na swoją bardzo wątpliwą dokładność, wynikającą z braku właściwego rozeznania co do wielkości, zasięgu i kierunku faktycznego obciążenia murowej obudowy szybu w warunkach in situ. Uzasadnienie możliwości przyjmowania dalszego obciążenia przez obudowę z występującymi szczelinami w jej murze można wyjaśnić przez przeprowadzenie analizy zależności (1), (2) i (3), przedstawionych w ich postaciach ogólnych. W zależności (1) aktywne obciążenie obudowy wielkością Q przyjęto przy założeniu oddziaływania na nią skupionego nacisku górotworu, który w rzeczywistości będzie się rozkładał jako q na niewielkiej rozpiętości łuku jak na rys.5.

Każda z wymienionych trzech zależności składa się z dwóch podstawowych członów, przy czym człon pierwszy - w skład którego wchodzi wielkość q - jest tak zwanym momentem aktywnym, powodującym spłaszczenie obciążonej w jednym kierunku zwiększonym naciskiem obudowy, zaś człon drugi - wyraża wielkość momentu przeciwdziałającego spłaszczeniu się obudowy pod wpływem momentu aktywnego (stąd człon drugi wyraża wielkość momentu reakcyjnego). Obudowa może przyjmować obciążenie od strony górotworu (nawet wzrastające)

tak długo, aż wielkość momentu aktywnego nie przekroczy wielkości momentu reakcyjnego, występującego w drugim członie podanych zależności (1), (2) i (3). Wielkość momentu reakcyjnego może wzrastać (w miarę wzrostu wywieranego nacisku na obudowę i zwiększającego się zarazem momentu aktywnego) na skutek zwiększania się rozporu H (jako wypadkowej naprężeń ściskających σ_{c1}) i wielkości h ramienia momentu (rys.5), na którym ten rozpór działa. Zwiększanie się sumy naprężeń ściskających σ_{c1} i tym samym rozporu H (równoważonych przez naprężenia reakcyjne $\sigma_{c\text{ reakc}}$ – rys.4 i rys.5) oraz ramienia h jest możliwe do czasu istnienia zależności $\sigma_{c2\text{max}} < R_c$. Po zaistnieniu warunku $\sigma_{c2\text{max}} > R_c$ ulega zmniejszeniu powierzchnia użyteczna muru na przedłużeniu szczelin Sw_1 i Sw_2 i tym samym zaczyna się zmniejszać wielkość ramienia h oraz rozporu H , co powoduje utratę równowagi między momentami aktywnym i reakcyjnym w każdej z podanych zależności (1), (2) i (3).

Zatem, jak długo nie zostanie zauważone - w czasie kontroli obmurza szybu - łuszczenie muru, tak długo w pełni jest zachowana równowaga między momentem akcyjnym i momentem reakcyjnym na łuku między szczelinami Sw_1 i Sw_2 , co jest równoznaczne z zachowaniem pełnej stateczności obudowy w warunkach wzajemnej współpracy między tymi momentami oraz między obudową a górtworem.



Rys.5. Działanie rozporu „H” na ramieniu „h” przy spłaszczaniu rury szybowej niekorzystnym jednokierunkowym jej obciążeniem wielkością „q” od strony górtwora

Fig.5. The action of the thrust „H” on the arm „h”, at the shaft flattening by unfavourable single-axial loading „q” from the rock mass

Obudowa i otaczające ją skały stanowią bowiem układ, w którym wspólnie decydują o zachowaniu stateczności rury szybowej. Stąd kolejną przyczyną niszczenia obmurza szybowego może być koncentracja w nim naprężeń ściskających w kierunku pionowym –

spowodowana osiadaniem górotworu wywołanym prowadzoną eksploatacją w filarze ochronnym szybu lub w jego otoczeniu. Niszczeniu obudowy szybowej można w tym przypadku zapobiegać przez odpowiednie jej upodatnienie w płaszczyźnie poziomej znanymi sposobami, np. za pomocą kasztów drewnianych.

4. Podsumowanie

- Podsumowując przedstawione rozważania, można stwierdzić, że obciążona od strony górotworu obudowa murowa szybu, po wystąpieniu w niej naprężeń przekraczających wytrzymałość muru, ulega różnego rodzaju uszkodzeniom. Przekroczenie wielkości granicznych naprężeń ściskających powoduje lokalne złuszczenie muru.
- Przy niekorzystnym nacisku skał na obudowę, usiłującym spowodować spłaszczenie rury szybowej, wystąpi lokalna koncentracja naprężeń ściskających i rozciągających. Naprężenia rozciągające mogą w konsekwencji spowodować wystąpienie w obmurzu szybu uszkodzeń w postaci rys i szczelin – co może mieć miejsce szczególnie przy prowadzeniu eksploatacji w filarze ochronnym szybu.
- Bardzo niebezpiecznymi uszkodzeniami obudowy szybu są stwierdzone na podstawie kontrolnych oględzin obmurza występujące w nim złuszczenia oraz na tej samej głębokości, pod kątem $\alpha_0 = 40^0 \div 60^0$ względem nich, rysy i szczeliny. Pojawienie się takiego uszkodzenia, jak to już wcześniej zaznaczono, może być przyczyną wypchnięcia dużego bloku muru do wnętrza szybu i całkowitego zakłócenia jego funkcjonowania.
- W związku z tym występowanie na określonej głębokości szybu, na wewnętrznej stronie obmurza, rys lub szczelin oraz - pod kątem α_0 względem nich - złuszczeń muru (lub odwrotnie) powinno być podstawą do podjęcia decyzji odnośnie do natychmiastowej naprawy obudowy murowej szybu na tej głębokości.
- Natomiast występowanie samych pionowych rys i szczelin w obudowie murowej szybu nie oznacza utraty jej stateczności, a świadczy jedynie o zwiększonym ciśnieniu górotworu oddziałującego na szyb z jednego kierunku i pełnym rozparciu się spłaszczonej rury szybowej o otaczające ją skały. W takim przypadku obudowa murowa szybu może bezpiecznie przejmować w dalszym ciągu nacisk otaczających ją skał aż do chwili pojawienia się na tej samej głębokości złuszczeń muru.
- Niszczeniu obudowy murowej szybu pod wpływem osiadania górotworu w kierunku wybranej przestrzeni można zapobiegać przez odpowiednie jej upodatnienie w płaszczyznach poziomych.

LITERATURA

1. Ćwiertnia K., Szczepaniak Z.: Wpływ jakości obudowy murowej szybów na bezpieczną pracę ich wyposażenia. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Transport szybowy '96”. Materiały konferencyjne, Gliwice 1996.
2. Ćwiertnia K., Szczepaniak Z.: Analiza uszkodzeń murowych obudów szybowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Górnictwo 263. Gliwice 1997.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rułka

Abstract

The lining in existing and now use shafts are subjected to various ways of loading from surrounding rock. A condition of the shaft maintaining is such co-operation of its lining and surrounding rock when the thrusting rock stops its deforming.

The paper presents various behaviour of shaft lining of brick when subject to working with rock surrounding it. Figures 1, 2, 3 and 4 provide stress distribution in the circle shaped brick shaft lining with different ways of loading effected by the rock mass surrounding it.

The most disadvantageous impact exerted by rock on the brick shaft lining is effected by one directional pressure, as shown in Fig. 4. In effect, there may occur fissures Sw_1 and Sw_2 in the wall, under the resultants of active loading of the lining with the values q_1 and q_1' , and fissures Sz_1 , Sz_2 as well as Sz_3 and Sz_4 at the angle $\alpha_0 = 40^\circ \div 60^\circ$ with respect to the fissures Sw_1 and Sw_2 . Along the extension lines of all enumerated fissures there will occur a concentration of compressive stresses σ_{c1max} and σ_{c2max} .

In the stresses σ_{c2max} meet the condition $\sigma_{c2max} > R_c$ (where R_c – resistance of the wall to compression), then, the wall at that place starts exfoliating and a large block between the fissures Sw_1 and Sw_2 may fall off into the shaft. Therefore, when wall exfoliation is noticed during the control of lining, and the occurrence of cracks or fissure Sw_1 at the angle of about 60° to the place of exfoliation is identified, it means that immediate decision to change the lining at that depth of the shaft should be taken.

In this paper have shown also criteria, by which it is possible to maintain stability of damaged shaft's lining, without necessity of its repairing.