

Krzysztof **ĆWIERTNIA**, Zenon **SZCZEPANIAK**

## ANALIZA USZKODZEŃ MUROWYCH OBUDÓW SZYBÓW

**Streszczenie.** W zgłębianych i użytkowanych dotychczas szybach występuje głównie obudowa murowa, najczęściej z cegły, rzadziej z betonitów, a w szybach najnowszych powszechnie była i jest nadal stosowana obudowa murowa z betonu. Ciśnienie górotworu wywierane na murową obudowę szybu powoduje różnego rodzaju jej uszkodzenia. W czasie prowadzenia kontroli można zauważyć na wewnętrznej stronie muru występowanie rys, szczelin i złuszczeń. W pracy przedstawiono przyczyny powstawania różnych uszkodzeń obudowy murowej w szybach oraz zalecane sposoby prowadzenia jej kontroli celem ustalenia dalszej bezpiecznej ich eksploatacji.

## ANALYSIS OF DAMAGE MADE TO MASONRY SHAFT LINING

**Summary.** The linings of shafts constructed and utilized so far are characteristic for masonry walls principally made of brick, less frequently of concrete slabs, and in the most recently constructed shafts the masonry lining made of concrete has been used.

Rockmass pressure exerted on the masonry lining of the shaft results in various damages of the latter. During controls of the lining, cracks, fissures and exfoliation can be observed on the inside part of the walling. The work presents reasons for the occurrence of various damage made to shaft lining and recommended methods to carry out further control of the lining to ensure its safe utilization.

### 1. Wstęp

W ciągu technologicznym kopalni szyby odgrywają szczególnie ważną rolę. Od ich funkcjonalności i niezawodności zależy realizacja

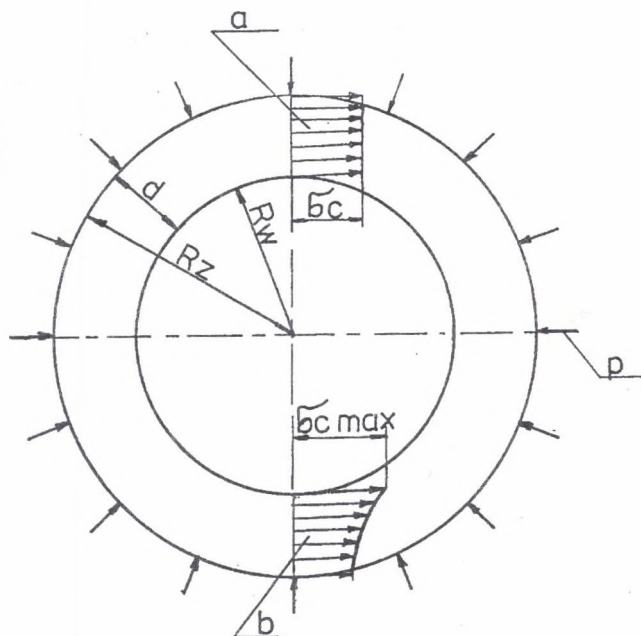
postawionych wobec nich zadań i bezpieczeństwo transportowanych nimi ludzi.

Jednym z warunków bezpiecznego ruchu urządzenia wyciągowego jest stateczność obudowy szybu, w której utwierdzone jest zbrojenie z przymocowanymi do niego przewodnikami dla naczyń wyciągowych. Na skutek naruszenia równowagi górotworu w bezpośrednim sąsiedztwie szybu, np. w wyniku eksploatacji pokładów węgla zalegających w jego filarze ochronnym, często dochodzi do niebezpiecznych uszkodzeń murowych obudów szybowych.

Ze względu na różnorodność występujących w nich uszkodzeń oraz powodujących je przyczyn w pracy przedstawiono jedynie zagrożenia i sposoby prowadzenia kontroli obudów szybowych nierównomiernie obciążonych od strony górotworu. Zaistniałe w takim przypadku w nich uszkodzenia mogą bowiem stanowić bardzo duże zagrożenie dla bezpiecznej funkcjonalności szybu.

## **2. Wpływ sposobów obciążenia murowych obudów szybowych na występowanie w nich naprężeń oraz różnego rodzaju uszkodzeń**

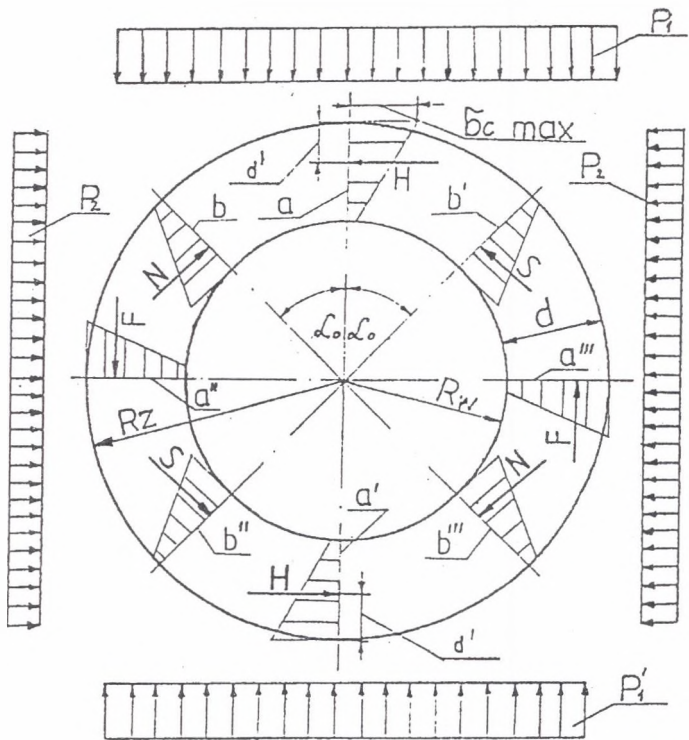
Większość istniejących w przemyśle górniczym szybów oraz obecnie głębinowych i pogłębianych posiada kształt kołowy. Kształt taki podyktowany jest korzystną współpracą obudowy z górotworem, przy której pracuje ona głównie na ściskanie. W przypadku równomiernego radialnego ciśnienia  $p$  górotworu na zewnętrzną stronę obudowy szybu w każdym jej przekroju podłużnym i na całej grubości występują tylko naprężenia ściskające (rys.1). Jeżeli kołowa obudowa szybu spełnia warunki rury cienkościennej [2] (tzn.  $R_w/d \geq 5$ ), wówczas można przyjąć, że naprężenia ściskające  $\sigma_c$  mają w przybliżeniu na całej grubości obudowy  $d$  jednakową wielkość (wykres a, rys. 1). Natomiast przy spełnieniu przez obudowę szybu warunku rury grubościennej ( $R_w/d < 5$ ) należy przyjmować, że większa wartość naprężeń ściskających wystąpi przy wewnętrznej stronie obmurza (wykres b, rys. 1).



Rys. 1. Rozkład naprężeń ściskających w obudowie murowej szybu  
 a - gdy obudowa szybu spełnia warunki rury cienkościennej, tj.  $R_w/d \geq 5$   
 b - gdy obudowa szybu spełnia warunki rury grubościennej, tj.  $R_w/d < 5$

Fig. 1. Distribution of compressive stresses in the masonry lining of the shaft  
 a - when the lining meets the conditions of light-wall tube, i.e.  $R_w/d \geq 5$   
 b - when the lining meets the conditions of heavy-wall tube, i.e.  $R_w/d < 5$

Inaczej będą kształtować się naprężenia ściskające w obmurzu obudowy o kształcie kołowym, w przypadku gdy jej obciążenie od strony otaczających ją skał nie będzie równomierne na całym obwodzie szybu. Na rys. 2 przedstawiono równomierne obciążenie obudowy murowej szybu o kształcie kołowym różnymi wielkościami  $p_1$  i  $p_2$  w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, przy czym wielkości tych obciążeń (nacisków) spełniają warunek:  $p_1 > p_2$ .

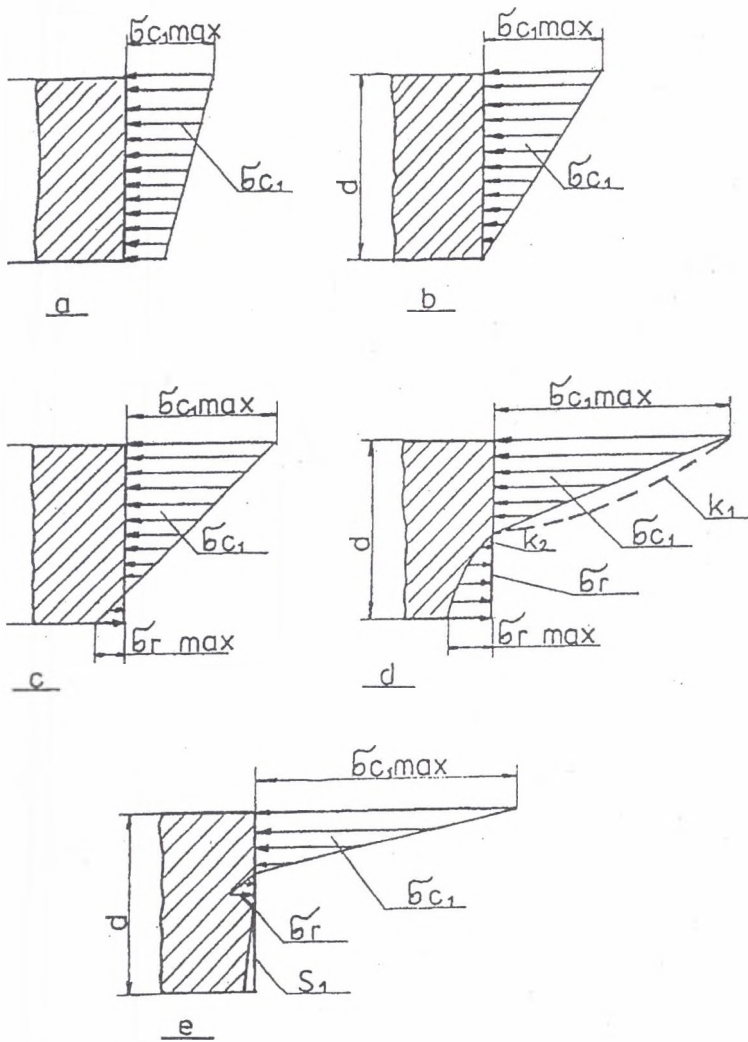


Rys. 2. Rozkład naprężeń ściskających w obudowie murowej szybu o kształcie kołowym przy różnych wielkościach jej obciążenia w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, bez występowania w niej rys i szczelin

Fig.2. Distribution of compressive stresses in the circle-shaped masonry lining when subjected to diverse loading values in two mutually perpendicular planes, without cracks or fissures occurring in it

Pod wypadkową nacisku  $p_1$  i  $p_2$  i pod kątem  $\alpha \cong 45^\circ$  z każdej z ich strony występują przekroje charakteryzujące się najniekorzystniejszym rozkładem naprężeń ściskających i największym wyężeniem materiału obudowy. W zależności od wielkości różnicy między wartościami  $p_1$  i  $p_2$  naprężenia te w przekrojach  $a, a', a'', a'''$  oraz  $b, b', b'', b'''$  (rys. 2) mogą kształtować się następująco:

- przy niewielkiej różnicy wartości  $p_1$  i  $p_2$  - wg odwróconych trapezów (rys. 2 i 3a), przy czym im bardziej różnica między wielkościami  $p_1$  i  $p_2$  zbliża się do 0, tym bardziej kształty trapezów zbliżają się do kształtu prostokąta (rys. 1, wykres a).



Rys. 3. Rozkład naprężeń ściskających  $\sigma_c$  i rozciągających  $\sigma_r$  wzdłuż grubości  $d$  obudowy murowej szybu w zależności od sposobu i wielkości wywieranego na nią nacisku od strony otaczających ją skał

Fig. 3. Distribution of compressive stresses  $\sigma_c$  and tensile stresses  $\sigma_r$  along the thickness  $d$  of the masonry shaft lining, allowing for the way and value of thrust exerted on the lining by the rocks surrounding it

- przy większej różnicy  $p_1$  i  $p_2$  rozkład naprężeń w przekrojach a, a' i b ÷ b'' przyjmują kształt zbliżony do trójkąta (rys. 3b),



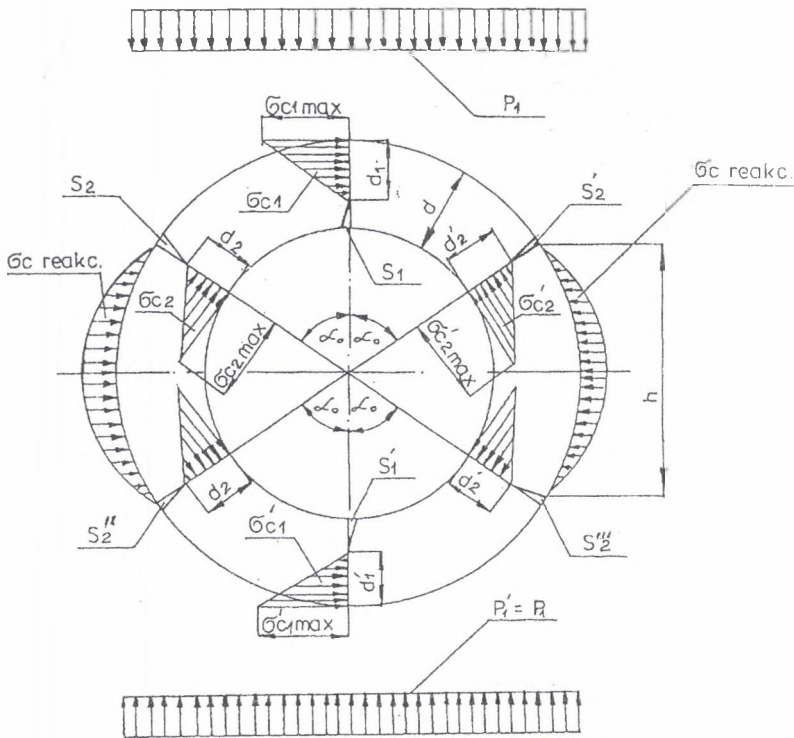
- przy znacznej różnicy wielkości  $p_1$  i  $p_2$  wysokość trójkątów obrazujących rozkład naprężeń ściskających  $\sigma_c$  ulega skróceniu, natomiast w ich przedłużeniu, tj. na pozostałym odcinku grubości obudowy pojawiają się naprężenia rozciągające (rys. 3c),
- jeżeli różnica zbliża się do wielkości  $p_1$ , tzn. wartość nacisku  $p_2$  jest bliska zeru, wówczas zasięg naprężeń rozciągających zwiększa się, a ściskających maleje, zaś ich rozkład przebiega wg krzywych  $k_1$  i  $k_2$  (rys. 3d),
- gdy  $p_2 = 0$ , wówczas naprężenia  $\sigma_r$  mogą przekroczyć wytrzymałość muru na rozciąganie. Pod wypadkowymi nacisku na obudowę  $p_1$  i  $p'_1$  (gdzie  $p_1 \approx p'_1$ ) pojawiają się widoczne od strony obmurza szczeliny  $S_1$  i  $S'_1$  (rys. 4), a pod kątami  $\alpha_0 = 40^\circ + 52^\circ$  względem wypadkowych nacisków na obudowę  $p_1$  i  $p'_1$  powstaną przy zewnętrznej stronie obudowy murowej szybu szczeliny  $S_2, S_2', S_2''$  i  $S_2'''$  (rys. 3e), a na ich przedłużeniu przy wewnętrznej stronie obmurza wystąpi koncentracja naprężeń ściskających  $\sigma_{c2}$ .

Jeżeli naprężenia  $\sigma_{c2}$  przekroczą wytrzymałość muru na ściskanie, wówczas uwidoczni się ich działanie w postaci złuszczeń.

### 3. Ocena stateczności uszkodzonych obudów murowych w użytkowanych szymbach

We wszystkich przypadkach pracy murowej obudowy szybu przedstawionych na rys. 1, 2, 3 i 4 zdolność do przyjmowania przez nią nacisku od strony górotworu może być zachowana dzięki dostatecznie dużej wytrzymałości jej materiału na ściskanie. Utrata stateczności obudowy we wszystkich przedstawionych przypadkach kształtowania się naprężeń wzdłuż jej grubości może mieć miejsce wówczas, gdy od wewnętrznej strony obmurza - w miejscu największego wyężenia materiału - zaistnieje warunek  $\sigma_{c2 \max} > R_c$ . Wystąpieniu tego warunku towarzyszy łuszczenie się muru. Stąd stwierdzenie w czasie kontroli obudowy występowania w niej na określonej głębokości miejscowych złuszczeń jest wskaźnikiem zmuszającym do przeprowadzenia analizy jej stateczności w otoczeniu zauważonego w murze uszkodzenia. Zaistnienie miejscowego złuszczenia muru jest najbardziej niebezpieczne w przypadku wystąpienia pod kątem  $\alpha_0 = 40^\circ + 52^\circ$  względem niego rozwartych szczelin lub rys.

Stwierdzenie wystąpienia rys i szczelin wzdłuż obwodu obmurza na głębokości zlokalizowanych złuszczeń przy jego wewnętrznej stronie (w sąsiedztwie zaistniałych w nim złuszczeń) może oznaczać, że w materiale obudowy zachodzi warunek  $\sigma_{c2 \max} > R_c$ , a również i  $\sigma_{c1 \max} > R_c$  (rys. 4).



Rys. 4. Koncentracja naprężeń ściskających na przedłużeniu szczelin w murowej obudowie szybu o kształcie kołowym obciążonej wielkościami  $p_1$  i  $p_1' \approx p_1$

Fig. 4. Concentration of compressive stresses along crack extensions in the circle-shaped masonry shaft lining loaded by the values  $p_1$  and  $p_1' \approx p_1$

W tym przypadku mur wzdłuż łuku ograniczonego szczeliną  $S_1$  lub  $S_1'$  oraz zaistniałym złuszczeniem (na przedłużeniu szczeliny  $S_2, S_2', S_2''$  i  $S_2'''$ ) może ulec wypchnięciu do wnętrza szybu.

Zatem po zauważeniu, że na wewnętrznej stronie obmurza występują złuszczenia pod kątem  $\alpha_0$  względem szczeliny lub rysy, należy podjąć decyzję natychmiastowej wymiany obudowy w tym rejonie szybu.

Po stwierdzeniu, że w kontrolowanej obudowie zaistniały tylko złuszczenia bez towarzyszących im rys lub szczelin w ich otoczeniu (pod kątem  $\alpha_0 = 40^\circ + 52^\circ$ ), można przyjąć na podstawie rys. 3a, b, c i d, iż na pozostałym obwodzie mur pracuje w dalszym ciągu na całej grubości obudowy. W takim przypadku nie ma niebezpieczeństwa wypchnięcia muru do wnętrza szybu. Należy wówczas podjąć decyzję o zwiększeniu częstotliwości kontroli obmurza w miejscach zaistniałych złuszczeń. Do naprawy obudowy zaleca się przystąpić, gdy głębokość zmiażdżonego muru osiągnie wielkość  $1/3$  jej grubości lub po zauważeniu, że pod kątem  $\alpha_0$  względem zaistniałych złuszczeń wystąpiły spękania w postaci rys lub szczelin.

Jeżeli w czasie dokładnej kontroli obmurza zostanie stwierdzone występowanie na nim tylko rys i szczelin (trudne do zauważenia na zanieczyszczonej obudowie szybu) bez złuszczenia muru (pod kątem  $\alpha_0 = 40^\circ + 52^\circ$  względem nich z jednej lub drugiej strony), wówczas nie ma potrzeby wymiany lub wzmocnienia obudowy. Stwierdzenie zaistnienia po wewnętrznej stronie muru rysy lub szczeliny  $S_1$ , albo  $S_1$  i  $S_1'$  (rys.4) oznacza:

- występowanie zwiększonego nacisku na obudowę szybu w kierunku głębokości szczeliny  $S_1$  lub szczelin  $S_1$  i  $S_1'$ ,
- że wypadkowa nacisku  $P_1$  usytuowana jest nad szczeliną,
- iż po wystąpieniu szczeliny  $S_1$  lub  $S_1$  i  $S_1'$  obudowa ulega rozparciu, co umożliwia wystąpienie naprężeń  $\sigma_{c \text{ reakc}}$  (rys. 4) równoważących naprężenia ściskające w obudowie na odcinku  $d_1$  i  $d_1'$ ,
- brak złuszczeń na wewnętrznej stronie obudowy murowej szybu z jednej lub drugiej strony szczeliny  $S_1$  wskazuje, że spełniony jest warunek  $\sigma_{c \text{ max}} < R_c$  i obudowa może w sposób bezpieczny w dalszym ciągu przejmować działające na nią ciśnienie górotworu  $p_1$ ,
- stwierdzenie występowania tylko szczelin  $S_1$  lub  $S_1$  i  $S_1'$  (bez złuszczeń muru w sąsiedztwie szczeliny) zmusza do podjęcia decyzji o konieczności zwiększenia częstotliwości kontroli obmurza na głębokości ich występowania w szybie celem stwierdzenia, czy z upływem czasu nie występują w ich otoczeniu złuszczenia muru. Stwierdzenie zaistnienia złuszczenia oznaczałoby zgodnie z przeprowadzonymi już rozważaniami, że w danym miejscu muru zaistniał warunek  $\sigma_{c \text{ max}} > R_c$  i należy przystąpić do wymiany obudowy między szczeliną  $S_1$  i złuszczeniem, a najlepiej wzdłuż łuku nieco większego od określonego wielkością kąta

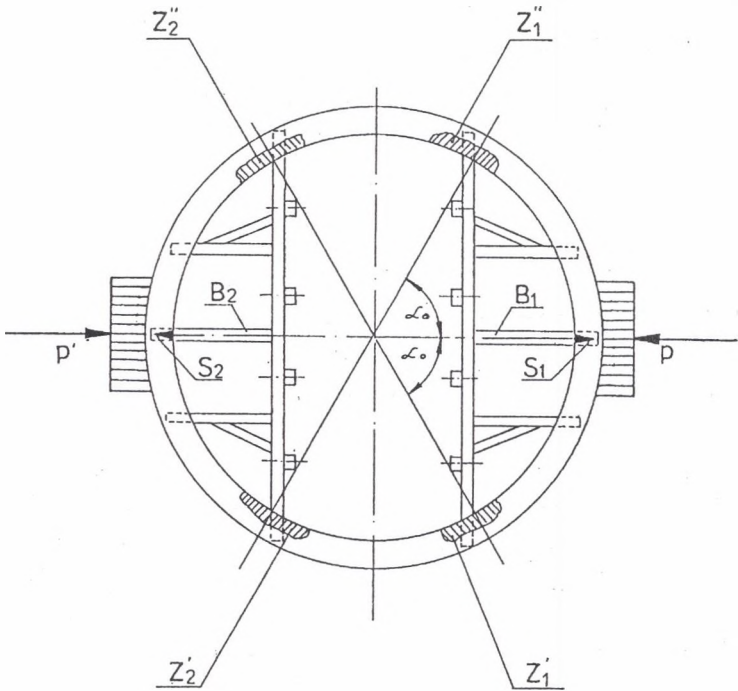


$\alpha_0$  względem szczeliny. Wielkość  $\alpha_0$  oznacza wartość kąta między szczeliną  $S_1$  a zaistniałym w jej sąsiedztwie najdalej sięgającym złuszczeniem muru. W przypadku występowania w murze siatki rys lub szczelin symbolem  $S_1$  oznaczamy rysę lub szczelinę o największej rozwarości.

#### **4. Przykłady możliwych niebezpiecznych uszkodzeń obudów murowych w szybach**

Analiza miejsc występowania uszkodzeń obudów murowych szybów w zależności od sposobu obciążenia obudowy od strony górotworu prowadzi, jak to już wcześniej zaznaczono, do wniosków, że najbardziej niebezpieczne jest równoczesne występowanie na tej samej głębokości szybu rys i szczelin oraz pod pewnym kątem  $\alpha_0$  względem nich złuszczeń jego obudowy.

Przy nierównomiernym ciśnieniu górotworu na obudowę szybu rysy i szczeliny zazwyczaj występują w niej w pierwszej kolejności, a następnie pod kątem  $\alpha_0 = 40^\circ + 52^\circ$  zależnym od sposobu i charakteru nacisku górotworu na rurę szybową powstają złuszczenia. Przyczyną zjawiska nierównomiernego narastania nacisku otaczających skał na obudowę szybu jest najczęściej eksploatacja pokładów węgla zalegających w jego filarze ochronnym. Wynika to głównie z bliskości jednostronnego występowania źródła zwiększonych naprężeń w górotworze względem obudowy szybu.



Rys. 5. Przykład miejscowego obciążenia murowej obudowy szybu wielkościami  $p$  i  $p'$  działającymi wzdłuż dźwigarów rozporowych  $B_1$  i  $B_2$  oraz zaistniałych w niej uszkodzeń

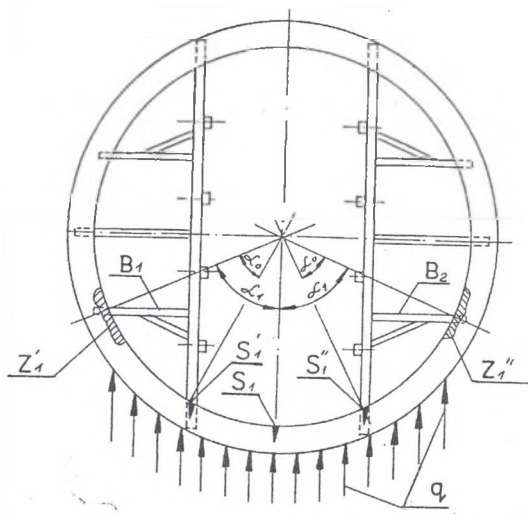
Fig. 5. Example of masonry shaft lining loaded by the values  $p$  and  $p'$  acting along sprag buntons  $B_1$  i  $B_2$  and the damage occurred

Na rys. 5 przedstawiono przykład obciążenia obudowy szybu wielkościami  $p$  i  $p'$  działającymi wzdłuż dźwigarków rozporowych  $B_1$  i  $B_2$  podpierających dźwigary główne. Na przedłużeniu działania tych nacisków od wewnątrz szybu mogą powstać rysy i szczeliny  $S_1$  i  $S_2$ , które w pierwszej fazie nie powodują dużego zagrożenia dla zbrojenia i wyposażenia szybu, chociaż ich wystąpienie osłabi utwierdzenie wspomnianych dźwigarków rozporowych  $B_1$  i  $B_2$  w jego obudowie, a tym samym zmniejszy sztywność dźwigarów głównych.

Wraz ze wzrostem ciśnienia  $p$  i  $p'$  pod kątem  $\alpha_0$  względem szczelin  $S_1$  i  $S_2$  mogą pojawić się złuszczenia  $Z_1'$ ,  $Z_1''$  z jednej i  $Z_2'$ ,  $Z_2''$  z drugiej strony szybu. Wystąpienie tych złuszczeń może spowodować osłabienie mocowania dźwigarów głównych w obudowie szybu, co niekorzystnie wpłynie na

bezpieczną pracę całego wyciągu szybowego, ponieważ bezpośrednio na tych dźwigarach zamocowane są cztery ciągi przewodników szybowych, po których prowadzone są w szybie naczynia wyciągowe. Największym zagrożeniem dla pracy szybu jest w miarę wzrostu ciśnienia górotworu możliwość wypchnięcia do wnętrza szybu całego bloku obudowy ograniczonego szczeliną  $S_1$  i sąsiednim złuszczeniem  $Z_1'$  lub  $Z_1''$  albo szczeliną  $S_2$  i złuszczeniami  $Z_2', Z_2''$  do wnętrza szybu.

Rys. 6 przedstawia możliwość jednostronnego aktywnego obciążenia rury szybowej ciśnieniem górotworu działającym na dużą powierzchnię zewnętrzną obudowy oraz zaistniałych w niej uszkodzeń.



Rys. 6. Przykład jednostronnego aktywnego obciążenia rury szybowej ciśnieniem górotworu działającego na dużą powierzchnię zewnętrznej strony obudowy oraz zaistniałych w niej uszkodzeń

Fig. 6. Example of one-sided active loading of shaft tube exerted by rockmass pressure on large outside surface of the lining and the damage occurred

W otoczeniu działających na obudowę nacisków może zostać przekroczona po wewnętrznej jej stronie wytrzymałość materiału obudowy na rozciąganie i wówczas wystąpią w niej szczeliny  $S_1, S_1', S_1''$ , które swym zasięgiem mogą objąć miejsca utwierdzenia w niej dwóch dźwigarów głównych. Skutkiem tego może zaistnieć zagrożenie utraty stabilności

zarówno rury szybowej na pewnym odcinku szybu, jak i dźwigarów i ciągów prowadników przymocowanych do tych dźwigarów.

Wzrost ciśnienia od strony górotworu może spowodować również i w tym przypadku pojawienie się złuszczeń  $Z_1'$  i  $Z_1''$  po obu stronach szczelin pod kątem  $\alpha_0$  i  $\alpha_0'$ . Złuszczenia te osłabiają utwierdzenie dźwigarek rozporowych  $B_1'$  i  $B_2'$  powodując dodatkowo zmniejszenie sztywności i stabilności dźwigarów głównych zbrojenia szybu. Na skutek wymienionych uszkodzeń muru może również dojść do dewastacji zbrojenia i wyposażenia szybu spowodowanej wypchnięciem bloku obudowy (ograniczonego szczeliną  $S_1'$  lub  $S_1''$  i sąsiednim złuszczeniem  $Z_1'$  lub  $Z_1''$ ) do wnętrza szybu. Zaistnienie takiego przypadku spowodowałoby postój szybu i duże straty materialne, lecz niewspółmierne do najważniejszego aspektu tego zagadnienia, jakim jest bezpieczeństwo transportowanych wyciągiem szybowym ludzi. Z tych względów po stwierdzeniu pierwszych uszkodzeń obudowy szybu (najczęściej szczelin) należy podczas kontroli zwrócić szczególną uwagę na ewentualność wystąpienia w tym rejonie złuszczeń i w razie ich zaistnienia podjąć stosowne działania mające na celu naprawę uszkodzonego fragmentu jego obudowy.

Może się jednak zdarzyć, że rysy i szczeliny podczas kontroli obudowy szybu, mimo ich wystąpienia, nie zostaną zauważone. Łatwiejsze do wykrycia są różnego rodzaju złuszczenia obmurza szybu. Stąd każdorazowo po stwierdzeniu wystąpienia jakiegokolwiek złuszczenia muru należy w pierwszej kolejności sprawdzić, czy w sąsiedztwie tego złuszczenia nie występują z jednej lub drugiej jego strony, albo z obydwu stron rysy i szczeliny. Stwierdzenie wystąpienia rys i szczelin w otoczeniu złuszczenia jest, jak to już zaznaczono, szczególnie niebezpieczne dla prawidłowej bezpiecznej funkcjonalności obudowy szybu oraz jego zbrojenia i wyposażenia.

## 5. Wnioski i uwagi końcowe

- 5.1. W istniejących oraz głębinowych i pogłębianych szybach powszechnie stosowana jest obudowa murowa, obecnie najczęściej z betonu. Właściwością murowej obudowy szybu jest stosunkowo duża jej wytrzymałość na ściskanie i nieznaczna na rozciąganie.

5.2. Obciążona od strony górotworu obudowa murowa szybu, po wystąpieniu w niej naprężeń przekraczających wytrzymałość muru, ulega różnego rodzaju uszkodzeniom. Przekroczenie wielkości granicznych naprężeń ściskających spowoduje lokalne złuszczenie muru. Przy niekorzystnym nacisku skał na obudowę, usiłującym spowodować spłaszczenie rury szybowej, może zaistnieć lokalna koncentracja naprężeń ściskających i rozciągających. Naprężenia rozciągające mogą spowodować wystąpienie w obmurzu szybu rozwarć w postaci rys i szczelin.

5.3. Najbardziej niebezpiecznymi uszkodzeniami obudowy szybu są stwierdzone na podstawie kontroli wizualnej obmurza - złuszczenia muru i występujące pod kątem  $\alpha_0 = 40^\circ + 52^\circ$  względem nich rysy i szczeliny.

Zaistnienie takiego uszkodzenia może być przyczyną wypchnięcia dużego bloku muru do wnętrza szybu i całkowitego zakłócenia jego funkcjonowania. W związku z powyższym w przypadku stwierdzenia, że przy wewnętrznej stronie obudowy szybu wystąpiły rysy i szczeliny oraz złuszczenie muru należy natychmiast przystąpić do jej naprawy.

Również niezwłocznie do naprawy szybu należy przystąpić, gdy zostanie stwierdzone łuszczenie i miażdżenie muru w miejscach zamocowania w nim zbrojenia szybu, zwłaszcza jeżeli mocowanie zostało zrealizowane za pomocą kotwi.

5.4. Stwierdzenie występowania w murze obudowy szybowej samych rys i szczelin nie oznacza utraty jej zdolności do dalszego przyjmowania ciśnienia od strony górotworu.

Brak złuszczeń po wewnętrznej stronie muru potwierdza, że w miejscach koncentracji w nim naprężeń ściskających ich wielkość nie przekracza jego wytrzymałości na ściskanie. Spękana obudowa murowa o kształcie kołowym ulega jedynie rozparciu o obrys wyłomu wyrobiska i może w sposób całkowicie bezpieczny nadal współpracować z górotworem przyjmując wywierane na nią ciśnienie od strony otaczających ją skał.

Występowanie tylko rys i szczelin w murze może być niekorzystne dla bezpiecznego funkcjonowania szybu, jeżeli szczeliny takie powstaną w miejscach mocowania dźwigarów zbrojenia szybowego w jego obudowie.



## Literatura

1. Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1987.
2. Jakubowicz A., Orłoś Z.: Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
3. Janiczek S.: Materiałoznawstwo dla górników. Skrypt uczelniany nr 1064 Politechniki Śląskiej, Gliwice 1982.
4. Szczepaniak Z.: Podporność segmentowej obudowy żelbetowej oraz jej wpływ na stateczność wyrobisk udostępniających na dużych głębokościach. ZN Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 733, Gliwice 1982.

Recenzent: Dr hab. inż. Franciszek Plewa Profesor Politechniki Śląskiej  
Wpłynęło do Redakcji 13.10.1997 r.

## Abstract

The paper presents various behaviour of shaft lining made of brick when subject to working with rocks 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 rockmass surrounding it. Figures 5 and 6 present hazardous damage to the brick wall in view of stability maintenance of the lining made whereof and in view of required stability of shaft reinforcement ends and struts installed in the lining.

The most disadvantageous impact exerted by rocks on the brick shaft lining is effected by one-directional pressure, as shown in Fig.4. In effect, there may occur fissures  $S_1$  and  $S_1'$  in the wall, under the resultants of active loading of the lining with the values  $p_1$  and  $p_1'$ , and fissures  $S_2$ ,  $S_2'$  as well as  $S_2''$  and  $S_2'''$  at the angle  $\alpha=60^\circ$  with respect to the fissures  $S_1$ ,  $S_1'$ . Along the extension lines of all enumerated fissures there will occur a concentration of compressive stresses  $\sigma_{c1max}$  and  $\sigma_{c2max}$ .

If the stresses  $\sigma_{c2max}$  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  $S_1$  and  $S_2$  may fall off into the shaft. Therefore, when wall exfoliation is noticed during the

control of lining, and the occurrence of cracks or fissure  $S_1$  at the angle of about  $60^\circ$  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.