

Zenon SZCZEPANIAK**Piotr GŁUCH****Jan URBAŃCZYK**Instytut Geomechaniki Budownictwa Podziemnego
i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, Gliwice**WZMOCNIONE KONSTRUKCJE STALOWYCH
OBUDÓW ODRZWIOWYCH DOSTOSOWANYCH
DO DEFORMACYJNEGO CIŚNIENIA GÓROTWORU**

Streszczenie. Na obudowę kapitalnych wyrobisk górniczych wykonywanych na dużych głębokościach przekazywane jest często tzw. deformacyjne ciśnienie górotworu spowodowane znaczną koncentracją naprężeń ściskających w skałach przy ociosach tych wyrobisk. W pracy zaprezentowano sposób określenia warunków stwierdzających zaistnienie deformacyjnego ciśnienia górotworu i wymaganej podpomości obudowy z odrzwi stalowych podatnych. Przedstawiono również konstrukcję obudów, przy których - w warunkach wywieranego na nie deformacyjnego ciśnienia górotworu - można w maksymalnym stopniu zachować stateczność wyrobisk korytarzowych i komorowych.

**REINFORCED STEEL ARCH SUPPORTS ADAPTED TO
DEFORMING ROCK PRESSURE**

Summary. The casing of capital mine workings executed at great depths are often subject to so called deformative pressure of the rock mass caused by substantial concentration of compressive stress in the rock by the side wall of the rock mass. The work presents a method specifying the conditions asserting the existence of the deformative pressure of the rock mass and the required resistance of a yielding steel door frame. The work also presents door frame constructions which - being subject to the exerted deformative pressure of the rock mass - allow to sustain the stability of a dog heading and chamber heading to a maximum.

УСИЛЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СТАЛНЫХ РАМНЫХ КРЕПЕЙ, ПРИСПОСОБЛЕННЫХ К ДЕФОРМАЦИОННОМУ ГОРНОМУ ДАВЛЕНИЮ

Резюме. На крепь капитальных горных выработок, проведенных на большой глубине часто передается, так называемое, деформационное давление массива, вызванное значительной концентрацией сжимающих напряжений в боковых породах этих выработок. В работе представлен метод установления факторов, свидетельствующих о появлении деформационного горного давления и требуемой опорности стальной рамной крепи. Представлена также конструкция крепей, которая в условиях действующего на неё деформационного давления массива позволяет в максимальной степени сохранить устойчивость длинных и камерных выработок.

1. WSTĘP

Prowadzenie eksploatacji i udostępnianie węgla i innych kopalin użytecznych na dużych głębokościach powoduje wzrost trudności związanych z długotrwałym utrzymaniem podziemnych wyrobisk udostępniających i komorowych przy jak najmniejszej ilości ich przebudów.

Zapewnienie stateczności konstrukcji obudowy i otaczających skał jest zagadnieniem pierwszorzędnej wagi dla górniczych wyrobisk kapitalnych, których ciągła i pełna funkcjonalność powinna być zachowana przez wymagany długotrwały okres ich eksploatacji.

Coraz większa głębokość poziomów wydobywczych i związane z nią duże naprężenia pierwotne, fizyczne własności skał oraz ich tektonika, wielkość i kształty przekrojów poprzecznych wyrobisk, technika ich wykonania, rodzaj stosowanej obudowy oraz sposób jej współpracy z górotworem powodują powstawanie wokół nich niekorzystnych obszarów naprężeniowo-deformacyjnych. W górotworze pozostającym w ich zasięgu wytwarza się stan naprężenia, przy którym przekraczana jest doraźna wytrzymałość otaczających dane wyrobisko skał nie tylko na rozciąganie i ścinanie, ale również na ściskanie.

Naprężenia ściskające, których wartość przekracza wytrzymałość skał, są przyczyną niszczenia ich struktury i wyciskania w kierunku obudowy, co powoduje wywieranie na nią tzw. deformacyjnego ciśnienia górotworu. Zjawiska te występują coraz częściej, tym bardziej że stosowane dotychczas w górnictwie obudowy stalowe podatne, ze względu na swoją niską podporność przy dość znacznej podatności (pomimo zwiększonego ageśzczenia odrzwi obudowy), nie są w stanie powstrzymać nadmiernej

konwergencji wyrobiska. Z tego też względu rośnie ilość koniecznych przebudów wyrobisk w celu przywrócenia im wymaganych walorów odnośnie do pełnej ich użyteczności.

Zachodzi więc konieczność poszukiwania takich konstrukcji obudów, która zapewniałaby całkowitą stateczność wyrobiska lub przynajmniej jak najdłuższy okres zachowania zaplanowanej pełnej jego funkcjonalności do czasu pierwszej przebudowy.

2. SPOSÓB OKREŚLENIA DEFORMACYJNEGO CIŚNIENIA GÓROTWORU NA OBUDOWĘ WYROBISK KORYTARZOWYCH

Przyczyną deformacyjnego ciśnienia górotworu na obudowę wyrobisk korytarzowych w otaczających je skalach jest wystąpienie naprężeń ściskających o wielkości przekraczającej graniczną wytrzymałość tych skal na ściskanie.

Ciśnienie deformacyjne wystąpi w tych przypadkach, gdy w skalach otaczających wyrobisko spełniony będzie warunek wyrażony zależnością (1) (rys. 1).

$$\sigma_{c \max} = p_z + \sigma_{c \max d} > R_c, \quad (1)$$

gdzie:

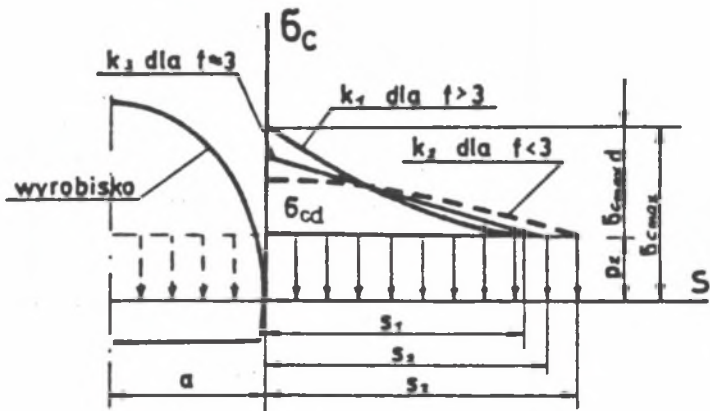
- R_c - ustalona laboratoryjnie doraźna wytrzymałość danej skały na ściskanie w jednoosiowym stanie naprężenia,
- $\sigma_{c \max}$ - maksymalne naprężenie ściskające w skalach przy ociosie wyrobiska,
- $\sigma_{c \max d}$ - maksymalne naprężenie dodatkowe (rys. 1),
- p_z - naprężenie pierwotne ($p_z = \gamma \cdot H$)

Rys. 1. obrazuje rozkład naprężeń pierwotnych p_z przy ociosach wyrobiska oraz tzw. naprężeń dodatkowych σ_{cd} rozkładających się według krzywych k_1 , k_2 , i k_3 zależnie od zwięzłości skal określonej współczynnikiem f (gdzie $f = 3$, oznacza, że R_c skal = 30 MPa). Źródłem naprężeń dodatkowych jest ciężar skal nadległych nad połową maksymalnej szerokości wyrobiska (a) korytarzowego zawartych wewnątrz prostopadłościanu o wymiarach $H \times a \times l$ m. Praktycznie można przyjąć, że naprężenia σ_{cd} rozkładają się wg linii prostej (linia k_3 - rys. 1).

Zasięg naprężeń σ_{cd} obejmuje długość odcinka $s = n \times a$, gdzie $n = 2 \div 5$ zależnie od rodzaju skal i szerokości wyrobiska, przy czym dla wyrobiska o szerokości nie przekraczającej 6 m można przyjąć [2] $n = 3$. W takim przypadku dla wyrobiska o długości l ($l = 1$ m) na głębokości H i ciężarze objętościowym skal nad wyrobiskiem γ wielkość $\sigma_{c \max d}$ można wyliczyć ze wzoru (2), a $\sigma_{c \max}$ ze wzoru (3).

$$\frac{\sigma_{c \max d} \cdot s \cdot 1m}{2} = \gamma \cdot H \cdot a \cdot 1m$$

$$\sigma_{c \max d} = \frac{2 \cdot \gamma \cdot H \cdot a}{s} = \frac{2 \cdot p_z \cdot a}{s} \quad (2)$$

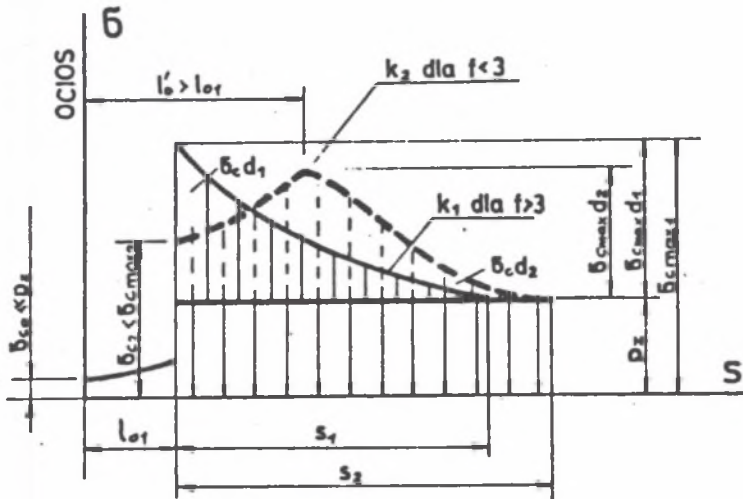


Rys. 1. Rozkład naprężeń pierwotnych p_z i dodatkowych σ_{cd} w skalach o różnej zwięzłości przy ociosach wyrobiska korytarzowego lub komorowego

Fig. 1. Pattern of primary p_z stresses and additional σ_{cd} stresses in rocks with different strength at side walls in a dog or a chamber opening

$$\sigma_{c \max} = \sigma_{c \max d} + p_z = \frac{2 \cdot p_z \cdot a}{s} + p_z = \frac{p_z (2a + s)}{s} \quad (3)$$

Przy założeniu że $s = 3a$, z zależności (3) można wyliczyć, iż $\sigma_{c \max} = 5/3 p_z$. Jeżeli dla wyliczonej wielkości $\sigma_{c \max}$ w którymkolwiek miejscu przy obrysie wylomu wyrobiska zaistnieje zależność $\sigma_{c \max} > R_C$, wówczas skały ulegają spękaniu i kruszeniu, przemieszczają się w kierunku wykonanej w wyrobisku obudowy, napotyka ją jej opór i wywierają na nią duże deformacyjne ciśnienie górotworu. Naprężenia w strefie skał pokruszonych spadają do wielkości σ_{CO} podyktowanej przez podporność obudowy (rys. 2). Naprężenia maksymalne $\sigma_{c \max}$ przenoszą się w przypadku skał zwięzłych na granicę strefy skał nieodprężonych, to jest na odległość l_0 względem ociosu wyrobiska (krzywa k_1 na (rys. 2), a w przypadku skał mniej zwięzłych na odległość $l_0 > l_0$ (krzywa k_2 - rys. 2). W przypadku gdy wielkości $\sigma_{c \max}$ lub σ_{c2} w odległości l_0 od ociosów wyrobiska (rys.2) przekraczają w dalszym ciągu graniczną wytrzymałość skał na ściskanie (mimo współpracy obudowy z górotworem), wówczas ulegają one dalszej deformacji, zwiększają nacisk na obudowę i są przyczyną zaciskania wyrobiska prowadzącego często do konieczności jego przebudowy.



Rys. 2. Rozkład naprężeń ściskających przy ociosach wyrobiska korytarzowego po zaistnieniu zależności $\sigma_{c \max} > R_C$ i przy współpracy deformujących się skał z obudową

Fig. 2. Pattern of compressive stresses at side walls in a dog heading after $\sigma_{c \max} > R_C$ relationship occurred and with cooperation of deforming rocks with the support

3. WYMAGANA PODPORNOŚĆ OBUDÓW DLA WYROBISK KORYTARZOWYCH W WARUNKACH DEFORMACYJNEGO CIŚNIENIA GÓROTWORU

Podstawową metodą przeciwdziałania zaciskaniu wyrobiska jest stosowanie obudowy o konstrukcji zapewniającej prawidłową współpracę z otaczającym ją górotworem przy maksymalnym wykorzystaniu własnej wytrzymałości skał otaczających dane wyrobisko. Obudowa taka powinna charakteryzować się dostatecznie dużą podpornością i zadaną podatnością [1].

Obudowom wyrobisk korytarzowych i komorowych nie nadaje się podporności wstępnej. W związku z tym współpraca obudowy z górotworem rozpoczyna się z chwilą wywarcia na nią nacisku od strony górotworu.

Po zaistnieniu zależności (1) w którymkolwiek miejscu przy obrysie wylomu wyrobiska deformująca się skała wywiera nacisk na obudowę i co najmniej taką samą wielkością (na skutek reakcji obudowy) wywiera ciśnienie w przeciwnym do obudowy kierunku, tj. na skały nienaruszone. W ten sposób skały nienaruszone zmuszone są do pracy w trójkierunkowym stanie naprężenia, gdzie jednym kierunkiem są naprężenia σ_{cmax} , drugim - naprężenia w skale wzdłuż osi wyrobiska, a trzecim kierunkiem jest reakcja obudowy na wielkość ciśnienia deformacyjnego, przy czym im większa podporność obudowy, tym większa jej reakcja i bardziej skuteczne hamowanie odnośnie do deformowania się skał po wystąpieniu zależności (1).

W związku z powyższym przy współpracy obudowy z górotworem może wytworzyć się taka sytuacja, przy której po zaistnieniu w danym miejscu przy obrysie wylomu wyrobiska zależności (1) wystąpi zależność (4) lub (5):

$$\sigma_{cmax} > R'_c > R_c \quad (4)$$

lub

$$\sigma_{cmax} = R'_c > R_c, \quad (5)$$

gdzie:

R'_c - graniczna wytrzymałość skały na ściskanie na granicy strefy skał nieodprężonych przylegającej do zewnętrznej strony strefy skał odprężonych.

Zwiększenie granicznej wytrzymałości skały na ściskanie R_c względem wielkości R_c podyktowane jest pracą skal w tym miejscu w warunkach trójkierunkowego stanu naprężenia, gdzie - jak to już zaznaczono - wielkość naprężenia w trzecim kierunku związana jest z reakcją, a więc wielkością podporności obudowy.

Przedstawiona zależność (4) wyraża warunek hamowania zaciskania wyrobiska w tym większym stopniu, im bardziej wielkość R_c zbliża się do wielkości $\sigma_{c \max}$. Z uwagi na wymaganą długotrwałą stateczność wyrobiska przy wyeliminowaniu lub maksymalnym ograniczeniu ilości jego przebudów najkorzystniejsza byłaby taka sytuacja, przy której w wyniku współpracy obudowy z górotworem zaistniałby warunek (5).

Stan określony zależnością (5) uzyska się przez zastosowanie w wyrobisku obudowy o dostatecznie dużej podporności. Podporność tę można ustalić za pomocą hipotezy Hoeka - Browna wyrażonej zależnością (6):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \cdot \sigma_c \cdot \sigma_3 + \sigma_c^2} \quad (6)$$

W zależności (6) wyrażenie występujące po prawej stronie równania oznacza wielkość R_c , która przy pełnym zachowaniu stateczności wyrobiska powinna być równa $\sigma_{c \max}$. Z powyższego wynika, że wielkość $\sigma_{c \max}$ jest między innymi funkcją podporności obudowy σ_3 , a zatem przy znanej wielkości $\sigma_{c \max}$ wyliczonej z zależności (3) można z hipotezy (6) obliczyć ze wzoru (7) wymaganą podporność obudowy q_0 wyrażoną wielkością σ_3 , przy której będzie zachodzić zależność (5).

$$q_0 = \sigma_3 = \frac{2\sigma_1 + m\sigma_c - \sqrt{(2\sigma_1 + m\sigma_c)^2 - 4(\sigma_1^2 - \sigma_c^2)}}{2} \quad (7)$$

Jeżeli konstrukcja obudowy będzie posiadała podporność wyrażoną zależnością (7), wówczas można uważać, że stateczność wyrobiska będzie w pełni zachowana.

Stateczność wyrobiska może być również zachowana, jeżeli podporność obudowy będzie nieco mniejsza od wyliczonej z zależności (7) z uwagi na to, że przy współpracy górotworu z obudową podatną zachowującą w czasie pracy jej elementów podatnych dostatecznie dużą podporność może dojść zgodnie z rys. 2 do pewnego odciążenia skal o nienaruszonej strukturze od ciężaru skal nadległych i obniżenia wielkości $\sigma_{c \max}$ do wielkości $\sigma_{c2} < \sigma_{c \max}$.

Natomiast gdy wielkość q_0 konstrukcji obudowy jest znacznie mniejsza od wielkości σ_3 wyliczonej wg hipotezy (6), wówczas należy się liczyć z zachowaniem się układu górotwór - obudowa zgodnie z warunkiem wyrażonym zależnością (4). Zatem w tym przypadku zachodzić będzie tylko hamowanie zaciskania wyrobiska tym mniej intensywne, im większa będzie podporność obudowy. Przy występowaniu zale-

żności (4) i konieczności użytkowania wyrobiska przez dłuższy okres czasu należy liczyć się z takim zmniejszeniem jego gabarytów, przy którym będzie zachodziła potrzeba jego przebudowy.

4. KONSTRUKCJA OBUDÓW Z ODRZWI STAŁOWYCH ORAZ SPOSÓB USTALANIA ODLEGŁOŚCI MIĘDZY ODRZWIAMI

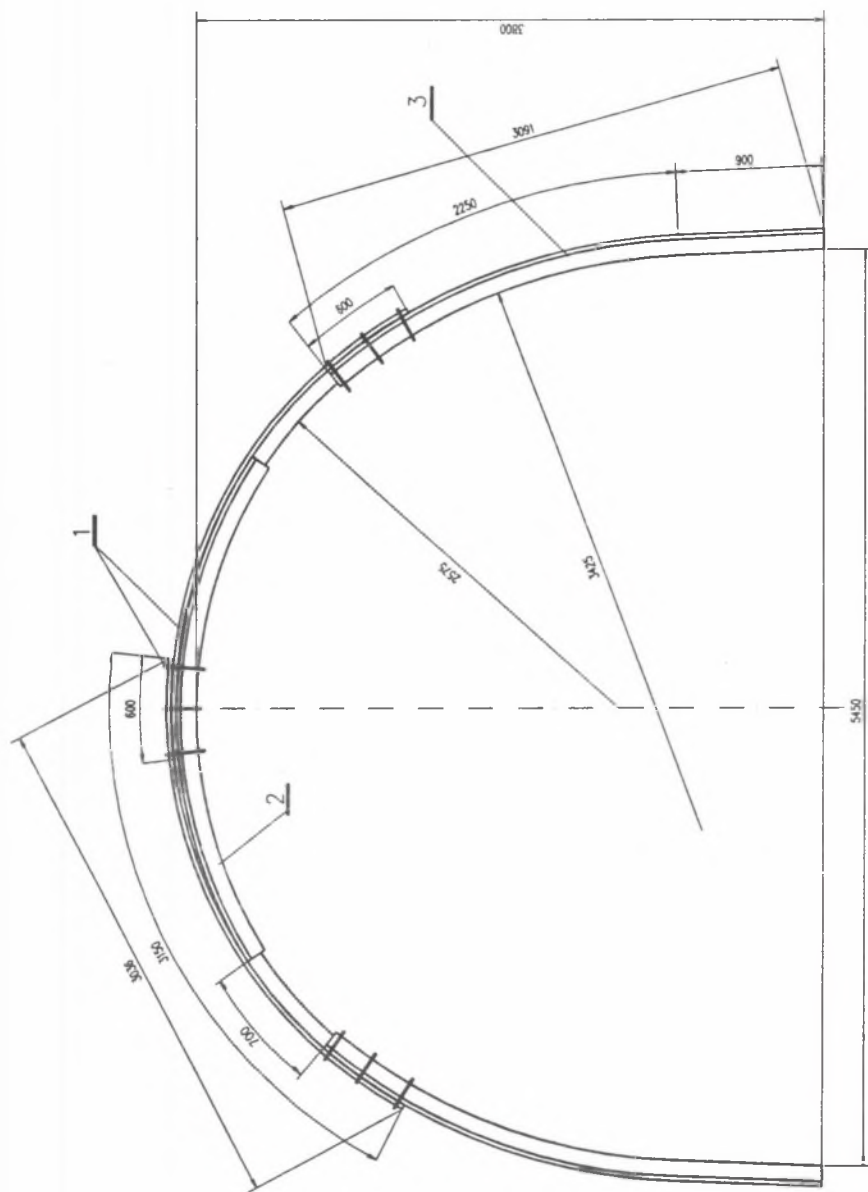
Podstawowymi konstrukcjami stosowanymi obecnie w udostępniających wyrobiskach korytarzowych przy spodziewanym wywieraniu na wykonaną w nich obudowę deformacyjnego ciśnienia górotworu są obudowy wykonywane z odrzwi stalowych podatnych o profilu V29 lub V36. W praktyce stwierdza się jednak, że przy większych ciśnieniach górotworu obudowa odrzwiowa z tych profili (nawet przy znacznym zagęszczeniu odrzwi) ulega dużym deformacjom prowadzącym często do konieczności stosowania przebudowy wyrobiska.

W związku z powyższym w [4] przedstawiono konstrukcje wzmocnionych odrzwi obudowy (opracowane przez Piotra Głucha) wykonane z produkowanych obecnie profili V29 i V36 (rys. 3, 4, 5 i 6).

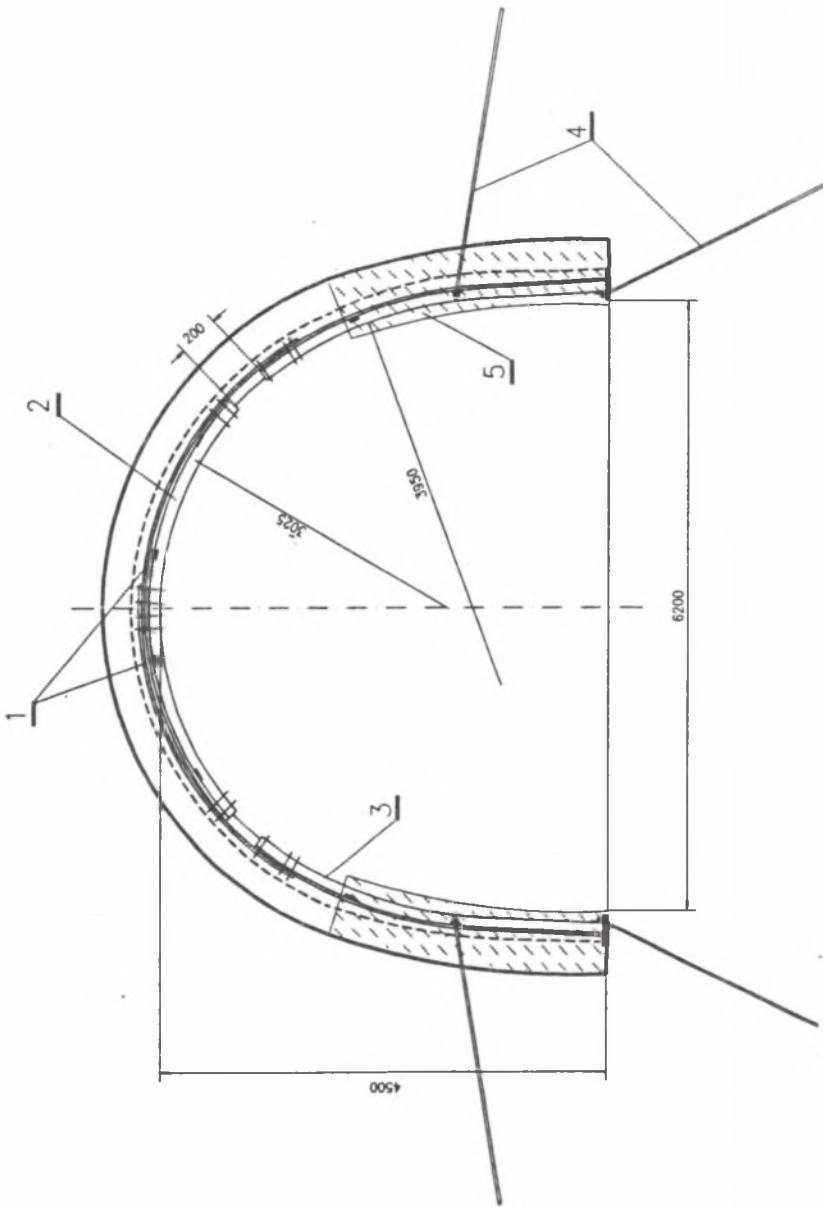
Konstrukcja (jak na rys. 3) dostosowana jest do zwiększonego ciśnienia górotworu na obudowę od strony skal stropowych. W związku z tym w znormalizowanych odrzwiach obudowy wzmocniono dwuelementowy łuk stropowy 1 odpowiednio powiązany z nimi łukiem dodatkowym 2 o tym samym profilu. Łuk 2 posiada mniejszą długość od łuku 1, co umożliwia zmianę charakteru pracy odrzwi z obudowy o konstrukcji podatnej na obudowę o konstrukcji podatno-szytywnej, a tym samym maksymalne wykorzystanie podporności odrzwi po zejściu się końcówek dodatkowego łuku stropowego 2 z górnymi końcówkami łuków ociosowych 3. Obudowa o takiej konstrukcji zawiera więc w sobie walory obudowy podatnej przy pełnym wykorzystaniu jej maksymalnej podporności.

W przypadku spodziewanego większego ciśnienia górotworu od strony ociosów lub od strony stropu i ociosów wg [4] proponuje się zastosowanie konstrukcji obudowy jak na rys. 4. Obudowa ta może być zastosowana w trzech rozwiązaniach, a mianowicie:

- ze wzmocnieniem łuków ociosowych za pomocą kotwi 4,
- ze wzmocnieniem łuków ociosowych za pomocą betonu 5,
- ze wzmocnieniem łuków ociosowych za pomocą kotwi 4 i betonu 5.

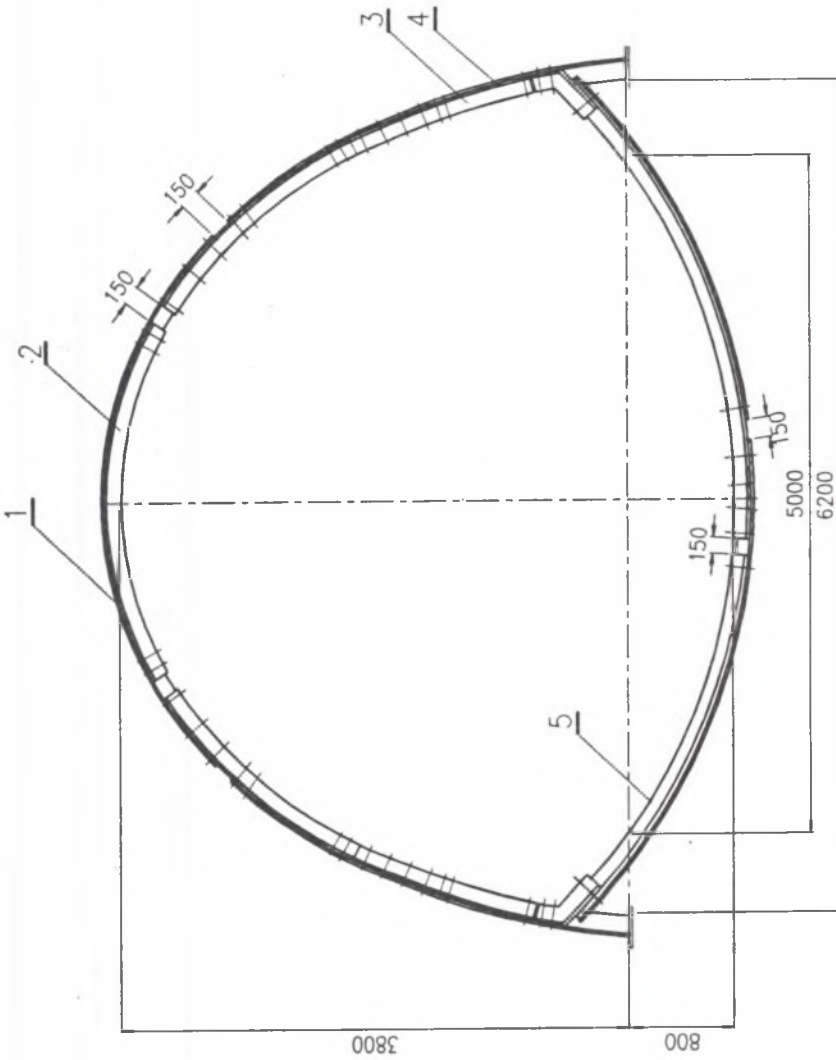


Rys. 3. Odrzwia obudowy 10 LPW-V36 lub 10 LPW-V29 1 - dwuelementowy luk stropowy, 2 - dodatkowy luk stropowy, 3 - luk ociosowy
 Fig. 3. Door frame of the casing 10 LPW-V36 or 10 LPW-V29 1 - two element roof arch, 2 - additional roof arch, 3 - side wall arch



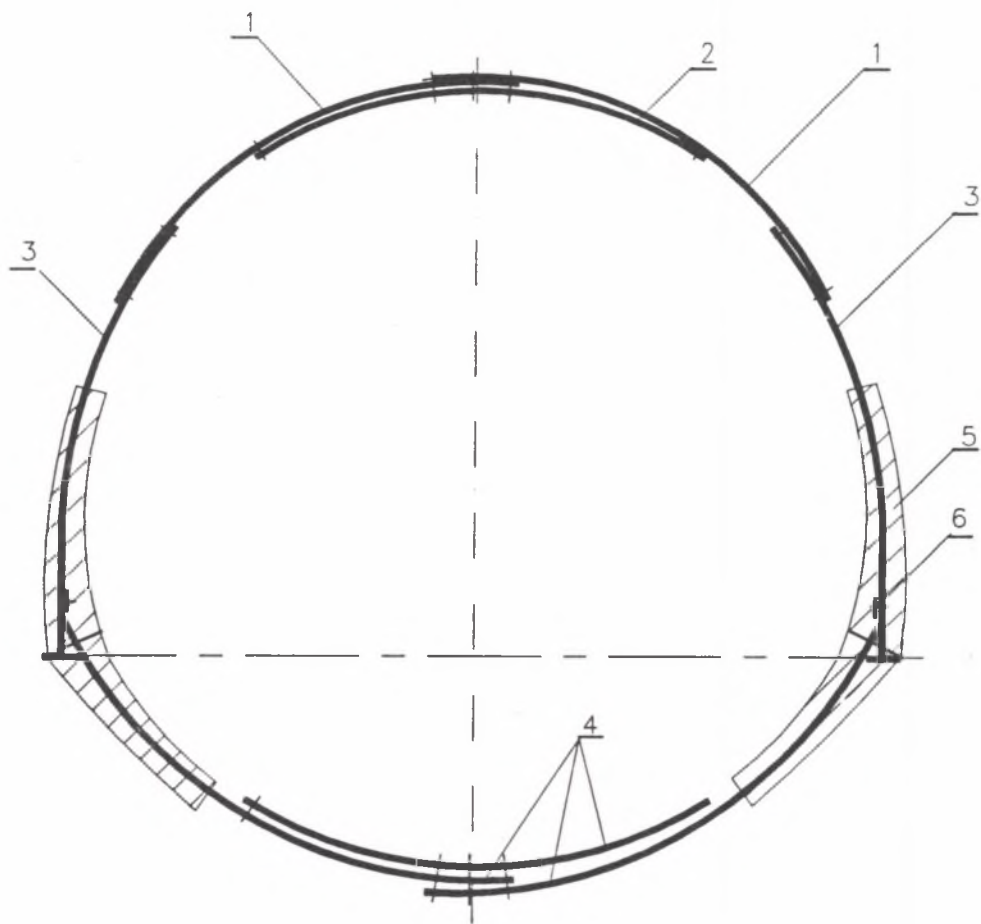
Rys. 4. Odrzwaia obudowy LP o konstrukcji wzmoconionej 1 - dwuelementowy łuk stropowy, 2 - dodatkowy łuk stropowy, 3 - łuk ociosowy, 4 - kotew, 5 - beton

Fig. 4. Door frame of the casting LP of reinforced construction 1 - two element roof arch, 2 - additional roof arch, 3 - side wall arch, 4 - anchor, 5 - concrete



Rys. 5. Odrzwia obudowy ŁP-Sz dla przebudowywanego wlotu na poz. 950 m w KWK "Sosnica" 1 - jedno- lub dwuelementowy łuk stropowy, 2 - dodatkowy łuk stropowy, 3 - łuk ociosowy, 4 - dodatkowy łuk ociosowy, 5 - wieloelementowy łuk spagowy

Fig. 5. Door frame of the casting for the reconstructed inlet into the position 950 m, in the Sosnica Coal Mine 1 - one or two element roof arch, 2 - additional roof arch, 3 - side wall arch, 4 - additional side wall arch, 5 - multi-element floor arch



Rys. 6. Schemat wzmocnionej obudowy ŁP zamkniętej 1 - dwuelementowy łuk stropowy, 2 - dodatkowy łuk stropowy, 3 - łuki ociosowe, 4 - trójelementowy łuk spagowy, 5 - beton natryskowy, 6 - wkładka podatna drewniana

Fig. 6. Desing of the reinforced closed casing ŁP 1 - two element roof arch, 2 - additional roof arch, 3 - side wall arches, 4 - three element floor arch, 5 - shotcrete, 6 - timber yielding pad.

W wyrobiskach typu korytarzowego lub komorowego z tendencją do wyciskania spągu lub przy spodziewanym wszechstronnym ciśnieniu górotworu na wykonaną w nich obudowę można wg [4] zastosować konstrukcję odrzwi jak na rys. 5. Obudowa ta może być również wykonywana w kilku wariantach, tzn. tak jak na rys. 5 lub z dodatkowymi wzmocnieniami za pomocą kotwi i betonu przy spągu wyrobiska oraz na wysokości luków ociosowych.

Odmianę konstrukcji obudowy przedstawionej na rys. 5 (wzmocnionej za pomocą betonu) przedstawiono schematycznie na rys. 6.

Z przedstawionych wzmocnionych konstrukcji obudów w praktyce została zastosowana obudowa ŁP-Sz (rys. 5), którą wykorzystano przy przebudowie wlotu szybowego do szybu VI na poz. 950 m w KWK "Sośnica".

Przy praktycznym stosowaniu ww. konstrukcji obudów konieczne jest ustalenie odpowiedniej odległości między odrzwiami. Odległość tę ustala się tak, aby we współpracy obudowy z górotworem i przy pełnym wykorzystaniu podporności odrzwi uzyskać spełnienie warunku (5). Dla ustalenia wymaganej odległości między odrzwiami należy przyjąć następujący sposób postępowania:

- określić spodziewaną wielkość maksymalnego naprężenia ściskającego σ_{cmax} w ociosach projektowanego wyrobiska,
- za pomocą zależności (7) określić wymaganą podporność obudowy q_0 na jednostkowej długości wyrobiska (1 m),
- ustalić za pomocą badań dopuszczalne obciążenie jednych odrzwi q_{dop} .

Wymaganą odległość l między odrzwiami można wówczas ustalić z zależności (8)

$$l = \frac{q_{dop}}{q_0} \cdot 1m \quad (8)$$

5. WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

1. Wokół wykonywanych i istniejących wyrobisk korytarzowych i komorowych na dużych głębokościach kształtują się niekorzystne strefy naprężeniowo-deformacyjne prowadzące do występowania deformacyjnego ciśnienia górotworu na wykonaną obudowę. Przy stosowanych obecnie konstrukcjach obudów w warunkach wywieranego na nie deformacyjnego ciśnienia górotworu wyrobiska korytarzowe i komorowe ulegają często intensywnemu zaciskaniu.

2. Dużemu ciśnieniu górotworu mogą przeciwstawić się, z większym skutkiem od obudów dotychczasowych, konstrukcje przedstawione na rys. 3, 4, 5, 6. Z przedstawionych konstrukcji w praktyce znalazła zastosowanie obudowa jak na rys. 5.

3. W procesie wykonawstwa obudowy z odrzwi stalowych konieczne jest podjęcie decyzji odnośnie do wymaganej odległości między odrzwiami. Odległość tę można ustalić za pomocą wzoru (8) przy znanej wielkości podporności odrzwi i wymaganej podporności obudowy w danym wyrobisku obliczonej przy wykorzystaniu zależności (2), (3), (5) i (7) podanych w pracy.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Część 1. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1987.
- [2] Szczepaniak Z.: Podporność segmentowej obudowy żelbetowej oraz jej wpływ na stateczność wyrobisk udostępniających na dużych głębokościach. ZN Pol. Śl. s. Górnictwo z. 121, Gliwice 1982.
- [3] Szczepaniak Z., Urbańczyk J.: Stateczność udostępniających wyrobisk korytarzowych w warunkach deformacyjnego ciśnienia górotworu. XIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Materiały Konferencyjne. Szklarska Poręba 1991.
- [4] Szczepaniak Z., Gluch P., Urbańczyk J.: Techniczno-technologiczne rozwiązania obudów górniczych dla wyrobisk korytarzowych i komorowych na duże ciśnienie górotworu, ich wdrożenie i badania dołowe. Prace Instytutu Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Pol. Śl. Praca BK-521/RG-4/92 - nie publikowana, Gliwice 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Rulka

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1994 r.

Abstract

The support of the main underground workings in deep mines is very often exposed to the deforming rock pressure caused by high concentration of compressive stresses in the rock near the sides of the workings. The stress pattern in the sides of the working is shown on Fig. No 1. The lines k_1 , k_2 and k_3 on the Fig. No 1 represent the formation of the so-called additional stresses σ_{cd} in relation to the primary p_z in rocks of different soil firmnesses f .

The relations (1), (2), and (3) mentioned in the paper enable the calculation of the maximum compressive stresses σ_{cmax} in the walls of the working provided that the additional stresses σ_{cd} are following the route s_z according to the k_3 line.

The stability of the working will be maintained under the condition $\sigma_{cmax} \leq R_c$ (R_c - rock compressive strength). If $\sigma_{cmax} > R_c$ the destruction of the rock will follow along the route l_{o1} (dwg No 2) and also the extrusion of the rock into the working will occur along with the deformative rock pressure on the support.

The stability of the working will be preserved if the support - cooperating with the solid rock through the destructed part - has a supporting capacity q_0 , smaller than the supporting capacity determined from the relation (7) obtained from the Hoek - Brown theory (annex 6). The steel support structure of the required high supporting capacity has been shown on Fig. No 3, 4, 5 and 6.

Knowing the supporting capacity q_{dop} of the steel arch support and the required supporting capacity according to (7) the calculation of the distance between the arches of the designed lining is possible by the formula (8).