

Stanisław BUDIRSKY

Vedeckovyzkumny Uhelny Ustav  
Ostrava-Radvanice, CSRS

#### EKSTREMALNE OBCIĄŻENIE OSŁON PODPIERAJĄCYCH ZAWAŁ ŚCIANOWYCH OBUDÓW ZMECHANIZOWANYCH

**Streszczenie.** W pracy zajęto się zagadnieniem wyznaczania maksymalnych obciążeń działających na osłonę podpierającą zawał podczas eksploatacji grubych pokładów. Po opisanu wypadku zniszczenia osłon podpierających zawał wskutek dużego nacisku rumowiska skalnego określono teoretycznie wartość tego obciążenia. Sekcję obudowy zmechanizowanej potraktowano jako płaski mechanizm obciążony płaskim układem sił. Traktując jako dane parametry geometryczne sekcji oraz siły w stojakach wyznaczono wartości intensywności obciążenia osłony podpierającej zawał oraz sił w przegubach, a tym samym maksymalny moment zginający osłonę.

Stwierdzono, że dla wszystkich analizowanych wariantów obciążenia maksymalny moment zginający osłonę występuje w odległości  $l_0 = 1,3$  m od przegubu łączącego wahacz z osłoną. Na podstawie analizy naprężeń w górnej i dolnej płycie osłony oraz porównania wyników obliczeń z zaobserwowanym mechanizmem zniszczenia osłon stwierdzono, że maksymalny nacisk pionowy na osłonę wynosi:

$$q_1 = 2 \pm 5 \text{ MPa}$$

Zaproponowano również wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w obudowie, polegających na innym rozmieszczeniu stojaków, zmierzających do większego upodatnienia sekcji, a tym samym wyeliminowania tak dużych obciążeń sekcji.

#### 1. METODY STOSOWANE DO OKREŚLANIA OBCIĄŻENIA OSŁON

W obliczeniach wytrzymałościowych osłon podpierających zawał, zakłada się, że są one obciążone obciążeniem ciągłym rozłożonym w sposób równomierny bądź nierównomierny. Wielkość tego obciążenia wyznacza się jako równą grawitacyjnemu naciskowi stropu bezpośredniego bądź też uwzględnia się dodatkowo obciążenie wywołane naciskiem skał leżących wyżej. Taki sposób wyznaczania maksymalnego obciążenia osłony przedstawia St. Szweńda [1], przy czym nacisk stropu geometrycznie ciągłego przyjmuje wg Bilińskiego i Konopy [2].

Jeżeli pominąć podatność stojaków hydraulicznych, to można układ jęć równania równowagi założyć, że aktywna siła działająca na osłonę nie przekroczy takiej wartości, przy której zaczną działać zawory robocze stojaków. Równomierne obciążenie osłony wyznaczone w ten sposób waha się w granicach  $0,1 \pm 0,4$  MPa. Przykładowo, statyk Urzędu Górniczego - Inge-

nieur-büros Puhl (RFN) określa obciążenie osłon o nachyleniu mniejszym niż  $18,5^\circ$  według zależności:

$$q = 50 M \text{ [kNm}^{-2}\text{]},$$

gdzie  $M$  - miąższość wybieranego pokładu [m].

## 2. PRZYKŁAD EKSTREMALNEGO OBCIĄŻENIA OBUDOWY

Poniżej przedstawiona zostanie analiza ekstremalnego, niszczącego obciążenia osłony podpierającej zawał. Wystąpiło ono podczas eksploatacji pokładu o miąższości ok. 4,5 m. Wskutek stosunkowo niskiej podporności obudowy nastąpiło rozwarstwienie stropu oraz pionowe pęknięcia. Spowodowało to powstanie wyłomów hamujących postęp ściany, a w efekcie [3] wzrost ciśnienia w caliznie węglowej, wypadanie węgla z ociosu, co doprowadziło do obwału stropu bezpoc. adnego, tak jak pokazano na rys. 1. W wyniku działającego obciążenia praktycznie we wszystkich sekcjach nastąpiły pęknięcia dolnych płyt osłon podpierających zawał.

W celu określenia warunków, które spowodowały takie zniszczenie sekcji, rozpatrzono schemat statyczny obudowy pokazany na rys. 2. Osłona podpierająca zawał jest obciążona równocześnie równomiernymi obciążeniami - pionowym  $q_1$  oraz poziomym  $q_2$ . Pionowe obciążenie stropnicy  $\alpha q_1$  jest zależne od pionowego obciążenia osłony, przy czym:

$$\alpha < 1$$

Równania określające geometrię sekcji obudowy mają postać:

$$k_3 + (k_5 + k_6)\sin\varphi_1 + (k_8 + k_9)\sin\varphi_2 + k_{14} = H \quad (1)$$

$$(k_5 + k_6)\cos\varphi_1 = k_{11} + k_{12} + (k_8 + k_9)\cos\varphi_2 \quad (2)$$

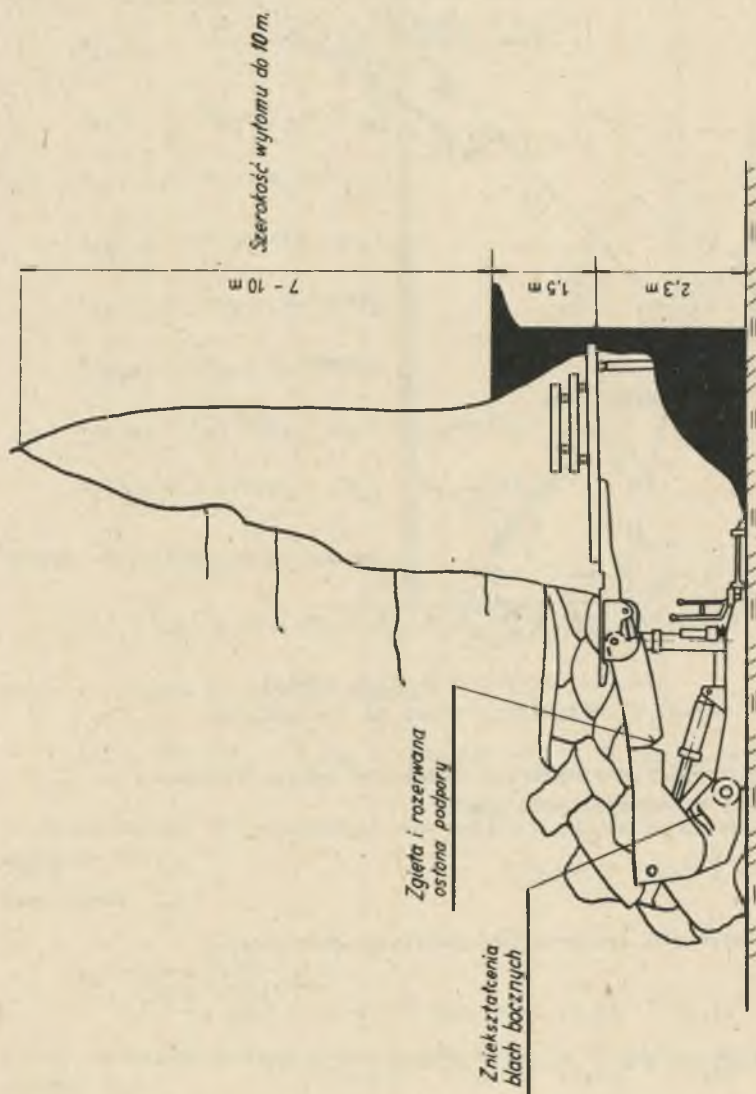
$$\operatorname{tg}\varphi_3 = \frac{k_7\cos\varphi_1 + k_5\sin\varphi_1 - k_4}{k_2 + k_5\cos\varphi_1 - k_7\sin\varphi_1} \quad (3)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_4 = \frac{k_{10}\cos\varphi_2 + k_9\sin\varphi_2 - k_{13} + k_{14}}{k_{11} + k_9\cos\varphi_2 - k_{10}\sin\varphi_2} \quad (4)$$

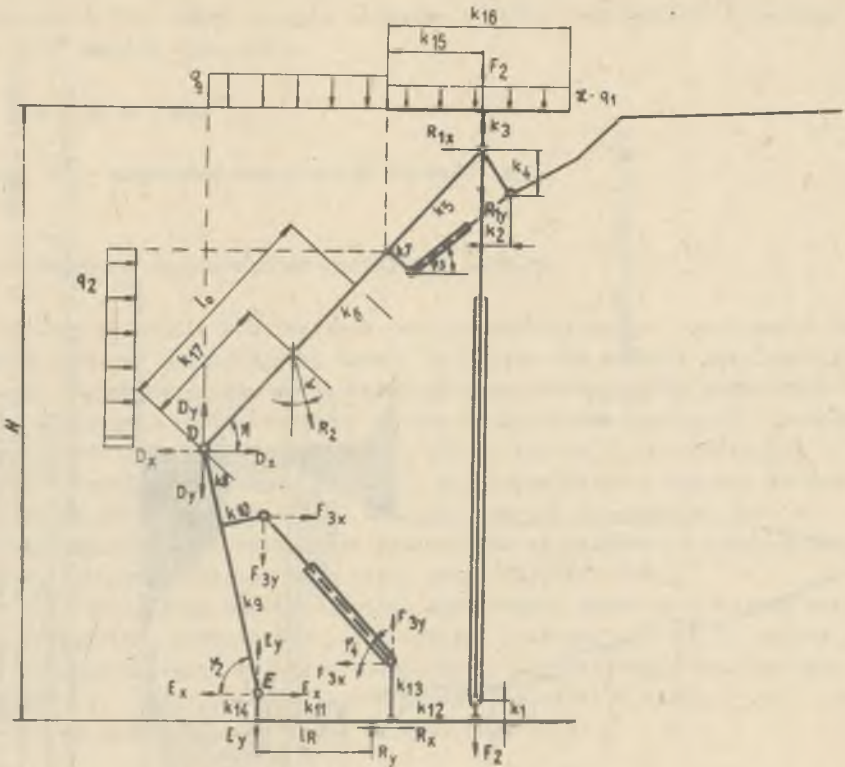
$$k_{17} = \frac{1}{2\cos\varphi_1} [(k_5 + k_6)\cos\varphi_1 - k_{15}] \quad (5)$$

$$\alpha = \operatorname{arc} \operatorname{tg}(\mu \operatorname{tg}\varphi_1) \quad (6)$$

$$\mu = q_2 q_1^{-1} \quad (7)$$



Rys. 1. Schematyczny obraz zawału wyrobiska, podczas którego doszło do wykominiowania stropu, zniekształcenia osłony podpierającej zawał oraz zaciśnięcia sekcji osłony (during which roof caving, destroy of the guard supporting caving and section tightening have taken place)



Rys. 2. Schemat statyczny sekcji  
Fig. 2. Statistic scheme of the section

Równania równowagi poszczególnych elementów sekcji otrzymane po zastosowaniu metody przekrojów mają postać:

$$[A]_{10 \times 10} \cdot \{X\}_{10 \times 1} = \{b\}_{10 \times 1} \quad (8)$$

Niezerowe współczynniki macierzy  $[A]$  przyjmują wartości:

$$a(2,6) = a(1,5) = a(5,8) = a(7,10) = a(8,4) = a(10,2) = 1$$

$$a(1,2) = a(2,3) = a(4,5) = a(4,7) = a(5,6) = -1$$

$$a(10,3) = 7$$

$$a(7,2) = k_{14}$$

$$a(1,4) = \sin \alpha$$

$$a(7,4) = -k_{17} \sin \alpha$$

$$a(2,4) = -\cos\varphi_4 \quad a(9,1) = -1,5 \cdot 10^3 \cdot k_{16}$$

$$a(5,9) = -\sin\varphi_4$$

$$a(1,8) = \frac{1,5 \cdot 10^3 [(k_5 + k_6)\cos\varphi_1 - k_{15}]}{\cos\alpha}$$

$$a(3,2) = (k_5 + k_6)\sin\varphi_1$$

$$a(3,3) = (k_5 + k_6)\cos\varphi_1$$

$$a(3,4) = -k_{17}\sin(\alpha - \varphi_1)$$

$$a(6,7) = -(k_8 + k_9)\sin\varphi_2$$

$$a(6,8) = (k_8 + k_9)\cos\varphi_2$$

$$a(6,9) = k_8\sin(\varphi_2 - \varphi_4) - k_{10}\cos(\varphi_2 - \varphi_4)$$

$$a(7,9) = k_{11}\sin\varphi_4 + (k_{13} - k_{14})\cos\varphi_4$$

Macierz niewiadomych ma postać:

$$\{x\} = [q_1, R_{1x}, R_{1y}, R_2, D_x, D_y, E_x, E_y, F_9, l_R(R_{1y} + R_2\cos\alpha)]^T$$

Macierz wyrazów wolnych ma postać:

$$\{b\} = [0, -F_4 - F_2(k_5 + k_6)\cos\varphi_1, 0, 0, 0, F_2(k_{11} + k_{12}), 0, 0, 0]^T$$

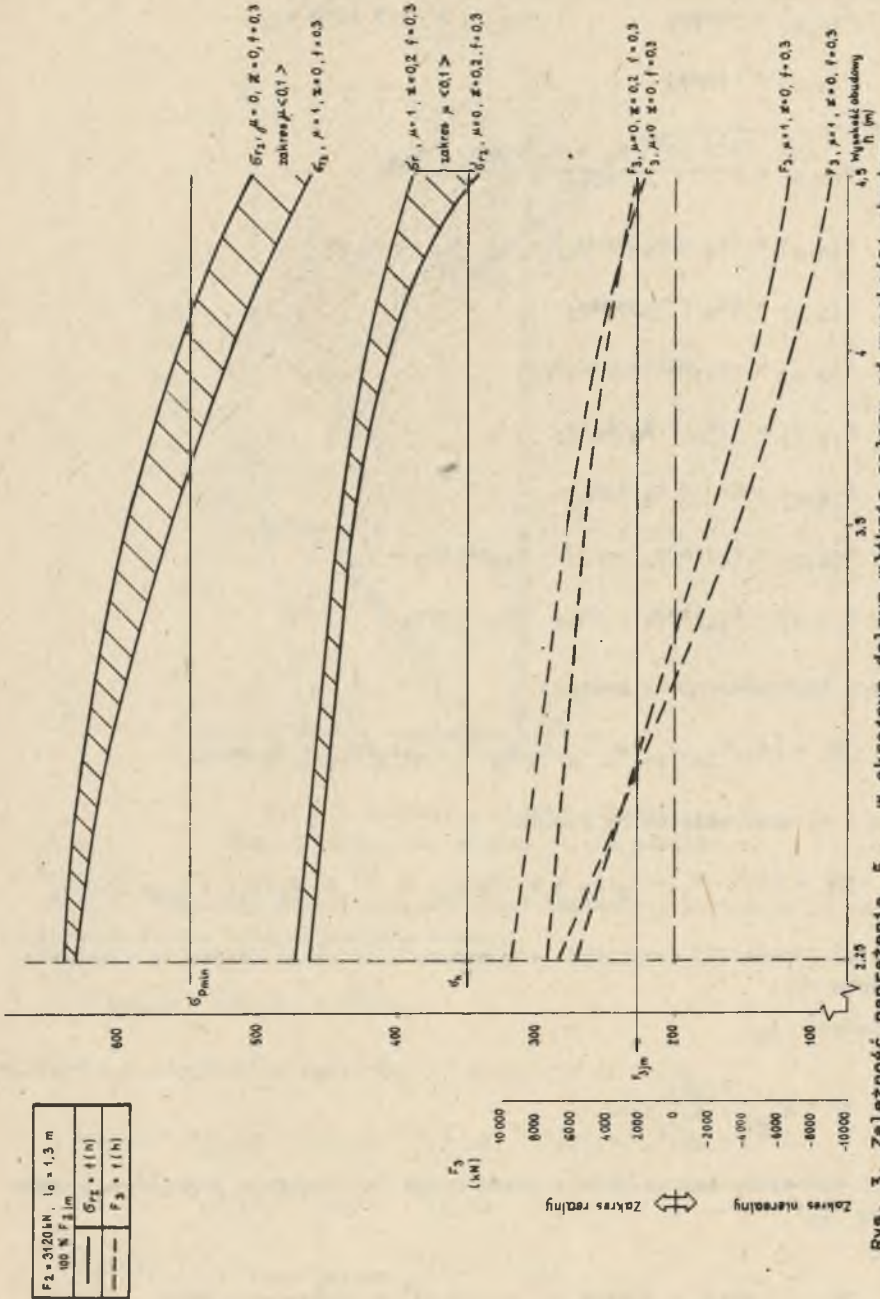
Układ równań (8) rozwiązuje się metodą eliminacji Gaussa, a następnie wyznacza się:

niewiadomą  $l_R$

$$l_R = \frac{x(10)}{x(3) + x(4)\cos\alpha}$$

moment zginający osłonę podpierającą zawał (w przekroju określonym współrzędną  $l_0$ )

$$M_g = (D_y\cos\varphi_1 - D_x\sin\varphi_1)l_0 - 1,5 \cdot 10^3 \frac{\cos(\varphi_1 - \alpha)}{\cos\alpha} q_1\cos\varphi_1 \quad [\text{kNm}]$$



Rys. 3. Zależność naprężenia  $\sigma_{r1}$  w skrajnym dolnym włóknie osłony od wysokości obudowy  
 Fig. 3. Dependence of  $\sigma_{r1}$  stress in extreme bottom guard fibre on support height

Następnie dla konkretnych danych wyznacza się naprężenia normalne i styczne w skrajnych włóknach przekroju oraz naprężenie zredukowane, np. zgodnie z hipotezą energii sprężystej odkształcenia postaciowego (hipoteza Hubera-Misesa-Hencky).

Przeprowadzenie obliczeń na maszynie cyfrowej IBM 370 umożliwiło wykonanie analizy naprężeń dla szerokiego zestawu kombinacji parametrów wstępnych. Wnioski wynikające z tej analizy są następujące:

1. Maksymalny moment zginający osłony występuje, dla wszystkich przeanalizowanych kombinacji obciążeń, w odległości  $l_0 = 1,3$  m od punktu D (rys. 2). Otrzymany wynik zgadza się z obserwacjami obudowy poddanej obciążeniom ekstremalnym, gdyż w tych przekrojach zauważono pierwsze odkształcenia plastyczne i pęknięcia dolnej płyty osłony.

2. Różnica pomiędzy naprężeniami w maksymalnie zginanym i rozciągającym włóknie jest stosunkowo mniejsza niż różnica pomiędzy wytrzymałościami materiałów, z których wykonano górną i dolną płytę. Dla dolnej płyty  $R_m = 550 \div 620$  MPa, natomiast górna płyta jest wykonana z materiału ALDUR o wytrzymałości  $R_m = 710 \div 860$  MPa, wyprodukowanego specjalnie dla potrzeb górnictwa [4].

3. Odkształcenie osłony oraz wahacza (odcinek D-E, rys. 2) mogło wystąpić w przypadku, gdy  $\sigma_r > \sigma_k$  oraz  $F_3 > 0$ , co, jak to wynika z rys.3, możliwe jest, gdy  $\chi = 0 \div 0,2$ ;  $\mu = 0 \div 0,4$  oraz  $q_1 = 2 \div 5$  MPa. Ponadto wahacz opierał się na rumowisku tworzącym zawał, co powodowało blokowanie mechanizmu.

4. Podczas konwergencji sekcji naprężenia w skrajnych włóknach osłony rosły.

5. Podporność obudowy nie mogła się zmniejszyć bardziej niż o 20÷30% podporności roboczej, gdyż w przeciwnym przypadku naprężenia w skrajnym włóknie nie przekroczyłyby granicy wytrzymałości.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Analiza ekstremalnego obciążenia osłony wykazała, że w trudnych warunkach górniczo-geologicznych zbyt niska podporność obudowy może doprowadzić do obciążenia osłony równomiernym pionowym naciskiem o intensywności  $q = 2 \div 5$  MPa, co dziesięciokrotnie przekracza projektowaną nośność najsłabszego elementu, skądinąd koncepcyjnie poprawnie rozwiązanej obudowy.

Niekorzystnego sposobu obciążenia sekcji można uniknąć, rozmieszczając stojaki w obudowie tak, aby również w przypadku, kiedy 80% nacisku pionowego przenosi osłona podpierająca zawał (czyli dla  $\chi = 0,2$ ), ciśnienie robocze w stojakach wystąpiło zanim jeszcze naprężenie w krytycznym przekroju osłony ( $l_0 = 1,3$ ) przekroczy naprężenie na granicy plastyczności.

Wskutek konwergencji obudowy obciążenie pochodzące od skał leżących nad stropem bezpośrednim zostanie wtedy w większym stopniu przeniesione przez caliznę oraz zawał.

#### LITERATURA

- [1] Szweda St.: Obciążenie osłon podpierających zawał obudów podporowo-osłonowych. Prace Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej, Nr 12, 1980.
- [2] Biliński A., Konopa W.: Analityczne i empiryczne kryteria wytrzymałościowe utrzymania wyrobisk w ścianach zawałowych. Praca GIG, Katowice 1976.
- [3] Kidybinski A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. "Śląsk" Katowice 1982.
- [4] Stahl im Untertage - Bergbau. "Stahlbau - Rundschau" nr 61, 1983.

Recenzent: Doc. dr inż. Walery Szuścik

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1985 r.

#### МАКСИМАЛЬНАЯ НАГРУЗКА ОГРАЖДЕНИЙ ПОДПИРАЮЩИХ ОБРУШЕНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КРЕПЕЙ

#### Р е з ю м е

В работе представлена проблема определения максимальных нагрузок действующих на ограждение, подпирющее обрушение, во время эксплуатации мощных пластов. По описанию случая разрушения ограждений подпирющих обрушение, вследствие большого нажима скального наноса, теоретически определены величины этого нажима. Секцию механизированной крепи рассмотрено как плоский механизм, на который действует плоский уклад сил. Принимая как данные геометрические параметры секции и силы в стойках, определены величины интенсивности нагрузки ограждений, подпирющих обрушение, и сил в изгибах, а тем самым максимальный момент изгиба ограждения.

Констатировано, что для всех проанализированных вариантов нагрузки максимальный момент изгиба ограждения появляется на расстоянии  $l_0 = 1,3$  м от изгиба, соединяющего балансир с ограждением. На основании анализа напряжений в верхней и нижней панелях ограждения, а также сравнивая результаты расчётов с наблюдаемым механизмом разрушения ограждения, подтверждено, что максимальный вертикальный нажим на ограждение:

$$q_1 = 2,5 \text{ МПа}$$

Предложено также введение конструктивных изменений в крепи, опирающихся на ином расположении стоек, стремящихся до большей податливости секции, а тем самым, устранения таких высоких нагрузок секции.



**MAXIMUM LOAD OF GUARD SUPPORTING CAVING  
OF MECHANIZED SUPPORTS****S u m m a r y**

The problem of determining of maximum load acting on a guard supporting caving during exploitation of thick beds has been taken up in the paper. Besides the description of guard destroy caused by big load of rock waste, theoretical value of this load has been given. Section of mechanized support has been treated as a flat force system. Treating geometrical parameters of the section and forces in props as data the values of load intensity of the guard supporting caving and forces in articulated joints, and by this maximum guard bending moment, have been determined.

It has been found out that for all analyzed load variants the guard maximum bending moment occurs at the distance  $l_0 = 1,3$  m from the articulated joint connecting a rocker arm with a guard. On the base of analysis of stresses in upper and down plate of the guard and comparison of calculation results with the mechanism of guard destroy it has been found that maximum vertical load on the guard was:

$$q_1 = 2\pm 5 \text{ MPa}$$

Introduction of structural changes in the support consisting in another prop arrangement and aiming at bigger susceptibility of the section, thus eliminating such big loads of the section has been proposed.