ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: GÓRNICTWO z. 261 Nr kol. 1650

Zenon SZCZEPANIAK, Jan URBAŃCZYK
Politechnika Śląska, Gliwice
Krzysztof ĆWIERTNIA
KWK „Wieczorek", Katowice

MOŻLIWOŚCI UŻYTKOWANIA SPĘKANYCH SZYBOWYCH OBUDÓW MUROWYCH PRZY ICH WSPÓŁPRACY Z GÓROTWOREM

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 może być zachowana stateczność uszkodzonych obudów szybowych, bez konieczności naprawy, przy dalszej ich współpracy z otaczającymi skałami.

THE POSSIBILITIES OF USE FISSURED BRICK SHAFT LININGS BY ITS COOPERATION WITH ROCK MASS

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, by its further cooperation with surrounding rock.

1. Wprowadzenie

Szyby są bardzo ważnymi arteriami komunikacyjnymi łączącymi, poprzez wloty szybowe, podziemne wyrobiska górnicze z powierzchnią ziemi. Wykorzystywane są do pełnienia takich podstawowych funkcji, jak: zjazd i wyjazd załogi, wydobywanie urobku, opuszczanie materiałów, maszyn i różnego rodzaju urządzeń wykorzystywanych w wyrobiskach górniczych, doprowadzanie do podziemi kopalni świeżego i odprowadzanie

z nich zużytego powietrza, dostarczania energii elektrycznej i powietrza sprężonego oraz odprowadzanie na powierzchnię wody gromadzącej się w osadnikach głównych przy komorach pomp na poszczególnych poziomach wydobywczych.

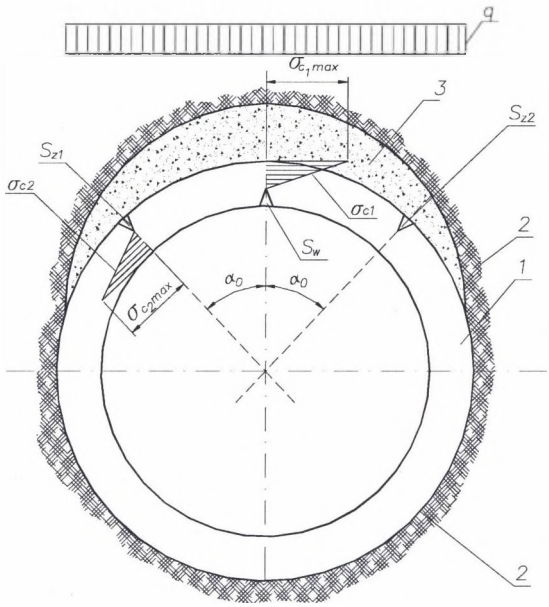
Stąd bardzo istotne jest zapewnienie bezpiecznej pracy szybów podczas wymaganego długotrwałego okresu użytkowania przez zagwarantowanie utrzymania stateczności ich obudowy na całej długości rury szybowej.

W większości dotychczas głębionych szybów powszechnie stosowana była obudowa murowa, w tym w szybach starszych - z cegły lub betonitów, a w nowszych - najczęściej z betonu. W obudowie murowej szybu, obciążonej od strony górotworu, występują dość często uszkodzenia w postaci spękań i złuszczeń, których zaistnienie może być przyczyną wypychania i wpadania 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 związany jest z eksploatacją pokładu w filarze ochronnym szybu lub w bezpośrednim jego sąsiedztwie.

2. Niebezpieczne uszkodzenia obudowy murowej szybu

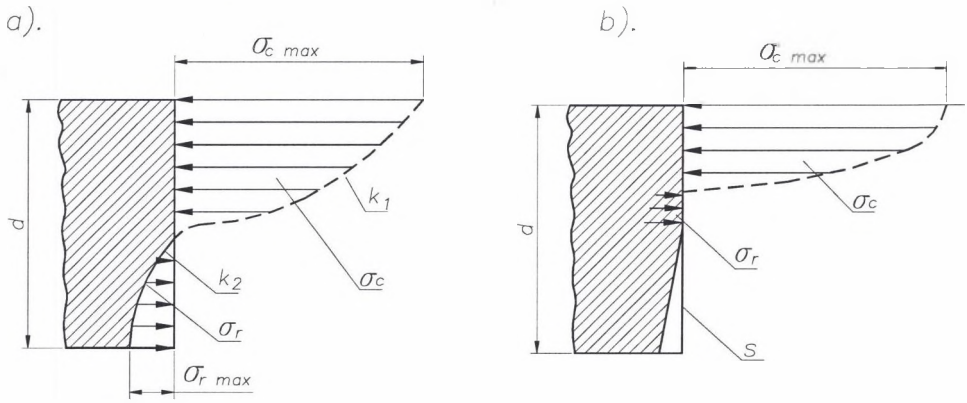
Użytkowane aktualnie szyby górnicze posiadają najczęściej kształt kołowy. Kształt taki podyktowany jest korzystną współpracą obudowy z górotworem, przy której pracuje ona głównie na ściskanie, na które wszystkie rodzaje murów posiadają dość dużą wytrzymałość. W przypadku równomiernego radialnego ciśnienia górotworu na zewnętrzną stronę obudowy szybu w każdym jej przekroju poprzecznym i na całej grubości występują tylko naprężenia ściskające.

Inaczej będą się kształtować naprężenia ściskające w obudowie murowej o kształcie kołowym w przypadku, gdy jej obciążenie od strony otaczających ją skał nie będzie równomiernie rozłożone na całym obwodzie szybu. Na rysunku1 przedstawiono jednostronne obciążenie obudowy murowej szybu o kształcie kołowym wielkością q.



Rys.1. Strefa skał o strukturze naruszonej z jednej strony obudowy szybu, rozpierana między zewnętrzną jej stroną a skałami o strukturze nienaruszonej; 1 – obudowa szybu ze szczelinami s_w, s_{z1} i s_{z2}, 2 – skały o strukturze nienaruszonej, 3 – skały o strukturze naruszonej, obciążające jednostronnie obudowę 1 wielkością q

Fig.1. The zone of the disturbed rock structure on the one side of shaft lining, expanded between external side of the lining and the rock mass with undisturbed rock structure; 1 – shaft lining with fissures s_w, s_{z1} and s_{z2}, 2 – the rock mass with undisturbed structure. 3 – the rock mass with disturbed structure, loading the lining 1 from the one side with q value



Rys.2. Występowanie naprężeń ściskających σ_c i rozciągających σ_r w obciążonej jednostronnie od strony górotworu murowej obudowie szybu o grubości d; a) – kształtowanie się w obudowie naprężeń ściskających σ_c i rozciągających σ_r, o zasięgu objętym krzywymi k_1 i k_2, b) – szczelina s w miejscu naprężeń σ_r

Fig.2. Occurring of the pressure stresses σ_c and tension stresses σ_r in the brick shaft lining thickness d, effected by one way pressure by the rock mass surrounding it; a) – forming in the lining the presure stresses σ_c and tension stresses σ_r in extent filled with curves k_1 and k_2, b) – fissure s in the place of stresses σ_r

Pod wypadkową obciążenia obudowy q występują naprężenia rozciągające (rys.2 a i b), które są przyczyną zaistnienia szczeliny s, odpowiadającej – na rys.1 – szczelinom s_w oraz s_{z1} i s_{z2} (szczeliny o kierunku zbliżonym do pionowego). Szczeliny zewnętrzne s_{z1} i s_{z2} tworzą się pod kątem α_0 równym od około 40^0 do 60^0 względem szczeliny wewnętrznej s_w. W przedłużeniu szczelin s_w i s_z występują naprężenia ściskające σ_c, przyjmujące wartości maksymalne σ_{c1max} i σ_{c2max}. Jak długo wielkości σ_{c2max} spełniają warunek $\sigma_{c2max} < R_c$ (gdzie R_c – wytrzymałość, muru na ściskanie), tak długo obudowa murowa rury szybowej jest stateczna i nie wymaga naprawy.

Zaistnienie warunku $\sigma_{c2max} > R_c$ stwierdza się w czasie okresowej kontroli obmurza szybowego. Prowadzi się wówczas obserwację obudowy, zwracając szczególną uwagę na wystąpienie łatwych do zauważenia złuszczeń.

W miejscu zauważonego złuszczenia sprawdza się dokładnie, czy pod kątem około 60^0 względem niego nie występuje szczelina s_w, którą w czasie kontroli trudno zauważyć na zanieczyszczonym murze obudowy szybu. Jeżeli występuje złuszczenie i szczelina s_w, wówczas należy podjąć decyzję o konieczności natychmiastowej naprawy obudowy na wysokości szczeliny s_w, gdyż mur na odcinku między szczeliną i złuszczeniem może ulec wypchnięciu do wnętrza szybu i spowodować dewastację jego zbrojenia oraz obudowy. Do czasu wystąpienia złuszczenia w sąsiedztwie zaistniałej szczeliny rura szybowa jest nadal stateczna – co uzasadniono w dalszej części opracowania – i nie zachodzi potrzeba naprawy jej obudowy mimo widocznych w niej uszkodzeń w postaci szczelin o kierunku zbliżonym do równoległego względem pionowej osi szybu.

Stąd nie istnieje konieczność prowadzenia bardzo dokładnej kontroli obmurza w celu wykrycia występujących w nim trudnych do zauważenia tego rodzaju szczelin.
Należy natomiast po zauważeniu złuszczenia muru dokładnie sprawdzić na tej głębokości, czy w jego sąsiedztwie nie występuje szczelina s_w (rys.1). Sąsiadujące ze sobą obydwa rodzaje uszkodzeń obudowy zagrażają dalszej stateczności rury szybowej.

3. Uzasadnienie możliwości przejmowania nacisku przez obudowę murową szybu po wystąpieniu w niej szczelin

Na podstawie rys.3, przy uwzględnieniu rys.1, można przedstawić uproszczone zależności (1), (2) i (3), które umożliwiają określenie wielkości momentów gnących M w obudowie murowej szybu, obciążonej w jednym kierunku aktywnym ciśnieniem od

strony górotworu – przy założeniu, że znane są wszystkie wielkości występujące po prawej stronie tych zależności:

$$M = Q \cdot R_0 \cdot \sin\alpha - \left[H \cdot R_0 \cdot (1 - \cos\alpha) + M_1\right] \tag{1}$$

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

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

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 momentów M i 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 przejmowania dalszego obciążenia od strony górotworu przez obudowę można wyjaśnić analizując zależności (1), (2) i (3), przedstawione 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 również na niewielkiej rozpiętości łuku objętego małym kątem α. Stąd wielkość Q jest wypadkową wynikającą z sumy wielkości q.

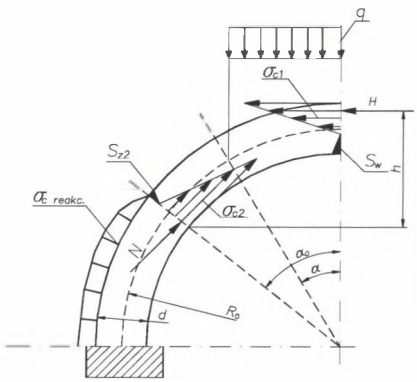
Prawa strona równania każdej z wymienionych trzech zależności składa się z dwóch podstawowych członów, przy czym człon pierwszy jest tak zwanym momentem aktywnym, powodującym spłaszczanie obudowy obciążonej w jednym kierunku zwiększonym naciskiem q, zaś człon drugi to wielkość momentu przeciwdziałającego spłaszczaniu się obudowy. Stąd człon drugi w tych zależnościach przedstawia wielkość momentu reakcyjnego, a występujący w nim rozpór H jest równoważony przez naprężenia reakcyjne $\sigma_{c\ reakc.}$

spowodowane dociskaniem spłaszczanej na tej głębokości rury szybowej do otaczających ją skał (rys.3).

Obudowa może przejmować obciążenie od strony górotworu (nawet wzrastające) do czasu, gdy 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 wzrostu rozporu H (jako wypadkowej naprężeń ściskających σ_{c1}) i wielkości h ramienia momentu (rys.3), na którym ten rozpór działa (rys.3).

Zwiększanie się sumy naprężeń ściskających σ_{c1} i tym samym rozporu H (równoważonych przez wzrastające naprężenia reakcyjne $\sigma_{c\ reakc}$ – rys.3) oraz ramienia h jest możliwe do czasu istnienia zależności $\sigma_{c2max} < R_c$.



Rys.3. Działanie rozporu H na ramieniu h przy spłaszczaniu rury szybowej niekorzystnym jednokierunkowym jej obciążeniem wielkością q od strony górotworu
Fig.3. Action of extent H on the arm h, by the flattening of shaft tube, with unfavorably one –way loading with q value, from the rock mass

Po zaistnieniu warunku $\sigma_{c2max} > R_c$ występuje złuszczenie muru, co powoduje zmniejszenie powierzchni użytecznej obudowy wzdłuż jej grubości d na przedłużeniu szczelin s_w i s_z i tym samym zaczyna się zmniejszać wielkość ramienia h, w związku z czym następuje utrata równowagi między momentami aktywnym i reakcyjnym, przedstawionymi 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 s_w i s_z, co jest równoznaczne

z zachowaniem pełnej stateczności obudowy w warunkach wzajemnej współpracy między tymi momentami i we współpracy między obudową a otaczającymi ją skałami.

4. Współpraca spękanej obudowy murowej z otaczającym ją górotworem

Obudowa murowa szybu po wystąpieniu w niej szczelin o kierunku zbliżonym do pionowego ulega rozparciu o obrys wyłomu wyrobiska i potrafi w dalszym ciągu przeciwstawiać się wywieranemu na nią naciskowi od strony otaczających ją skał. We współpracy z tymi skałami hamuje ich deformowanie się, zmuszając je do pracy w trójosiowym stanie naprężenia, gdzie wartość trzeciego kierunku tego naprężenia podyktowana jest wielkością wywieranego przez nie nacisku na obudowę.

Przy założeniu, że drugi kierunek obciążenia wzdłuż obwodu szybu nie jest mniejszy od wywieranego przez skałę nacisku na obudowę, można zastosować zależność Hoeka-Browna (4) do określenia wytrzymałości skał w otoczeniu szybu, przy ich współpracy z jego obudową [1].

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \cdot \sigma_3 \cdot R_c + R_c^2} = R_c^{'} \rangle R_c, \tag{4}$$

gdzie:

σ_1 – naprężenia, jakie może przyjmować skała w trójosiowym stanie naprężenia, osiowo symetrycznym,

σ_3 – nacisk na skały o strukturze nienaruszonej, spowodowany rozpieraniem skał o strukturze naruszonej między obudową a otaczającym ją górotworem w miejscu występowania jej obciążenia wielkością q ($\sigma_3 = q$),

R_c – wytrzymałość na ściskanie skał otaczających obudowę szybu określona w jednoosiowym stanie naprężenia,

$R_c^{'}$ – zwiększona wytrzymałość skał nienaruszonych, spowodowana naprężeniami $\sigma_3 = q$, które zmuszają skały do pracy w trójosiowym stanie naprężeń,

m – stała materiałowa dla skał; można przyjąć, że jej średnia wartość dla skał karbońskich wynosi $m_{śr} = 15$.

Z podanych wyżej zależności (1), (2), (3) i (4) wynika, że jeżeli w obudowie nie występują złuszczenia, lecz tylko spękania, wówczas może ona w dalszym ciągu przejmować obciążenie od strony górotworu, nawet wzrastające, przy równoczesnym powodowaniu przez nią wzrostu wytrzymałości otaczających ją skał. Stąd, jak długo we współpracy murowej

obudowy szybu z górotworem zachodzi warunek wyrażony zależnością (5), przy którym (w trójosiowym stanie naprężenia) nie zostanie przekroczona wytrzymałość skał na ściskanie, tak długo obudowa murowa może pracować skutecznie, nawet po wystąpieniu w niej rys i szczelin, zaś o skuteczności jej pracy świadczyć będzie brak występowania złuszczeń po wewnętrznej stronie obudowy, co można stwierdzić podczas okresowej kontroli obmurza szybowego.

$$\sigma_z \leq R_c^{'} > R_c, \tag{5}$$

gdzie:

σ_z – naprężenia pionowe w górotworze,

$\sigma_z = p_z$ – bez uwzględniania wpływów eksploatacji na filar ochronny szybu,

$\sigma_z > p_z$ – przy uwzględnianiu wpływów eksploatacji na filar ochronny szybu.

Stwierdzenie podczas kontroli występowania na określonej głębokości rury szybowej tylko rys lub szczelin oznacza taką dalszą współpracę obudowy z górotworem, przy której może ona przejmować nacisk o wielkości σ_3 (zależność 4) od rozpieranej skały o zniszczonej strukturze, przy zewnętrznej jej stronie.

Rozpieranie skały o naruszonej strukturze między obudową a górotworem jeszcze nienaruszonym ogranicza dalsze jego deformowanie się i tym samym umożliwia przejęcie przez skały o strukturze nienaruszonej naprężeń σ_1 (zależność 4), co prowadzi do stałego lub czasowego zahamowania deformowania się skał i stałej lub czasowej stateczności obudowy murowej szybu umożliwiającej bezpieczną pracę rury szybowej do chwili wystąpienia w niej złuszczeń w sąsiedztwie wcześniej powstałych rys i szczelin.

5. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych rozważań 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 są przyczyną wystąpienia w obmurzu szybu uszkodzeń w postaci rys i szczelin.

Najbardziej niebezpiecznymi uszkodzeniami obudowy szybu są stwierdzone na podstawie kontroli jego obmurza występujące w nim złuszczenia oraz na tej samej głębokości, pod kątem α_0 równym od 40^0 do 60^0 względem nich, rysy i szczeliny. Pojawienie się takiego uszkodzenia może być przyczyną wypchnięcia dużego bloku muru do wnętrza szybu, co w konsekwencji spowoduje uszkodzenia zabudowanych w nim urządzeń i tym samym czasowe uniemożliwienie jego funkcjonowania.

W związku z tym występowanie na określonej głębokości szybu, na wewnętrznej stronie obmurza, rys lub szczelin oraz złuszczeń muru powinno być podstawą do podjęcia decyzji odnośnie do natychmiastowej naprawy obudowy murowej szybu na tej głębokości.

Natomiast występowanie na wewnętrznej stronie obudowy tylko rys i szczelin o kierunku zbliżonym do równoległego względem pionowej osi szybu nie oznacza utraty jej stateczności, a świadczy jedynie o zwiększonym ciśnieniu górotworu oddziałującego na szyb z jednego kierunku i pełnym rozparciu się spłaszczanej rury szybowej o otaczające ją skały. W takim przypadku obudowa murowa szybu może bezpiecznie przejmować w dalszym ciągu nacisk otaczających ją skał i powodować zwiększenie wytrzymałości skał o nienaruszonej jeszcze strukturze przez zmuszenie ich do pracy w warunkach trójosiowego stanu naprężenia. Należy jednak sprawdzać, czy na głębokości tych szczelin po pewnym czasie nie wystąpią w ich sąsiedztwie złuszczenia muru, co wymagałoby podjęcia decyzji o konieczności naprawy obudowy na tej głębokości szybu.

LITERATURA

1. Bieniawski Z.T.: Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling. A. A. Balkema. Boston 1984.
2. Ćwiertnia K., Szczepaniak Z.: Analiza uszkodzeń murowych obudów szybowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. nr 236. Gliwice 1997.
3. Ćwiertnia K., Szczepaniak Z.: Uwagi do sposobu prowadzenia kontroli murowych obudów szybowych. Budownictwo Górnicze i Tunelowe nr 2/1999.
4. Szczepaniak Z., Ćwiertnia K., Urbańczyk J.: Wpływ nośności obudowy szybowej na stateczność otaczających ją skał. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Kraków 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek

Abstract

The mine's shafts are usually circle shaped, because of favorable cooperation between the brick lining and the rock mass, at which it works mainly under pressure stresses. In case of equable radial pressure of the rock mass on the external side of the shaft lining in each its transversal crossection and on the whole thickness, occuring only pressure stresses, on which all kind of brick lining represent high strength. The pressure stresses form differently in the circle brick lining in such case when its loading from the surrounding rock is not regular distributed on the whole circumference of the shaft lining. On the fig.1 have shown unilateral loading on the circle shaped brick shaft lining with value q. Below the aggregate lining loading q occuring the tension stresses (fig.2a and b), which are the reason of occuring of the fissure s, which responds on the fig. 1 fissures s_w and s_{z1} and s_{z2} (fisures in the direction close to the vertical). External fissures s_{z1} and s_{z2} are created with angle α_0 from 40^0 to 60^0 in respect of internal fissure s_w. In the alongation of fissures s_w and s_z occuring pressure stresses σ_c with maximum values σ_{c1max} and σ_{c2max}. How long the values σ_{c2max} satisfy condition $\sigma_{c2max} < R_c$ (where R_c - brick lining pressure stresses strength) so the brick shaft lining is stable and does not need reparing.

Coming into being the condition $\sigma_{c2max} > R_c$ is ascertained during the periodic control of the shaft lining. The lining is observed with paying special attention on occuring easy to notice exfoliating. In the place of noticed exfoliating it is checked strictly, if at the angle of about $60^{0.}$ in respect of it, occuring the fissure s_w. When the occurence of cracks of fissure s_w is identified it means that immediate decision to change the lining at the depth of the tissure s_w should be taken, becouse the lining on the section between the fissure and exfoliation could be moved inside the shaft and cause damages of its equipment and the lining. Until the occuring of the exfoliation, close to the fissure, the shaft tube is still stable and is no necessity of its reparing, though visible damages, what was justify in this work (fig.3 dependences 1, 2, 3, 4 and 5).