

Zenon DUDA

Zdzisław KOHUTEK

Instytut Projektowania i Budowy Kopalń

AGH, Kraków

O POWŁOCIE POŚLIZGOWEJ WIELOWARSTWOWEJ OBUDOWY SZYBÓW

Streszczenie. Powłoka poślizgowa spełnia zasadniczą rolę w wielowarstwowym systemie obudowy szybu bezfilarowego, przebijanego w warunkach zawodnionego górotworu metodą sztucznego zamrażania.

W referacie omówiono schemat konstrukcyjny takiej obudowy, założenia koncepcyjne rozwiązania problemu oraz wybrane wyniki realizowanych sukcesywnie badań własnych.

ON SLIDE COATING OF A MULTI-LAYER SHAFT LINING

Summary. A slide coating plays an essential role in a multi-layer system of lining of a pillarless shaft driven in the conditions of a flooded rock mass by the method of artificial freezing.

In the paper have been discussed a construction diagram of such a lining, conceptual assumptions of the problem solution, as well as some selected results of successively realized studies of our own.

О СКОЛЬЗЯЩЕМ ПОКРЫТИИ МНОГОСЛОЙНОГО КРЕПЛЕНИЯ СТВОЛОВ

Резюме. Скользящее покрытие выполняет основную роль в многослойной системе крепления ствола без предохранительного целика, когда проходка ведется в условиях обводненного горного массива, методом искусственного замораживания.

В докладе представлены конструктивная схема такого крепления, концепционные предпосылки решения проблемы, а также некоторые результаты проводимых последовательно собственных исследований.

1. WPROWADZENIE

Powłoka poślizgowa o grubości kilkudziesięciu centymetrów odgradza obudowę wstępną od zasadniczego trzonu nośnego wielowarstwowej konstrukcji szybu, odpornej na wpływy pobliskiej eksploatacji górniczej. W zagranicznej praktyce budownictwa szybowego (np. Niemcy, którzy posiadają pozytywne doświadczenia w projektowaniu i wykonawstwie takich budowli) zestawia się ją z asfaltu oraz mączki mineralnej. W jej obrębie zachodzi interakcja między deformującym się ociosem wraz z obudową wstępną - z jednej strony, a odciętą rurą szybową - z drugiej.

Wymiarowanie powłoki poślizgowej jest kluczem do projektowania obudowy szybów bezfilarowych.

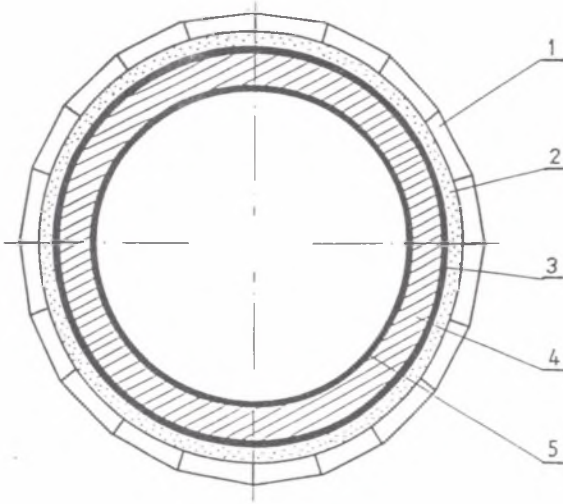
W dalszej części niniejszego opracowania ukazana zostanie koncepcja wyznaczenia grubości powłoki poślizgowej oraz niektóre rezultaty badań prowadzonych w zespole, w skład którego, prócz autorów - wchodzi aktualnie: prof. dr hab. inż. G. Szefer i dr inż. M. Mikołajek z Politechniki Krakowskiej.

2. SCHEMAT KONSTRUKCYJNY

Opierając się na zagranicznych rozwiązaniach wodoszczelnych szybów bezfilarowych, uznając ponadto podobieństwo warunków hydrogeologicznych ich zagłębiania z polskimi - przyjęto następujący schemat konstrukcyjny (rys. 1):

- przyociosowa obudowa wstępna z betonu monolitycznego lub betonowych prefabrykatów, która współpracuje z zamrożonym ociosem osłaniając przodek szybu aż do głębokości posadowienia stopy - fundamentu;
- powłoka z lepko-ciekłej masy bitumicznej, która amortyzuje deformację ociosów z obudową wstępną, spowodowaną wybieraniem złoża w najbliższym sąsiedztwie szybu, a także - deformację samodzielnego trzonu nośnego, wywołaną ruchami głowicy oraz stopy szybowe, z tego samego tytułu;
- zasadniczy trzon nośny zestawiony z zewnętrznego płaszczu stalowego (będącego przegrodą hydroizolacyjną), który wraz z rdzeniem betonowym lub żelbetowym przenosi równomiernie parcie hydrostatyczne słupa bitumu; trzon nośny może być wzmocniony wewnętrznym płaszczem stalowym lub kolumną tubingów.

Trzon nośny osadzony jest sztywno w fundamencie - stopie szybowej, konstrukcyjnie odpornej na wielokierunkowe, zmienne obciążenia wymuszone naruszonym eksploatacją górotworem.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny przez wielowarstwową, wodoszczelną konstrukcję szybu bezfilarowego

1 - obudowa wstępna, 2 - powłoka poślizgowa; 3 - stalowy cylinder zewnętrzny;
4 - betonowy lub żelbetowy rdzeń; 5 - stalowy cylinder wewnętrzny

Fig. 1. Cross-section through a multi-layer watertight construction of a pillarless shaft

1 - preliminary lining, 2 - slide coating, 3 - outer steel cylinder, 4 - concrete or ferroconcrete core, 5 - inner steel cylinder

Stopę lokalizuje się nieco poniżej spągu nadkładu, co w warunkach polskich zagłębi odpowiadałoby głębokości do 800 m.

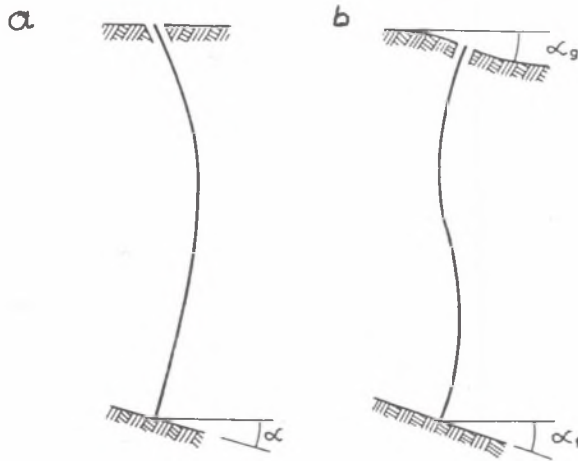
Przyjęto średnicę szybu w świetle obudowy w granicach 5,0-8,0 m.

3. BADANIA ROZKŁADU DEFORMACJI TRZONU OBUDOWY

Analizy deformacji zasadniczego trzonu nośnego szybu dokonano sprowadzając go do schematu sprężystego, długiego pręta o przekroju wielowarstwowego pierścienia, zanurzonego w masie lepkociekłej.

Punktem wyjścia do rozważań była teza, iż odkształcenia postaciowe ośrodka skalnego oraz obroty na skraju frontu wydobywczego, zwłaszcza w systemie zawalowej eksploatacji jednokierunkowej - wymuszają skrócenie stopy szybu w płaszczyźnie pionowej o kąt α (rys. 2a). Sytuacja ta występuje z chwilą, gdy wierzchołek trzonu nośnego oprze się o prowadnik w strefie nieruchomej

głowicy szybowej, powodując wykształcenie podpory przegubowo-przesuwnej. Pod wpływem ciężaru własnego odciętej rury szybowej, pomniejszonego o wybór masy bitumicznej - dochodzi więc do jej zakrzywienia, które z kolei jest miarą grubości warstwy poślizgowej.



Rys. 2. Schemat statyczny pręta odciętej rury szybowej

a) z górną podporą sprężysto-przegubową, b) z górną podporą sprężysto-przesuwną

Fig. 2. Static diagram of a bar of a cut-off shaft tube

a) with upper elastic - articulated support, b) with upper elastic - slidable support

Przy takim ujęciu problemu rozpisano równanie różniczkowe pręta formułą równania liniowego II rzędu, które jednak nie posiadało rozwiązania w klasie funkcji elementarnych. Jego zapis końcowy w postaci szeregu wyraża zależność:

$$y = l \cdot a_0 \cdot \frac{x}{l} \left[1 + \frac{q \cdot l^3}{24 EJ} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right] - \frac{H}{6 EJ} l^3 \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \dots$$

gdzie:

- x, y - współrzędne punktu osi zakrzywionej rury szybowej,
- l - głębokość posadowienia trzonu nośnego,
- a_0 - wsp. rozwinięcia,
- q - obciążenie jednostkowe,
- EJ - sztywność giętą trzonu nośnego,
- H - siła reakcji podpory górnej.

Przy zrównoważeniu ciężaru własnego trzonu nośnego obudowy i wyporu masy poślizgowej wyznaczono następnie wielkość maksymalną y_{\max} , równą orientacyjnej grubości warstwy poślizgowej d :

$$d = y_{\max} = \frac{\alpha \cdot l}{3\sqrt{3}}$$

Dla większych miąższości nakładu, tzn. $l > 400$ m, celowe okazało się uściślenie rozwiązania, prowadzące do oszczędniejszego wymiarowania powłoki poślizgowej. Dokładniejsze wyniki uzyskano za pomocą metody różnic skończonych (MRS). W rezultacie końcowym wyprowadzony został następujący układ równań algebraicznych:

$$\left(\frac{6 EJ}{\Delta x_i^4} + \frac{2q x_i}{\Delta x_i^2} \right) y_i + \left(\frac{-4 EJ}{\Delta x_i^4} - \frac{q x_i}{\Delta x_i^2} + \frac{q}{2\Delta x_i} \right) y_{i-1} +$$

$$+ \frac{EJ}{\Delta x_i^4} y_{i-2} + \left(\frac{-4 EJ}{\Delta x_i^4} - \frac{q x_i}{\Delta x_i^2} - \frac{q}{2\Delta x_i} \right) y_{i+1} + \frac{EJ}{\Delta x_i^4} y_{i+2} = 0$$

$$\text{dla } i = 3, 4, 5, \dots, n-1$$

a z warunków brzegowych:

$$y_2 = 0$$

$$y_1 + y_3 = 0$$

$$-y_{n-1} + y_{n+1} = 2\Delta x \cdot \alpha$$

$$y_n = 0$$

Rozwiązując przytoczony układ równań, otrzymano wielkości $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n-1}$, a w konsekwencji maksymalną wartość ugięcia y_{\max} .

W wyniku dalszych rozważań na etapie kolejnego przybliżenia przyjęto, iż dzięki specjalnemu prowadzeniu w głowicy - trzon obudowy może przemieszczać się osiowo i niezależnie względem zrębu szybu, co odpowiadałoby schematowi zamocowania sprężysto-przesuwnego (rys. 2b). Zgodnie z takim sformułowaniem, pod wpływem pobliskiej eksploatacji, zarówno fundament rury szybowej, jak i głowica podlegają zadanim przemieszczeniom i obrotom. y_g i y_f oznaczają tutaj przemieszczenia poziome punktów górotworu, opisując położenie fundamentu oraz położenie głowicy - z nawiązaniem do krzywej osiadania terenu.

W ten sposób, korzystając dodatkowo z rozwiązań metody elementów skończonych (MES), uściślone zostały warunki brzegowe ww. układu równań:

$$\begin{aligned} y_2 &= y_g \\ y_n &= y_f \\ -y_1 + y_3 &= -2\Delta x \cdot \alpha_g \\ -y_{n-1} + y_{n+1} &= -2\Delta x \cdot \alpha_f \end{aligned}$$

W ramach omawianej koncepcji rozwiązania wyznaczone zostały więc wielkości kątów obrotu głowicy α_g i fundamentu α_f , jako pochodne funkcji kwadratowej opisującej linię przemieszczenia pionowego górotworu przecinającą środek głowicy, środek fundamentu oraz dwa sąsiednie punkty siatki MES.

4. BADANIA ROZKŁADU DEFORMACJI GÓROTWORU ORAZ ZWIĄZANYCH Z NIM PUNKTÓW PODPARCIA ODCIĘTEJ RURY SZYBOWEJ

Dla potrzeb analizy wykorzystano metodę elementów skończonych (MES) w wersji przemieszczeniowej, z czterowęzłowymi, płaskimi elementami izoparametrycznymi.

W początkowym stadium prac rozpisane zostało równanie pola przemieszczeń wewnątrz elementów. Następnie dla rodzimego elementu kwadratowego określono funkcję kształtu N_1 . Właściwości sprężyste elementu charakteryzowała macierz sztywności [D], ustalona dla elementu w danej warstwie górotworu.

Analiza deformacji szybowego ociosu polegała zatem na zbudowaniu macierzy sztywności elementów, powstałych w konsekwencji podziału badanego obszaru górotworu, a następnie - na zdefiniowaniu tzw. globalnej macierzy sztywności wyrażającej związek pomiędzy przemieszczeniami węzłów i obciążeniami. Jej modyfikację osiągnięto poprzez uwzględnienie warunków brzegowych (warunków podparcia).

Ostatecznie więc zadanie sprowadzało się do rozwiązania algebraicznego układu równań z pasmową symetryczną macierzą współczynników:

$$R = K \cdot r,$$

gdzie:

K - macierz sztywności wycinka górotworu,

r - wektor przemieszczeń węzłów siatki,

R - wektor obciążeń.

Wektor R wyznaczono na podstawie znanych wartości przemieszczeń w węzłach bezpośrednio przyległych do wybranej warstwy węgla. Ich wartości liczbowe odpowiadały w tym przypadku grubości wyeksploatowanego na zawał pokładu.

Rozwiązując układ MES, uzyskano przede wszystkim wartości przemieszczeń poziomych ociosu szybu w odniesieniu do jego osi oraz przemieszczenia pionowe głowicy i fundamentu. Wielkości te służyły z kolei do wyznaczania kątów obrotu głowicy α_g i fundamentu α_f (patrz: rozdz. 3).

Omówione wyżej postulaty znalazły odzwierciedlenie w specjalnie opracowanym programie numerycznym dla maszyny cyfrowej klasy IBM, którego głównymi składnikami są:

- generacja siatki MES dla uwarstwionego górotworu,
- generacja macierzy sprężystości elementów, jak również ich macierzy sztywności,
- generacja globalnej macierzy sztywności,
- wprowadzenie kinematycznych warunków brzegowych,
- rozwiązanie układu równań MES.

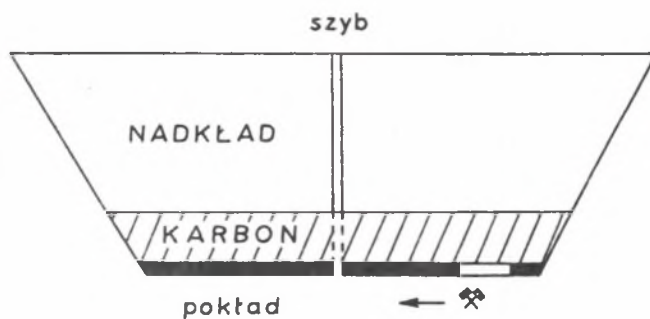
5. REZULTATY BADAŃ

Postępując zgodnie z metodyką z rozdz. 3 i 4 dokonano analizy wycinka górotworu z wydzielonym nadkładem oraz kompleksem karbonu, z centralnie usytuowanym szybem i poziomo zalegającym pokładem, który wybierany jest na zawał, długim, prostoliniowym frontem (rys. 3). Jak wiadomo, taki wariant eksploatacji jest szczególnie niekorzystny z punktu widzenia bezpieczeństwa szybowej budowli; rozpatrywano go wyłącznie w celu osiągnięcia pełniejszego obrazu zjawiska oraz z uwagi na mniej skomplikowany zapis, możliwość dodatkowego przetestowania programu numerycznego.

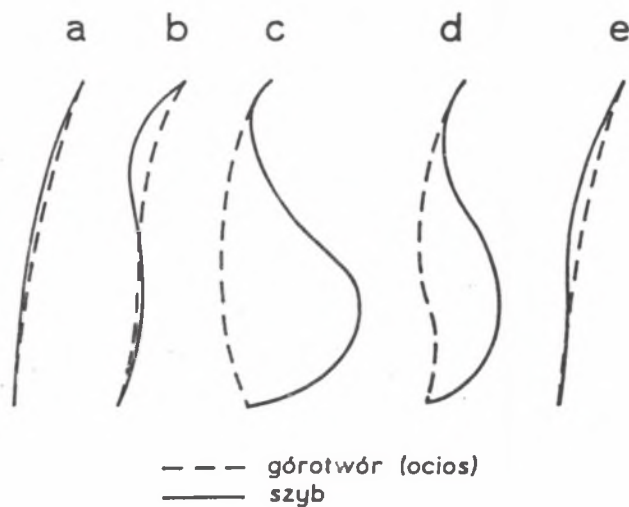
Niektóre wyniki w postaci graficznej przedstawia rys. 4. Widać wyraźnie, iż wartości deformacji odciętej rury szybowej, w miarę zbliżania się frontu eksploatacyjnego do szybu, są w tym przypadku zdecydowania wyższe od odpowiadających im odkształceń ociosu.

Aktualnie rozpatruje się dalsze warianty oddziaływania zawałowej wybiierki nachylonego pokładu węgla o ustalonej miąższości - na szyb, tj. przy:

- eksploatacji jednym frontem,
- eksploatacji dwoma frontami od szybu,
- eksploatacji dwoma frontami do szybu,
- i inne.



Rys. 3. Analizowany schemat wycinka górotworu
 Fig. 3. Analyzed diagram of a rock mass section



Rys. 4. Wykres deformacji ociosu oraz trzonu nośnego obudowy szybu w strefie nadkładu podczas zawałowej eksploatacji poziomego pokładu, przy położeniu frontu

a) 500 m od szybu, b) 200 m od szybu, c) na przecięciu z osią szybu, d) 200 m za szybem, e) 500 m za szybem

Fig. 4. Diagram of sidewall deformation and carrying shank of the shaft lining in overlay zone during caving exploitation of a horizontal bed with the front location

a) 500 m from the shaft, b) 200 m from the shaft, c) at the crossing with the shaft axis, d) 200 m behind the shaft, e) 500 m behind the shaft

6. ZAKOŃCZENIE

Wykorzystanie metody elementów skończonych dla obserwacji zmian w zamodelowanym górotworze, w szczególności odkształceń ociosu szybowego oraz ruchów głowicy i fundamentu szybu, spowodowanych wybieraniem pokładu, a także metody różnic skończonych dla analizy skrzywienia odciętej rury szybowej z tego samego tytułu daje szerokie możliwości badania interakcji ustroju: "naruszony eksploatacją górotwór - powłoka poślizgowa - trzon nośny obudowy". Zaproponowane rozwiązanie umożliwia zatem symulację zawałowej eksploatacji pokładu o zadanej miąższości, w dowolnej konfiguracji profilu geologicznego oraz jej skutków w postaci deformacji szybu.

Natomiast grubość powłoki amortyzującej d z lepko-ciekłego bitumu w danym interwale głębokości zdeterminowana jest maksymalną wartością poziomego odkształcenia ociosu wraz z obudową wstępną δ_{\max}^G oraz maksymalną wartością ugięcia zasadniczego trzonu nośnego obudowy δ_{\max}^S :

$$d \geq \left(\delta_{\max}^G, \delta_{\max}^S \right)$$

Zwymiarowana w ten sposób powłoka poślizgowa gwarantuje dostatecznie właściwą współpracę górotworu z zasadniczą konstrukcją nośną szybu podczas eksploatacji górniczej w jego sąsiedztwie.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zenon SZCZEPANIAK

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1992 r.