

MIROSLAW CHUDEK, ANDRZEJ WOJTUSIAK

STAN NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEN W PODATNEJ OKŁADZINIE
STAŁOWEJ W PRZYPADKU OBCIĄŻENIA JEJ SPADAJĄCYMI
ODŁAMAMI SKALNYMI

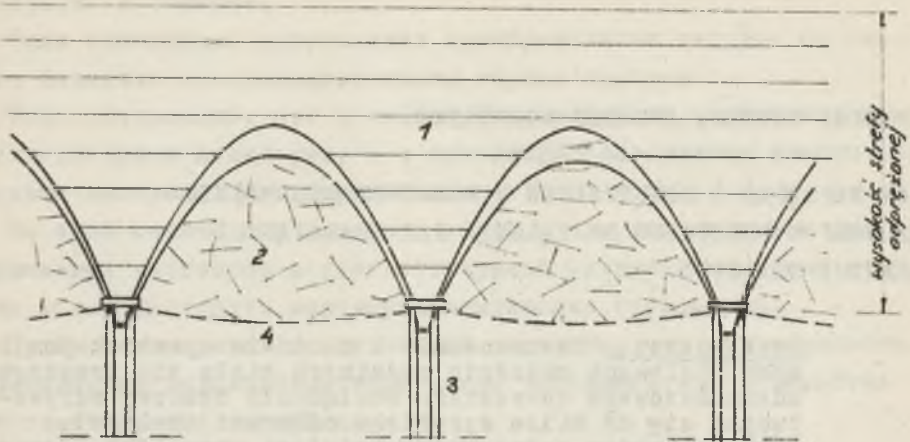
Streszczenie. Zastosowanie w obudowie wyrobisk poziomych stalowych okładzin podatnych stało się przyczyną udarnościowego charakteru obciążenia obudowy odrywającymi się od ścian wyrobiska odłamami skalnymi.

Rozpatrując najniekorzystniejsze przypadki udarnościowego obciążenia okładziny stwierdzono, że stosowana popularnie okładzina MM zabudowana w sposób niezwalający na powstawanie nadmiernych obwisów przewyższa wytrzymałościowo stawiane jej wymagania.

1. Wprowadzenie

Zastosowanie do obudowy stalowych okładzin siatkowych (okładziny MM) zmieniło w istotny sposób warunki pracy tej obudowy. Obudowa podatna z okładziną sztywną (prefabrykaty żelbetowe, belki drewniane) i dokładnie wykonaną wykładkę kamienną posiada tzw. "wstępną podporność" na całej powierzchni ścian wyrobiska. Odmiennie wygląda sprawa podporności obudowy podatnej z okładziną siatkową. Stalowa okładzina podatna stanowi elastyczny ustrój wiszący zdolny do przeniesienia obciążeń na podpory (łuki stalowe) jedynie po uprzednim ugięciu i dostosowaniu swojego kształtu do wielkości i charakteru obciążenia. Nie można zatem przyjąć istnienia jakiegokolwiek podporności wstępnej na styku górotworu z okładziną podatną. Podporność ta istnieje jednak w dalszym ciągu wzdłuż łuków podatnych przy ich odpowiednim oklinowaniu. Mamy zatem do czynienia ze zróżnicowanymi wzdłuż osi wyrobiska warunkami oddziaływania górotworu na obudowę.

Przyjmując do dalszych rozważań, że górotwór odpowiada warunkom założonym w teorii Protodiakonowa - zróżnicowany charakter podporności ścian wyrobiska doprowadza do podziału



Rys.1. Podział strefy odprężonej nad obudową podatną ze stalową okładziną siatkową

1 - część obciążająca bezpośrednio łuki stalowe, 2 - część oderwana obciążająca okładzinę podatną, 3 - łuki ŁP, 4 - okładzina podatna stalowa

strefy odprężonej na część obciążającą podpierające ściany wyrobiska łuki stalowe oraz część oderwaną spoczywającą swym ciężarem na ugiętych okładzinach podatnych (rys. 1).

Oczywiście przy innych modelach górotworu, a szczególnie przy założeniu uplastycznienia skał wspomniany podział strefy odprężonej nie istnieje, a zróżnicowane warunki podparcia górotworu prowadzą do zmiennych wzdłuż osi wyrobiska wielkości ciśnienia górniczego. We wszystkich jednak przypadkach praca obudowy podatnej z okładziną siatkową jest zagadnieniem przestrzennym.

W warunkach uplastycznienia skał nie zachodzi obawa o uderzeniowy charakter obciążenia okładziny podatnej i rozważania w dalszej części artykułu ograniczono do górotworu odpowiadającego założeniom Protodiakonowa.

2. Charakter i wielkość obciążenia okładziny podatnej

Duża podatność okładziny stalowej reagującej natychmiastowym powiększeniem strzałki zwisu na każde dodatkowe obciążenie, powoduje istnienie wolnej przestrzeni pomiędzy ścianą wyrobiska, a obciążającymi ją oderwanymi od ścian kamieniami. Ta wolna przestrzeń jest przyczyną dynamicznego (udarnościowego) charakteru obciążenia okładzin podatnych. Dynamiczny charakter obciążenia stwarza konieczność określenia odporności okładzin na uderzenia.

Jak wspomniano w punkcie 1, okładziny podatne obciąża jedynie pewna część strefy odprężonej. Część obciążającą można oszacować analizując możliwości jej zasięgu. Od dołu zamknięta jest ona pierwotną powierzchnią okładziny, od góry ogranicza ją sklepienie rozpięające się o kolejne łuki stalowe i rozdzielające wspomniane części strefy odprężonej.

Strzałkę powstałego sklepienia obliczyć można ze wzoru Protdiakonowa przyjmując rozstaw łuków za szerokość wyrobiska. Współczynnik zwięźliwości skał "f" sprowadza się w tym przypadku jedynie do uwzględnienia kąta tarcia wewnętrznego pokruszonych skał. Z braku konkretnych danych można przyjąć, że kąt ów, nie będzie mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego piasku $\varphi = 30^\circ$ i wtedy: $f = \operatorname{tg} 30^\circ \approx 0,6$.

Strzałka sklepienia wyniesie zatem:

$$h = \frac{a_1^2}{f} = \frac{a_1^2}{0,6} \quad (1)$$

Dla najczęściej stosowanego rozstawu łuków
 $l = 1,00 \text{ m}$

$$a_1 = \frac{l}{2} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{i wtedy} \quad h = \frac{0,5^2}{0,6} \approx 0,85 \text{ m} \quad (2)$$

Zatem największa strzałka sklepienia tworzącego się nad okładziną podatną wynosi 0,85 m.

Maksymalne obciążenie pojedynczej okładziny równe jest ciężarowi skał wypełniających część odłamującą się strefy odprężonej (rys. 2).

$$Q_{\max} = \frac{2}{3} h \times l \times b \times \gamma \quad (3)$$

gdzie:

b - szerokość pojedynczej okładziny

l - rozstaw łuków ŁP

γ - ciężar objętościowy skał

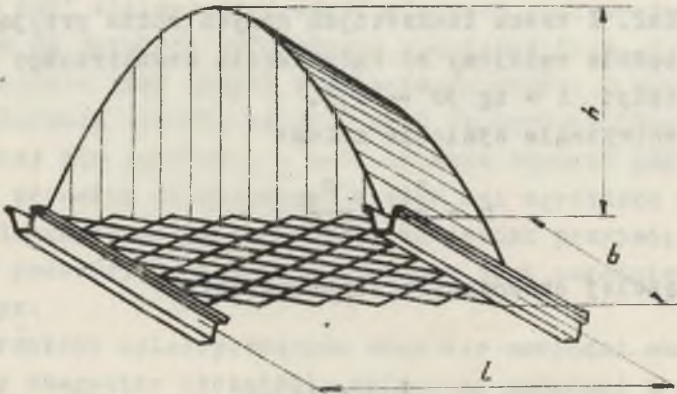
Do obliczeń obciążeń przyjęto $\gamma = 2,5 \text{ t/m}^3$

Dla stosowanych popularnie okładzin "MM"

$$b = (0,5 - 0,55) \text{ m}$$

zatem

$$Q_{\max} = \frac{2}{3} \times 0,85 \times 1,00 \times 0,55 \times 2,5 \approx \underline{0,8 \text{ t}}$$

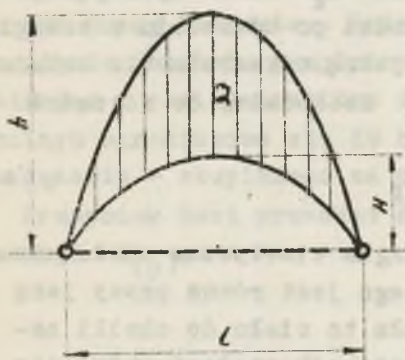


Rys.2. Maksymalne obciążenie okładziny podatnej

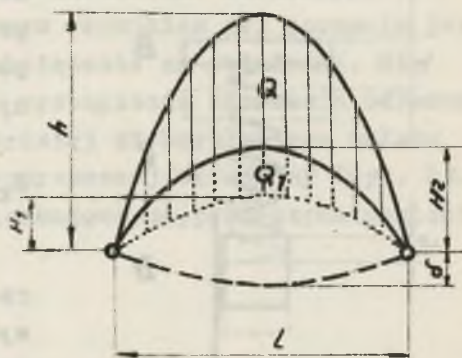
Przy uderzeniu okładziny spadającym odłamem skalnym ważnym jest określenie najniekorzystniejszego przypadku dociążenia dynamicznego uwzględniając zarówno wielkość odłamu jak i wysokość jego spadania.

Zachodzą tu zasadniczo dwie możliwości obciążenia:

- uderzenie odłamu spadającego z pewnej wysokości na okładzinę nie posiadającą początkowej strzałki zwisu (rys. 3),
- uderzenie odłamu spadającego z pewnej wysokości na wygiętą, pracującą już pod pewnym obciążeniem statycznym okładziną (rys. 4).



Rys. 3. Spadek odłamu skalnego na okładzinę bez początkowej strzałki zwisu



Rys. 4. Spadek odłamu skalnego na okładzinę odkształconą poprzednim uderzeniem

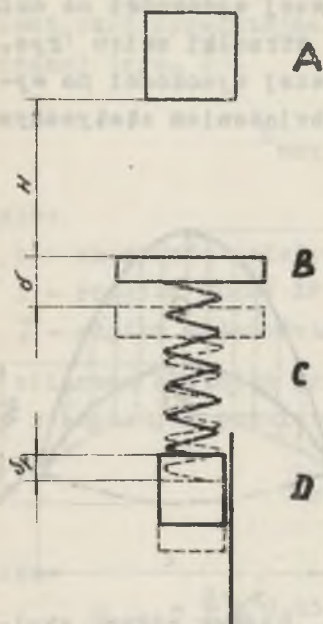
W przypadku "a" okładzina może posiadać wstępne naprężenie rozciągające, istnienie którego uzależnione jest od sposobu zabudowy.

W przypadku "b" wspomniane obciążenie statyczne może stanowić uprzednio oderwany odłamek skalny, a zatem wielkość istniejącej strzałki zwisu okładziny zależy również od sposobu przyłożenia dotychczasowych obciążeń.

Celem określenia najniekorzystniejszego przypadku obciążenia przeanalizujemy charakter pracy okładziny podatnej przy uderzeniu. Schematycznie obciążenie okładziny spadającym odłamem skalnym przedstawić można [1] jak na rys. 5.

Odłamek skalny (ciało A) spada na okładzinę (ciało B) z wysokości H. Okładzina B stanowi pewien układ elastyczny (sprężysto - plastyczny) co charakteryzują warunki podparcia:

- układ sprężysty C i układ plastyczny D.



Rys. 5. Schemat uderzenia okładziny podstępnej odłamem skalnym

Skutkiem uderzenia okładzina B obniży się o wartość δ będącą sumą odkształcenia układu sprężystego δ_s i odkształcenia układu plastycznego δ_p .

Przy założeniu, że energia kinetyczna E_k ciała spadającego przechodzi po uderzeniu w energię potencjalną odkształcenia okładziny E_p dochodzimy do równości

$$E_k = E_p \quad (4)$$

Energia kinetyczna ciała uderzającego jest równa pracy jaką wykonało to ciało do chwili zakończenia odkształceń okładziny B.

$$E_k = L_A = Q(H + \delta) \quad (5)$$

Energia potencjalną odkształcenia okładziny B można obliczyć zastępując uderzenie pewnym statycznym obciążeniem P i wtedy

$$E_p = L_B = \int_0^{\delta} P \times dy \quad (6)$$

Wyrażając zależność pomiędzy ugięciem "y" a obciążeniem statycznym "p"

$$- y = f(p) \quad (7)$$

można doprowadzić wzór (6) do postaci

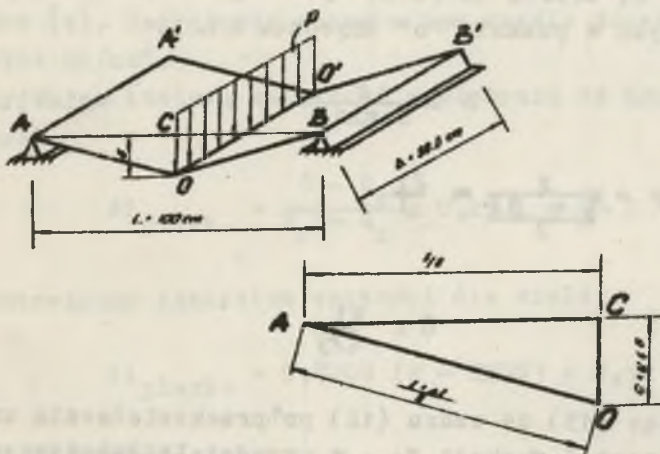
$$E_p = \int_0^P P \times f'(p) dp \quad (8)$$

Podstawiając wartości (5) i (8) do równości (4) uzyskujemy:

$$Q(H + \delta) = \int_0^P P \times f'(p) dp \quad (9)$$

Charakter funkcji (7) zależy od całego szeregu czynników i celem jej poznania koniecznym jest określenie niektórych warunków pracy okładziny. Podstawowym warunkiem jej poznania jest przyjęcie schematu przyłożenia obciążenia na okładzinę. Nie wnikając w realnie możliwe formy wystąpienia uderzenia odłamem skalnym ograniczono się do najbardziej niekorzystnego układu obciążenia – skupionego na osi poprzecznej okładziny (rys. 6).

Przypadek taki prowadzi do stosunkowo najprostszych postaci funkcji $f(p)$.



Rys. 6. Skupienie obciążenia na osi poprzecznej okładziny

Do momentu przekroczenia w stali granicy plastyczności okładzina wykształcać się będzie proporcjonalnie do panujących w niej naprężeń, a stąd ugięcie rosnać będzie wg funkcji (rys. 6):

$$y = \sqrt{\left(\frac{1 + \Delta l}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} \quad (10)$$

przy czym

$$\Delta l = \frac{6}{E} \times l \quad (11)$$

po podstawieniu wzoru (11), wykonaniu odejmowania i pominięciu małej drugiego rzędu $(\Delta l)^2$ uzyskujemy:

$$y = l \sqrt{\frac{6}{2E}} \quad (12)$$

przy czym

$$6 = \frac{S}{F} \quad (13)$$

gdzie:

S - siła rozciągająca siatkę,

F - powierzchnia przekroju poprzecznego siatki.

Dla każdego P istnieje w siatce odpowiednia wartość siły rozciągającej S, której wielkość wyznaczyć można z równowagi sił działających w punkcie "o" (rysunek 6).

$$S = \frac{P}{2 \sin \varphi} \quad (14)$$

ponieważ $\sin \varphi = \frac{y}{\frac{l + \Delta l}{2}} \approx \frac{2y}{l}$

to

$$6 = \frac{Pl}{4Fy} \quad (15)$$

Podstawiając (15) do wzoru (12) po przekształceniu uzyskujemy szukaną postać funkcji $f(p)$ w przedziale sprężystym:

$$y_s = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{P}{EF}} \quad (16)$$

dla $l = 100 \text{ cm}$, $E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $F = 3,36 \text{ cm}^2$

$$y_{s(\text{cm})} = 0,26 \sqrt[3]{P(\text{kg})} \quad (17)$$

pochodna funkcji y_s :

$$y'_s = 0,26 \frac{1}{3\sqrt[3]{P^2}} \quad (18)$$

Graniczną wartością funkcji y_s jest osiągnięcie przez naprężenie w przekrojach okładziny granicy plastyczności Q_r .

$$y_{s \max} = 1 \sqrt{\frac{Q_r}{2E}} = 100 \sqrt{\frac{2500}{2,1 \times 10^6 \times 2}} = 2,45 \text{ cm} \quad (19)$$

Obciążenie P osiągnie wtedy wartość (ze wzoru 15):

$$P' = \frac{4Q_r F \times y_{s \max}}{1} = \frac{4 \times 2500 \times 3,36 \times 2,45}{100} = 820 \text{ kG} \quad (20)$$

Po przekroczeniu granicy plastyczności wydłużenie stali wzrasta osiągając w momencie zerwania około 25% pierwotnej długości [4]. Naprężenia rosną w tym czasie do wartości $R_r = 3700 \text{ kG/cm}^2$.

Przyjmując liniową zależność wydłużenia od naprężenia uzyskujemy:

$$\Delta l_{\text{plast.}} = \frac{\sigma - Q_r}{R_r - Q_r} \times 0,25 \text{ l} + \frac{Q_r}{E} \text{ l} \quad (21)$$

Podstawiając konkretne wartości dla stali:

$$\Delta l_{\text{plast.}} = 0,0208 (\sigma - 2500) + 0,12 \quad (22)$$

ugięcie okładziny:

$$y = \sqrt{\frac{1 \times \Delta l}{2}} = \sqrt{50 \times \Delta l} \quad (23)$$

Uwzględniając zależność (15):

$$\sigma = \frac{Pl}{4Fy} = \frac{P \times 100}{4 \times 3,36 \times y} = 7,45 \frac{P}{y}$$

i podstawiając wartość Δl ze wzoru (22) do wyrażenia (23) otrzymujemy:

$$y = \sqrt{1,04 \left(7,45 \frac{P}{y} - 2500\right) + 6,0} \quad (24)$$

po przekształceniu otrzymujemy równanie:

$$y (y^2 + 2600) = 7,75 P \quad (25)$$

Jak wynika z uzyskanego wzoru dla naprężeń niewiele przewyższających granicę plastyczności można przyjąć liniową zależność ugięcia od obciążenia:

$$q_{pl} = \frac{7,75}{2600} P = 0,0028 P \quad (26)$$

pochodna $y'_{pl} = 0,0028$

Energia potencjalna odkształcenia uwzględniając uzyskane pochodne funkcji zależności ugięcia od obciążenia (18) i (27) wyrazi się wzorem:

$$E_p = \int_0^{P'} P \times 0,26 \times \frac{1}{3 \sqrt[3]{P^2}} dp + \int_P^{P'} (P - 0,0028 P) dp \quad (28)$$

po scałkowaniu uzyskujemy:

$$E_p = 6,2 \times 10^{-2} \sqrt[3]{(P')^4} + 1,4 \times 10^{-3} [P^2 - (P')^2]$$

Wykorzystując uzyskaną w (20) wartość P'

$$E_p = 460 + 1,4 \times 10^{-3} p^2 - 940$$

$$E_p = 1,4 \times 10^{-3} p^2 - 0,48 \times 10^3 \quad (29)$$

Wstawiając otrzymane wyrażenie na E_p do wzorów (4) i (9) otrzymujemy zależność:

$$Q(H + \delta) = 1,4 \times 10^{-3} p^2 - 0,48 \times 10^3 \quad (30)$$

Ponieważ δ równe jest $y_{plast.}$ to uwzględniając zależność (26) mamy:

$$Q(H + 0,0028 P) = 1,4 \times 10^{-3} P^2 - 0,48 \times 10^3 \quad (30a)$$

Wartość Q maleje ze wzrostem H .

Przyjmując paraboliczny kształt dolnej powierzchni odłamu (rys. 3) wielkość Q można wyrazić wzorem:

$$Q = Q_{max} \times \frac{h - H}{h} \quad (31)$$

gdzie:

h - strzałka sklepienia, zgodnie z (1) $h = 0,85 \text{ m} = 85 \text{ cm}$,

Q_{max} - ciężar całej straty obciążającej $Q_{max} = 0,8 \text{ t} = 800 \text{ kg}$

Podstawiając wspomniane wielkości do wzoru (31) otrzymujemy:

$$Q = 800 - 9,4 H \quad (32)$$

Podstawienie uzyskanego wyrażenia (32) do równania (30a) prowadzi do równania kwadratowego:

$$P^2 - (1600 - 18,8H) P - 576 \times 10^3 H + 6,75 \times 10^3 H^2 - 0,34 \times 10^6,$$

którego rozwiązaniem jest zależność wartości siły P od wysokości spadania odłamu H :

$$P = 800 - 9,4H + 50 \sqrt{392 + 224H - 2,66H^2} \quad (33)$$

Funkcja (33) posiada swoje maksimum w miejscu gdzie

$$\frac{\partial P}{\partial H} = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial H} = -9,4 + \frac{25 (224 - 5,33H)}{\sqrt{392 + 224H - 2,66H^2}} = 0$$

Rozwiązaniem jest najniekorzystniejsza wartość wysokości spadania ciężaru - $H = 40$ cm

Odpowiadającą tej wysokości ciężar odłamu

$$Q = 800 - 9,4 \times 40 \approx \underline{380 \text{ kg}}$$

Najniekorzystniejszy zatem przypadek uderzenia okładziny odłamek skalnym występuje przy oberwaniu stropu wyrobiska nad okładziną na wysokość 40 cm.

Porównawcza (zastępcza) wartość obciążenie statycznego odpowiadająca obliczonemu przypadkowi uderzenia odłamek skalnym wynosi:

$$P_{\max} = 800 - 9,4 \times 40 + 50 \sqrt{392 + 224 \times 40 - 2,66 \times 40^2}$$

$$P_{\max} = 3990 \approx 4000 \text{ kg}$$

Maksymalne ugięcie występujące pod obciążeniem P_{\max}

$$y_{\max} = 0,0028 \times 4000 \approx 11 \text{ cm}$$

Maksymalne naprężenie w okładzinie:

$$\sigma_{\max} = \frac{S_{\max}}{F}$$

gdzie:

$$S_{\max} = \frac{P_{\max}}{2} - \sqrt{4y_{\max}^2} + 1$$

stąd

$$S_{\max} = 2000 \sqrt{\frac{100^2}{4 \times 11^2} + 1} = 9300 \text{ kg}$$

i wtedy

$$\sigma_{\max} = \frac{9300}{3,36} = 2770 \text{ kg/cm}^2$$

W przypadku kolejnego oderwania się dwu odłamów okładzina dozna dwu kolejnych uderzeń.

Drugie uderzenie nastąpi na okładzinę zdeformowaną, posiadającą pewną strzałkę zwisu będącą wynikiem pierwszego uderzenia. Praca okładziny podczas pierwszego uderzenia została opisana powyżej i stan ten charakteryzuje zależność:

$$y = 0,0028 P \quad (26)$$

osiągająca wartość $\delta_1 = 0,0028 P_1$

gdzie:

P_1 - obciążenie statyczne zastępcze dla uderzenia odłamu,
 Q_1 z wysokości H_1 .

Po uderzeniu w okładzinie naprężenia maleją do wartości σ_1 (patrz wzór 15)

$$\sigma_1 = \frac{Q_1 \times l}{4 \times y_1 \times F} \quad (34)$$

a ugięcie wraca do wartości y_1 :

$$y_1 = \sqrt{\left(\frac{l}{2} + \frac{\sigma_{\max} - Q_1}{R_f - Q_1} \times 0,25 l + \frac{\sigma_1}{E} \times \frac{l}{2}\right)^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} \quad (35)$$

Ponowne obciążenie okładziny obciążeniem statycznym spowoduje powrót ugięcia do wartości δ_1 przy osiągnięciu przez obciążenie wielkości P_1 . Dalejsze zwiększanie obciążenia powoduje wzrost ugięcia wg (26).

Określenie najniekorzystniejszego obciążenia okładziny dwoma kolejnymi uderzeniami odłamami skalnymi wymaga analizy pracy okładziny pod drugim uderzeniem.

Z równości energii kinetycznej ciała uderzającego i potencjalnej odkształcenia okładziny uzyskamy zależność (patrz wzór 9):

$$Q_2 (H_2 + \delta_2) = \int_0^{P_2} P \times f'(p) dp \quad (36)$$

gdzie:

$$y = f(p)$$

dla $P \leq P_1$

$$y \approx \frac{\delta_1 - y_1}{P_1} \times P \quad (37)$$

i

$$y' = \frac{\delta_1 - y_1}{P_1} \quad (37a)$$

dla $P > P_1$

$$y \approx 0,0028 P \quad (26)$$

i

$$y' = 0,0028 \quad (26a)$$

Podstawiając funkcje (37) i (26) do równania (36) uzyskujemy:

$$Q_2 (H_2 + \delta_2) = \frac{\delta_1 - y_1}{2} \times P_1 + 0,0014 (P_2^2 - P_1^2) \quad (38)$$

Pierwszy składnik pracy sił statycznych jest mały i może być w dalszych rozważaniach pominięty.

Dla potwierdzenia słuszności tego stwierdzenia obliczamy maksymalny błąd popełniony przez pominięcie tego składnika.

Różnica $\delta_1 - y_1$ osiągnie swoje maksimum przy zbliżeniu się przez naprężenia w siatce do granicy plastyczności, i wtedy powrót siatki po uderzeniu będzie największy.

Odpowiadające tej sytuacji wartości δ_1 i y_1 wyniosą:

$$\delta_1 = y_{s \max} = 2,45 \text{ cm} \quad (19)$$

$$y_1 = 0,26 \sqrt[3]{P} \quad (17)$$

w danym przypadku $P = Q_1 \geq 0$

Przyjęto dalej $Q_1 = 0$ stąd $y_1 = 0$

i wtedy

$$\frac{\delta_1 - y_1}{2} \times P_1 = \frac{2,45}{2} \times P_1 = 1,23 P_1$$

Wiadomo z (20), że w opisywanych warunkach $P_1 = P' = 820 \text{ kg}$, a zatem maksymalna wartość pominiętego składnika wynosi: $1,23 \times 820 = 1010 \text{ kgom}$.

Drugi składnik pracy ciał statycznych w wyrażeniu (38) osiągnie wtedy wartość:

$$0,0014(P_2^2 - P_1^2) = 0,0014(3420^2 - 820^2) = 15200 \text{ kgom}$$

a zatem błąd wynikły z pominięcia pierwszego składnika nie przekroczy 6,3%. Można zatem napisać:

$$Q_2 (H_2 + \delta_2) = 0,0014 (P_2^2 - P_1^2) \quad (38a)$$

Wykorzystując zależność:

$$\delta_2 = 0,0028 P_2$$

wyrażenie (38a) przedstawia funkcję w postaci:

$$f(H_2, Q_2, P_1, P_2) = 0 \quad (39)$$

Obciążenie P_1 zależy jedynie od wielkości H_1 i Q_1 zależność tą przedstawia wzór (30a), który po przekształceniu prowadzi do równania kwadratowego:

$$P_1^2 - 2Q_1 P_1 - 0,72 \times 10^3 Q_1 H_1 - 0,34 \times 10^6 = 0$$

o rozwiązaniu w postaci funkcji:

$$P_1 = Q_1 + \frac{1}{2} \sqrt{4Q_1^2} + 2,88 \times 10^3 Q_1 H_1 + 1,32 \times 10^6 \quad (40)$$

Wielkości H_1 , H_2 , Q_1 i Q_2 powiązane są ze sobą zależnościami (rys. 4):

$$\frac{Q_2}{Q_{\max}} = \frac{h - H_2}{h} \quad (41)$$

$$\frac{Q_1}{Q_{\max}} = \frac{H_2 - H_1}{h}$$

Uwzględniając (40) i (41) doprowadzamy funkcję (39) do postaci:

$$F(H_1, H_2, P_2) = 0 \quad (42)$$

Najniekorzystniejszy przypadek obciążeń będzie miał miejsce przy $P_2 = \max$.

Aby wartość tą określić przekształcamy (42) do postaci:

$$P_2 = \varphi(H_1, H_2) \quad (43)$$

następnie z warunku

$$\frac{\partial \varphi}{\partial H_2} = 0$$

wyznaczamy funkcję

$$H_2 = \psi(H_1) \quad (44)$$

stąd

$$P_2 = \varphi(H_1, \psi(H_1)) \quad (45)$$

z warunku

$$\frac{\partial \varphi}{\partial H_1} = 0$$

można określić najniekorzystniejsze wysokości spadania odłamów skalnych.

Funkcję $P_2 = \varphi(H_2, H_1)$ wyprowadzić można rozwiązując równanie (38a)

$$P_2 = Q_2 + \sqrt{Q_2^2 + P_2^2 + 720 Q_2 H_2} \quad (46)$$

traktując występujące wielkości Q_2 i P_2 jako funkcje H_1 i H_2 korzystając z zależności (40) i (41)

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= Q_2(H_2) \\ P_1 &= P_1(H_1, Q_1(H_2, H_1)) \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

Jak z tego widać dalsze obliczanie prowadzi do długich, zawiłych i pracochłonnych wzorów. Z wystarczającą dokładnością można obliczyć $P_{2 \max}$ metodą prób wykorzystując znane obszary wielkości H_1 i H_2 ;

$$0 \leq H_1 \leq H_2 < h = 0,85 \text{ m}$$

Przewiduje się, że:

$$0 \leq H_1 \leq 30 \text{ cm}$$

$$40 \text{ cm} \leq H_2 \leq 70 \text{ cm}$$

Obliczenia przeprowadzono stopniując wysokości H_1 i H_2 od 5 cm w wyniku których uzyskano szereg wartości siły P_2 (tablica I).

Najniekorzystniejszy zatem (tablica I) przypadek obciążenia zaistnieje przy oberwaniu stropu na wysokości około 20 - 25 cm powyżej powierzchni okładzin i przy oddzieleniu się pierwszego odłamku na wysokości około 60 cm.

Uderzenie w takich warunkach odłamem skalnym stanowiącym pęczastą część strefy odprężonej równoznaczne jest z działaniem obciążenia statycznego wielkości 4500 kg.

Tablica I

Wartości obciążenia porównawczego P_2 w kG

$H_1 \backslash H_2$	0	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
40 cm	4090	4290	4240	4190	4140	4090	4060
45 cm	4060	4280	4420	4240	4170	4110	4040
50 cm	3970	4230	4380	4480	4230	4110	3990
55 cm	3840	4140	4320	4430	4500	4150	3990
60 cm	3690	4030	4240	4380	4460	4500	4060
65 cm	3510	3900	4150	4310	4410	4470	4480
70 cm	3210	3670	3950	4160	4280	4360	4380

Odpowiadające tej wartości ugięcie okładziny wynosi:

$$y_{\max} = 0,0028 \times 4500 = 12,5 \text{ cm}$$

3. Wpływ sposobu zabudowy okładziny na wielkość naprężeń i odkształceń

Przeprowadzone w pkt. 2 rozważania oparto przy założeniu pracy okładziny podatnej jako ciągnio wiotkie o wzrastającej z wydłużeniem strzałce zwisu.

Takie założenia są słuszne jedynie dla odpowiedniego sposobu zabudowy który odpowiadać by musiał następującym wymaganiom:

- Połączenie okładzin z łukami stalowymi winno jej unieemożliwiać przesuw po korytkach LP i zachowanie przez cały czas pracy stałej szerokości.
- Połączenie z kolejnymi okładzinami nie powinno osłabiać jej przekroju poprzecznego i nie wprowadzać istotnych zmian w rozkładzie naprężeń.

Dotychczas stosowany sposób zabudowy okładzin MM [2] nie spełnia wymagań "a" co w konsekwencji doprowadza do obserwowanych w praktyce nadmiernych obwisów tej okładziny pod obciążeniem dużo mniejszym od obliczonych wartości w pkt. 2.

Możliwość zsuwu "pasa" okładzin z sąsiednich pól oraz zmniejszenie jego szerokości są przyczyną tworzenia się wspomnianych niezasadzonych statycznie i nieestetycznych obwisów powodujących często szereg trudności ruchowych.

Umożliwienie powstania większych ugięć siatki wpływa niewątpliwie korzystnie na wielkość naprężeń w przekrojach malejących pod danym obciążeniem ze wzrostem strzałki zwisu. Dla deformacji jak na rys. 6.

$$\sigma = \frac{S}{F} = \frac{Pl}{4F} \times \frac{1}{y}$$

Nie mniej istotnym problemem dla oceny przydatności danej okładziny jest prócz jej parametrów wytrzymałościowych wielkość deformacji.

Ponieważ, jak wynika z przeprowadzonych w pkt. 2 rozważań, okładzina MM jest zdolna do przeniesienia najniekorzystniejszych nawet realnie możliwych obciążeń bez umożliwienia jej tworzenia powiększonych strzałek ugięcia o sposobie jej zabudowy decydować mogą względy ruchowe.

Za deformację okładziny nie powodującą jeszcze żadnych dodatkowych trudności ruchowych przyjmuje się na ogół maksymalną wysokość korytka łuku stalowego równą 110 mm (korytko MD 18).

Porównując powyższą wartość z maksymalnym ugięciem okładziny MM - 12,5 cm można stwierdzić, że proponowany sposób zabudowy zezwoli okładzinie MM na pracę w najgorszych warunkach nie powodując jednocześnie niekorzystnych nadmiernych obwisów.

LITERATURA

- [1] Bielajew N.W.: "Wytrzymałość materiałów wyd. MON Warszawa 1954 r.
- [2] BPPW: "Warunki techniczne odbioru okładziny MM oraz instrukcja w sprawie prawidłowego stosowania okładzin podatnych MM" Katowice 1960 r.

- [3] Mrozik Z., Wojtusiak A., Augustyn S.: "Praca okładziny podatnej jako cięga wiotkiego" Budownictwo Górnicze 1967 r. Nr 3.
- [4] PN-62/B-03200: "Konstrukcje stalowe - obliczenia statyczne i projektowe" - Warszawa 1963 r.

СОСТОЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ПОДАТЛИВОЙ СТАЛЬНОЙ
ЗАТЯЖКЕ В СЛУЧАЕ НАГРУЗКИ БЕ ПАДАЮЩИМИ ОСКОЛКАМИ ПОРОД

Р е з ю м е

Применение в крепи горизонтальных выработок податливых стальных затяжек стало причиной ударного характера нагрузки крепи путем осколков пород, стрывающихся от лав выработки.

Рассматривая самые неблагоприятные случаи ударной нагрузки затяжки установлено, что применяемая обычно затяжка ММ, застроенная таким образом, который не позволяет возникновению чрезмерных обвисей, превышает по сопротивлению предъявляемые затяжке требования.

THE STATE OF STRESSES AND DEFORMATIONS IN FLEXIBLE DIAMOND
MESH LAGGING IN CASE OF LOADING BY FALLING ROOF - ROCKS

A b b e v e r i a t i o n

Application of flexible diamond mesh as lagging on mine arches changed the character of load from static to dynamic in case of falling roof - rock.

Considering the most unprofitable events of shock resistance of flexible diamond mesh, it was stated that the common used MM - mesh assembled in the way to eliminate excessive sagging surpasses strength requirements.