ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1997
Seria: GÓRNICTWO z. 236 Nr kol. 1378

Piotr GŁUCH, Wojciech PREIDL

PROJEKTOWANIE OBUDOWY PODPOROWEJ DLA PRZECINEK ŚCIANOWYCH

(artykuł dyskusyjny)

Streszczenie. W artykule przedstawiono podział i rodzaje konstrukcji obudowy przecinek ścianowych oraz sposób projektowania parametrów współpracy obudowy z górotworem. Zaproponowano do określenia parametrów współpracy obudowy z górotworem model strefy odprężonej wg teorii prof. Z. Kłeczka, który po rozwinięciu pozwala wyznaczyć obciążenia i przemieszczenia górotworu uwzględniając szereg parametrów górniczo-geologicznych decydujących o stateczności wyrobiska w warunkach występowania obciążeń deformacyjnych. Dla wyznaczonych parametrów górotworu podporność obudowy dla modelowych obciążeń należy sprawdzić metodami numerycznymi i z uwzględnieniem badań laboratoryjnych.

DESIGNING OF STANDING SUPPORT FOR FACE ENTRIES

Summary. The article contains classification and types of support structures for face entries and a designing method of parameters relating to the cooperation of support and rock. To define these parameters a model of free-working zone ac. to prof. Z. Kłeczek' theory has been proposed. This model makes the determination of displacements of rock possible and it takes into account a number of mining parameters witch decide about the working stability in presence of deformative loads. The support load-bearig capacity for modelled loads-in determined rock conditions-should be numerick methods and by laboratory methods.

1. Wstęp

Przecinki ścianowe należą do podstawowych wyrobisk przygotowawczych eksploatacyjnych wykonywanych w systemie eksploatacji ścianowej dla uzbrojenia ściany wydobywczej w niezbędne urządzenia dla ciągłego urabiania, odstawy urobku i zabezpieczenia stropu.

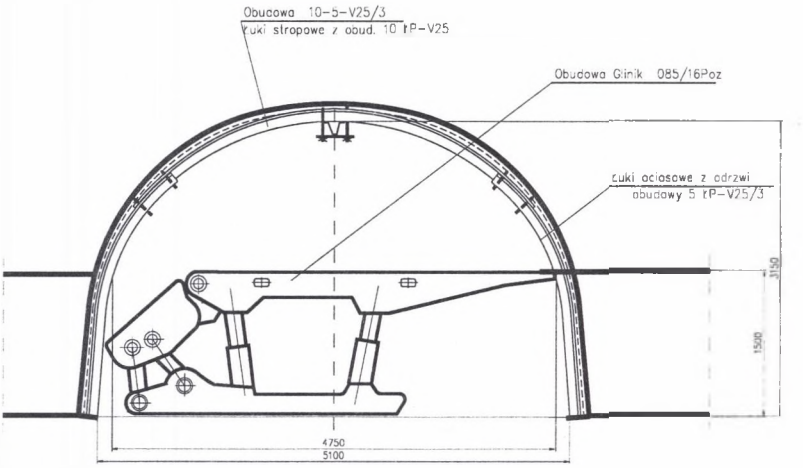
W polskim górnictwie węgla kamiennego do charakterystycznych cech przecinek ścianowych należą:

- krótkotrwały charakter istnienia wyrobiska,
- znaczna szerokość wyrobiska, często powyżej 5.0 m,
- lokalizacja w rejonach niekorzystnych: pod krawędziami, uskokami itp.,
- stosowanie obudowy o różnorodnych kształtach wymagających wzmocnienia odrzwi na szerokości, co w znacznym stopniu utrudnia zbrojenie ściany.

Do najczęściej stosowanych rozwiązań obudów przecinek ścianowych należą:

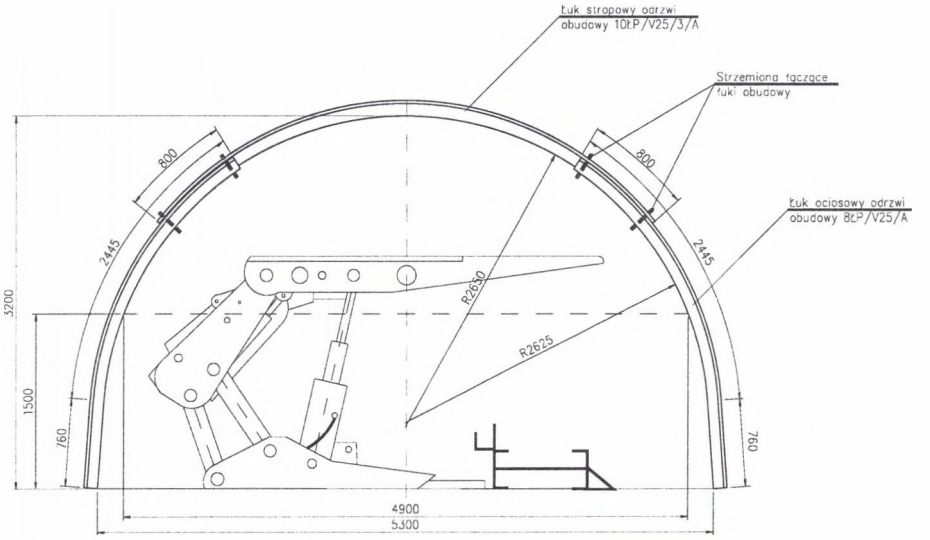
- *rozwiązania w postaci odrzwi łukowych wykonywanych na bazie łuków dobieranych z obudowy ŁP (rys.1.1.),*
- *rozwiązania w postaci połączonej obudowy prostej z połową obudowy łukowej (rys.1.2.), która powstaje przez przedłużenie obudowy łukowej prostą zabudowaną w części stropowej,*
- *rozwiązania obudów łukowych spłaszczonych wykonywanych jako konstrukcje złożone z łuków ociosowych obudowy ŁP lub specjalnie projektowane i dostosowane do wysokości pokładu (rys.1.3.),*
- *rozwiązania obudów drzwiowych prostych złożone z prostych stropnic i stojaków podporowych. Odrzwia takie dla szerokości wyrobiska >3.6 m wymagają zabudowy co najmniej jednego stojaka podporowego (rys.1.4.). Odmianą tego rozwiązania są odrzwia proste z łukowymi narożami w rejonie ociosów (rys.1.5.).*

W dobie stosowania wysoko zmechanizowanych ścian wydobywczych wyposażonych w urządzenia o wysokim koszcie (przy wysokich odpisach amortyzacyjnych) istnieje konieczność zapewnienia im ciągłej pracy dla pokrycia poniesionych nakładów. Przecinki ścianowe powinny być zatem budowane tak, aby umożliwić szybkie przeprowadzenie zbrojenia ściany.



Rys. 1.1a. Odrzwia obudowy łukowej przecinki ścianowej złożone z łuku stropowego obudowy 10 ŁP-V25/3A i łuków ociosowych obudowy 5 ŁP-V25/3A

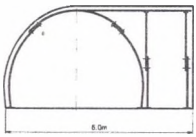
Fig. 1.1.a. Arch support frame of a face entry composed of a top arch 10ŁP-V25/3A and wall arches 5ŁP-V25/3A



Rys. 1.1b. Odrzwia obudowy łukowej przecinki ścianowej złożone z łuku stropowego obudowy 10 ŁP-V25/3A i łuków ociosowych obudowy 8 ŁP-V25/3A

Fig. 1.1.b. Arch support frame of a face entry composed of a top arch 10ŁP-V25/3A and wall arches 8ŁP-V25/3A

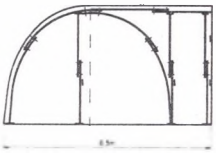
c)



Rys. 1.2. Odrzwia obudowy łukowej z prostką
Fig. 1.2. Arch support frame with straight connection:

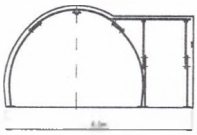
a - odrzwia 3-elementowe poszerzone do 6.0 m
a - 3 elements frame broadened to 6.0 m.

b)

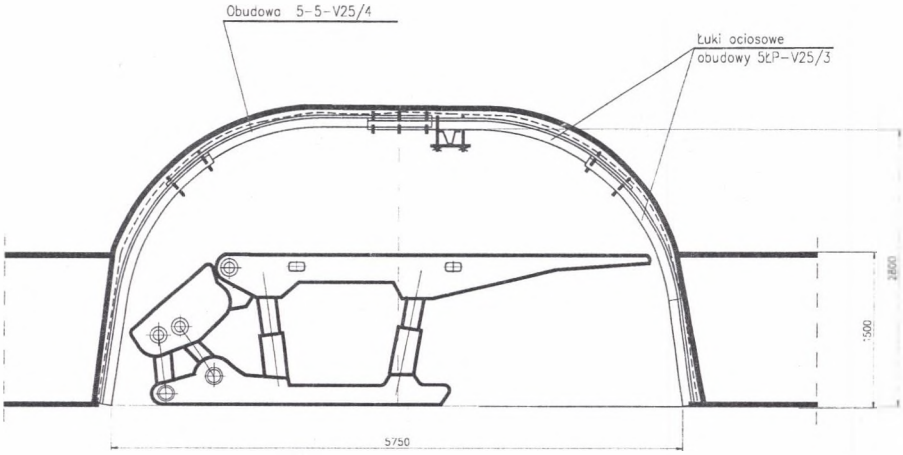


b- odrzwia 4-elementowe poszerzone do 6.0 m
b - 4 elements frame broadened to 6.0 m

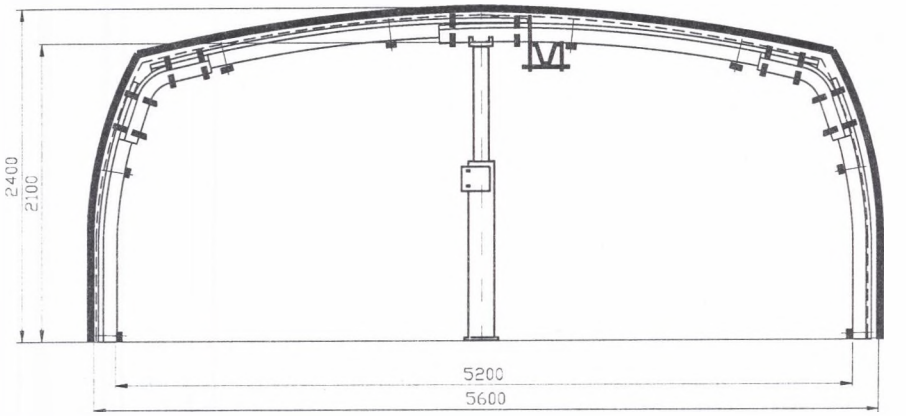
c)



c- odrzwia 3-elementowe poszerzone do 6.0 m przy wysokości poszerzenia mniejszej od wysokości odrzwi obudowy.
c - 3 elements frame broadened to 6.0 m and the height of the broadened part is smaller than the height of the support frame.

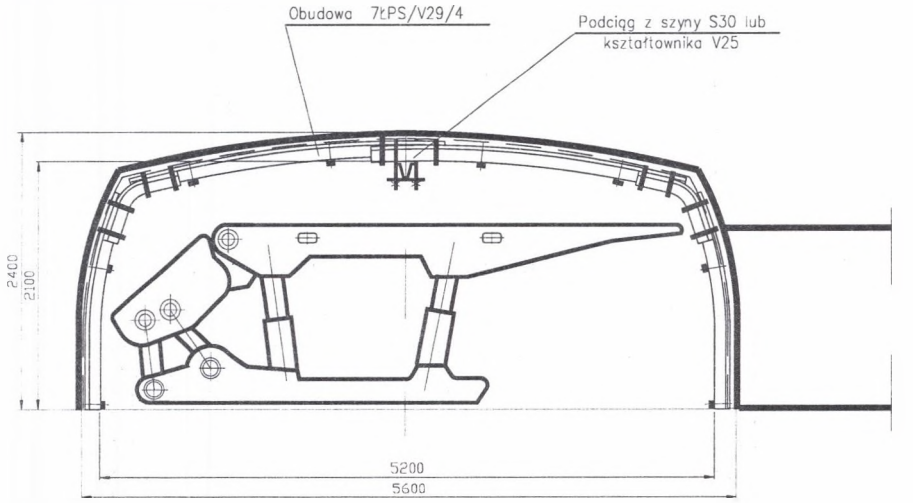


Rys. 1.3.a. Odrzwia obudowy złożone z łuków ociosowych obudowy 5 ŁP-V25/3/A
Fig. 1.3.a. Support frame made of wall arches 5ŁP-V25/3A



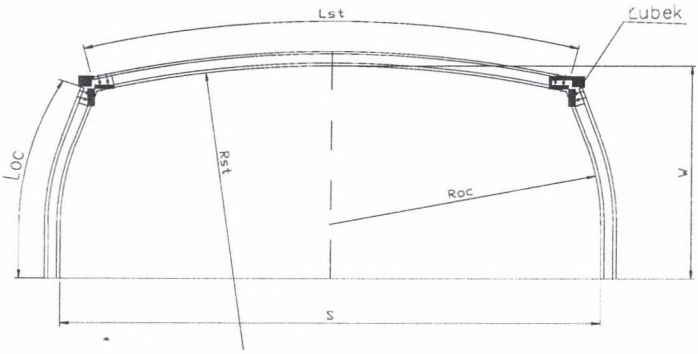
Rys. 1.3.b. Rozwiązanie i gabaryty odrzwi obudowy łukowej prostej wg GIG-u i Huty „Łabędy"

Fig. 1.3.b. Arch support structure ac. to GIG and Huta „Łabędy"



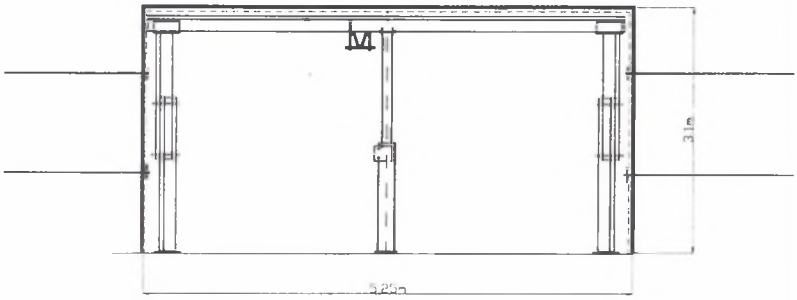
Rys. 1.3.c. Zabudowa obudowy zmechanizowanej w przecince w obudowie łukowej prostej ŁPS wg GIG-u i Huty „Łabędy"

Fig. 1.3.c. Powered support in the face entry made of ŁPS ac. to GIG and Huta „Łabędy"



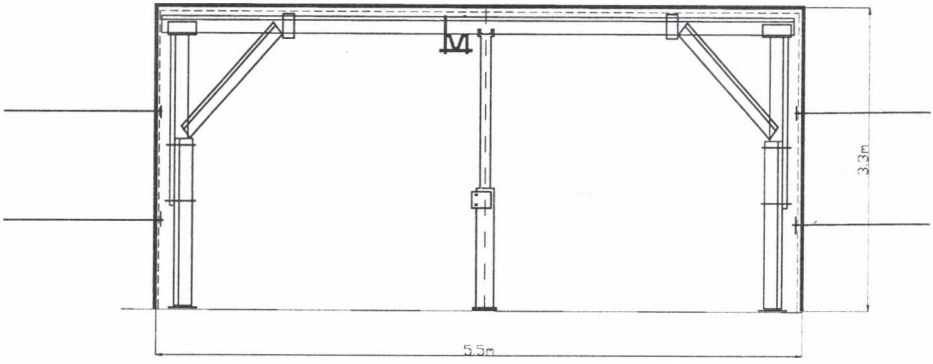
Rys. 1.3.d. Rozwiązanie i gabaryty odrzwi obudowy łukowej prostej sztywnej z kształtownika I 155Z wg Budokopu

Fig. 1.3.d. Arch support structure made of steel section I155Z ac. to BUDOKOP



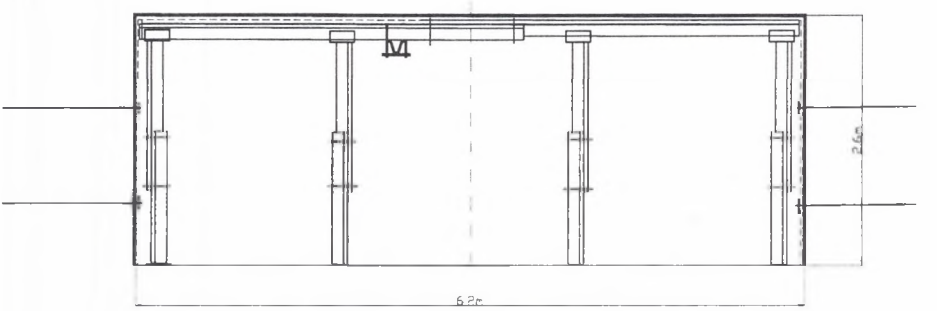
Rys. 1.4.a. Rozwiązanie odrzwi obudowy prostej z jednym stojakiem środkowym

Fig. 1.4.a. Arch support structure with one center prop



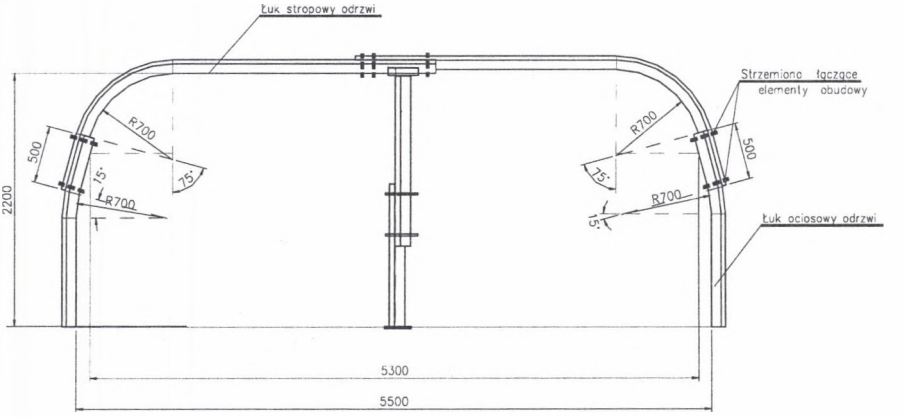
Rys. 1.4.b. Rozwiązanie odrzwi obudowy prostej z jednym stojakiem środkowym i zastrzałami na ociosach obudowy

Fig. 1.4.b. Arch support structure with one center prop and sprags at the walls



Rys. 1.4.c. Rozwiązanie odrzwi obudowy prostej z czterema stojakami podporowymi typu SV

Fig. 1.4.c. Support structure with four prop SV



Rys. 1.5. Odrzwia obudowy prostej z łukowymi narożami wg firmy Arnall Poland

Fig. 1.5. Support frame with arched corners ac. to Arnall Poland

2. Projektowanie parametrów współpracy obudowy z górotworem

Projektowanie parametrów współpracy obudowy z górotworem wymaga przeprowadzenia jawnych obliczeń podstawowych parametrów, jakimi są obciążenie i przemieszczenie górotworu.

Obciążeniu i przemieszczeniu górotworu musi odpowiadać określona podporność i podatność odrzwi obudowy podporowej. Stawianie jawnego

prowadzenia obliczeń, w których zostają podane wzory i modele obliczeniowe, jest podstawowym wymogiem bezpieczeństwa konstrukcji. [11]

Wielkość obciążenia działającego na obudowę jest funkcją:

- parametrów geotechnicznych skał górotworu , głównie wytrzymałości na ściskanie R_c,
- głębokości zalegania wyrobiska H,
- gabarytów wyrobiska S_w, W_w i jego kształtu,
- warunków geologiczno-hydrogeologicznych lokalizacji wyrobiska, a w tym głównie struktury budowy górotworu,
- zawodnienia górotworu i odporności skał na wodę,
- występowania zaburzeń geologicznych,
- uwarunkowań lokalizacji przestrzennej wyrobisk, w której muszą być uwzględnione wpływy zatrzymanej (krawędzi) lub prowadzonej eksploatacji wyrobisk,
- wpływy dynamiczne wynikające z prowadzonej eksploatacji i występowania wstrząsów i drgań górotworu.

Model obliczeniowy parametrów współpracy obudowy podporowej z górotworem ma następującymi założenia:

- *o wytrzymałości pakietu skał górotworu decyduje wytrzymałość skał górotworu, która jest określana jako wartość średnia wytrzymałości na ściskanie skał stropowych o miąższości 6 m (lub równej S_w),*
- *wytrzymałość skał w masywie pomniejsza się o współczynnik osłabienia uwzględniający: podzielność skał - budowę strukturalną masywu skalnego, wpływ czasu, wpływ wody i zawilgocenia, wpływ drgań i wstrząsów masywu skalnego,*
- *dodatkowy stan naprężenia wokół wyrobiska uwzględnia się przez współczynnik koncentracji naprężeń,*
- *strefę odprężoną górotworu określa się za pomocą modeli mechanicznych uwzględniających:*

  - statyczne obciążenie górotworu, przy którym następuje rozluzowanie skał głównie przez występowanie naprężeń rozciągających w stropie wyrobiska i powstawanie strefy odprężonego sklepienia skalnego. Wartość tego obciążenia wyznacza głównie ciężar skał zawartych w utworzonym w stropie wyrobiska sklepieniu skalnym,

  - deformacyjne obciążenie górotworu, przy którym dochodzi do niszczenia struktury skały wokół wyrobiska wskutek przekroczenia jej wytrzymałości od oddziaływania złożonego stanu naprężenia związanego często z jego

lokalizacją na dużej głębokości. Wartość obciążenia deformacyjnego jest zależna od parametrów geotechnicznych skał górotworu wokół wyrobiska, głębokości jego zalegania, czasu istnienia wyrobiska i stanowi go ciężar skał strefy odprężonej wokół wyrobiska powstałej wskutek zniszczenia jej struktury.

Weryfikację projektu prowadzi się przez: *obserwację zachowania się obudowy podporowej w wyrobisku górniczym oraz przez ewentualne prowadzenie prostych pomiarów jej przemieszczeń.*

obliczenie głębokości krytycznej:

$$H_{kr} = \frac{R_{csg}\, k_o}{2\, \gamma_{śr}\, k_n} \tag{1}$$

gdzie:

$\gamma_{śr} \approx 0{,}025$ MN/m^3,

R_{csg} - średnia wytrzymałość na ściskanie skał stropowych,

k_o - współczynnik osłabienia wytrzymałości skał stropowych,

k_n - współczynnik dodatkowej koncentracji naprężeń wokół wyrobiska.

Obydwa współczynniki wymagają oceny własności górotworu i wielkości naprężeń wokół wyrobiska. Na podstawie własnego doświadczenia autorów oraz analizy istniejących do tej pory opracowań [5, 8, 10] należy zaznaczyć, że każdorazowo do danych warunków górniczo-geologicznych wartości współczynników powinny być określone indywidualnie. Proponowana przez autorów metoda uwzględnia podstawowe czynniki, które muszą być analizowane w trakcie projektowania. Podejście takie jest efektem wieloletniego doświadczenia projektowego i może być każdorazowo do zrealizowanego obiektu górniczego weryfikowane przez prowadzenie jego obserwacji lub pomiarów deformacji. Współczynnik osłabienia wytrzymałości skał stropowych k_o określa się jako:

$$k_o = k_p \cdot k_t \cdot k_w \cdot k_d \tag{2}$$

gdzie:

k_p - *współczynnik uwzględniający podzielność skał,*

k_t - *współczynnik uwzględniający czasową zmianę wytrzymałości skały,*

k_w - *współczynnik uwzględniający wpływ zawilgocenia wodą skały na jej wytrzymałość,*

k_d - współczynnik uwzględniający wpływ drgań i wstrząsów górotworu na obniżenie wytrzymałości skały w masywie górotworu.

Przy założeniu że obudowa wykonywana jest natychmiast po odsłonięciu czoła przodku wyrobiska, parametry poszczególnych współczynników dobiera się jak niżej:

k_p - współczynnik uwzględniający podzielność skał

Uzależnia się go od budowy geologicznej masywu skalnego oraz rodzaju konstrukcji obudowy górniczej. Na podstawie doświadczenia autorów wartości współczynnika dla obudowy podporowej z wykładką kamienną za odrzwiami obudowy o średniej jakości wynoszą:

- dla podzielności masywnej $k_p = 0.9$,
- dla podzielności blokowej $k_p = 0,8$,
- dla podzielności płytowej $k_p = 0,7$
- dla podzielności kostkowej $k_p = 0,6$

k_t - współczynnik uwzględniający czasową zmianę wytrzymałości skały

Uwzględniając duży wpływ rodzaju skały na zmianę jej wytrzymałości w czasie, wyróżniono dwie ich grupy:

- piaskowce, łupki piaszczyste, mułowce,
- łupki ilaste, iłowce.

Badania wpływu czasu obciążenia na wytrzymałość skały przeprowadził A. Kidybiński [5]. Uwzględniając, że czas istnienia przecinki ścianowej wynosi min. 3 mies., tj ponad 2000 godz. Należy sądzić w myśl wyników badań, że wystąpi spadek wytrzymałości w czasie.
W przypadku przecinek ścianowych wartości współczynnika k_t zaleca się przyjmować w granicach:

- piaskowce, łupki piaszczyste, mułowce, $k_t = 0.8 - 0.7$
- łupki ilaste, iłowce. $k_t = 0.75 - 0.6$

k_w - współczynnik uwzględniający wpływ zawilgocenia wodą skały na jej wytrzymałość

Wartość współczynnika wpływu wody na wytrzymałość określono przy wykorzystaniu wskaźnika rozmakalności r określonego wg badań GIG przez A. Kidybińskiego [5].

Wartości k_w wynoszą:

- dla warunków, gdy strop wyrobiska jest zamoknięty lub dochodzi do wykropleń wody $k_w = r$
- dla warunków stropu suchego $k_w = 1$.

Warunek górotworu suchego występuje, gdy nie obserwuje się w wyrobisku wypływów wody lub namoczenia skał wodą.

Przy prowadzeniu badań laboratoryjnych wytrzymałości skały przy pełnym jej nasyceniu wodą i występowaniu wody w wyrobisku należy uwzględniać wartość tej wytrzymałości w dalszych obliczeniach.

k_d - współczynnik uwzględniający wpływ drgań i wstrząsów na zmniejszenie wytrzymałości skały w masywie skalnym

Wartość współczynnika uzależnia się od wielkości rejestrowanej energii wstrząsów górotworu w danym rejonie. Analogicznie do [8] oraz rejestrowanych praktycznie skutków działania wstrząsów na obudowę wyrobisk chodnikowych proponuje się wstępnie określać wartość współczynnika k_d na poziomie:

- *dla energii wstrząsu górotworu* $E \leq 10^4$ *J* $k_d = 1.0$
- *dla energii wstrząsu górotworu* $E = 10^4 - 10^6$ *J* $k_d = 0.99 - 0.75$
- *dla energii wstrząsu górotworu* $E = 10^6 - 10^7$ $k_d = 0.76 - 0.65$
- *dla energii wstrząsu górotworu* $E > 10^7$ $k_d = 0.6$

Obliczenia prowadzone są, przy założeniu że źródła wstrząsów są zlokalizowane w znacznej odległości od wykonywanego chodnika (powyżej 100 m do 500 m). Przy występowaniu źródeł wstrząsów w odległości poniżej 100 m od wyrobiska należy projektować specjalne systemy obudowy i zabezpieczeń wyrobiska uwzględniające obciążenie dynamiczne górotworu. Przy lokalizacji wyrobiska w odległości > 500 m wartość współczynnika $k_d = 1.0$.

W przypadku prowadzenia pomiarów wytrzymałości skały na ściskanie za pomocą badań penetrometrycznych uważa się, że współczynnik strukturalnego osłabienia skał górotworu k_p jest uwzględniony w czasie prowadzenia badań, w efekcie wielkość strefy odprężonej określa się dla współczynnika osłabienia k_o wg wzoru.

$$k_o = k_t \cdot k_w \cdot k_d \tag{3}$$

Współczynnik koncentracji naprężeń wyraża się zależnością:

$$k_n = k_k \cdot k_{sc} \cdot k_{ch} \cdot k_z \tag{4}$$

gdzie:

k_k - *współczynnik uwzględniający wpływ koncentracji dodatkowych naprężeń powstałych od oddziaływania krawędzi pokładów nad - i podległych, pozostawionych resztek,*

k_{sc} - *współczynnik koncentracji naprężeń powstałych od wybieranej ściany (ciśnienia eksploatacyjnego),*

k_{ch} - *współczynnik koncentracji naprężeń powstałych od dodatkowego wykonywania lub istnienia drugiego chodnika w rejonie wyrobiska,*

k_z - *współczynnik uwzględniający dodatkową koncentrację naprężeń powstałą od zaburzeń geologicznych górotworu (uskoki, fałdy, zaburzeń struktury skał).*

Wartości poszczególnych współczynników muszą być wyznaczone drogą indywidualnej analizy stanu naprężeniowo-deformacyjnego wokół wyrobiska z uwzględnieniem warunków geologiczno-górniczych w jego otoczeniu, a orientacyjna wartość współczynnika k_n może mieścić się w przedziale od 1 - 3.

Zasięg strefy odprężonej wokół wyrobiska

Przy zaleganiu wyrobiska na głębokości $H \leq H_{kr}$ określa się występującą wokół niego strefę ostateczną skał odprężonych **wg modelu Cymbariewicza** [10] jak dla modelu obciążenia statycznego wyrobiska.

Przy zaleganiu wyrobiska na głębokości $H > H_{kr}$ wokół wyrobiska występuje strefa ostateczna skał kruchych, której wielkość zaleca się określać **wg modelu prof. Z. Kłeczka**. [6] . W modelu wokół wyrobiska zakłada się hydrostatyczny stan naprężenia , a zasięg strefy skał kruchych wyznacza się z hipotezy de Saint Venanta.

Według teorii Cymbariewicza wysokość ostatecznej strefy odprężonej wynosi:

$$h_{sn} = \frac{5 \cdot S_n}{k_o \cdot R_{cgsr}} \tag{5}$$

a szerokość strefy odprężonej na wysokości stropu wyrobiska wynosi:

$$S_n = S_W + 2 \cdot W_W \cdot \mathrm{tg}\left(45^0 - \frac{\varphi_{oc}}{2}\right) \tag{6}$$

Według teorii prof. Kłeczka wysokość ostatecznej strefy odprężonej po wprowadzeniu do wzoru wg [6] współczynnika k_0 i k_n oraz po uwzględnieniu kształtu wyrobiska wynosi:

- dla wyrobiska o kształcie prostokątnym:

$$h_{sn} = \frac{S_w}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot k_n \cdot \gamma_{sr} \cdot H}{k_o \cdot R_{cgsr}}} - \frac{W_w}{2} \tag{7}$$

- dla wyrobiska o kształcie łukowym

$$h_{sn} = \frac{S_w}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot k_n \cdot \gamma_{sr} \cdot H}{k_o \cdot R_{cgsr}}} - \frac{S_w}{2} \tag{8}$$

Zasięg spękań w ociosie wyrobiska wyznacza się ze wzoru:

$$h_{so} = \frac{S_w}{2}\left(\sqrt{\frac{3 \cdot k_n \cdot \gamma_{sr} \cdot H}{k_{oc} \cdot R_{cgoc}}} - 1\right) \tag{9}$$

gdzie:

R_{cgsr} - wytrzymałość średnia skał stropowych od 0- S_w m lub (0 - 6 m) w MPa,

k_{oc} - współczynnik osłabienia skał ociosowych wyrobiska (dla pokładu węgla średnią wartość współczynnika $k_{oc} = 0.8$),

R_{cgoc} - wytrzymałość skał ociosowych,

H - głębokość zalegania wyrobiska,

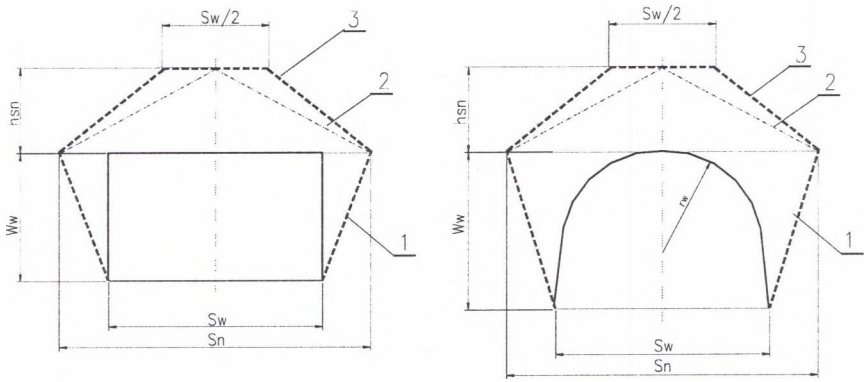
S_w - szerokość wyrobiska w wyłomie,

W_w - wysokość wyrobiska w wyłomie,

γ_{sr} - średni ciężar objętościowy skał stropowych,

φ_{oc} - kąt tarcia wewnętrznego skał ociosowych.

Kształt strefy odprężonej w modelu obliczeniowym przyjmuje się w uproszczeniu jako trapezowy (rys. 2.1.).



Rys. 2.1. Strefy odprężone wokół wyrobiska a) o kształcie prostokątnym, b) o kształcie łukowym
1 - obrys strefy odprężonej w ociosie, 2 - przybliżony teoretyczny obrys strefy odprężonej, 3 - uproszczony obliczeniowy obrys odprężonego stropu w kształcie trapezu przyjmowany do obliczeń

Fig. 2.1. Free-working zones around the working: a - rectangular, b- arched
1 - neat lines of the free-working zone 2 - approximate theoretical neat lines of the free-working zone 3 - simplificated (calculated) neat lines of the free-working roof (trapeze-shape for calculation)

Tak określony kształt stref odprężonych wokół wyrobiska w stropie i ociosie stanowi podstawę określenia parametrów obciążenia obudowy.
Obciążenie obliczeniowe działające na obudowę wynosi:

- *stropowe obciążenie pionowe równomiernie działające na całej szerokości obudowy wyrobiska*

$$q_{st} = n \cdot \gamma \cdot h_{sn} \tag{10}$$

gdzie:
γ - ciężar objętościowy skał,
h_{sn} - wysokość strefy odprężonej,
n - współczynnik obciążenia.
Współczynnik obciążenia, zdaniem autorów, stanowi wielkość zależną od warunków górniczo-geologicznych, typu obudowy oraz od jej podporności.
W skałach o rozwiniętej budowie płytowej i kostkowej jego wartość zaleca się przyjmować:
- dla obudowy podporowej podatnej:

$$n=1{,}1 - 1{,}2 \text{ dla } \alpha \leq 25^0, \quad n=1{,}2 - 1{,}3 \text{ dla } \alpha > 25^0$$

- dla konstrukcji obudów sztywnych lub usztywnionych wartość współczynnika przeciążenia zaleca się określać na poziomie:

$$n=1{,}2 - 1{,}4 \text{ dla } \alpha \leq 25^0, \qquad n=1{,}3 - 1{,}5 \text{ dla } \alpha > 25^0$$

gdzie:

α - jest wartością nachylenia warstw skalnych górotworu.

Wartości współczynnika obciążenia zostały określone przez autorów na bazie praktycznych doświadczeń w projektowaniu obudów przecinek ścianowych. Ich wartości uwzględniają zmienność warunków geologiczno-górniczych, jaka bardzo często występuje na długości wyrobiska.

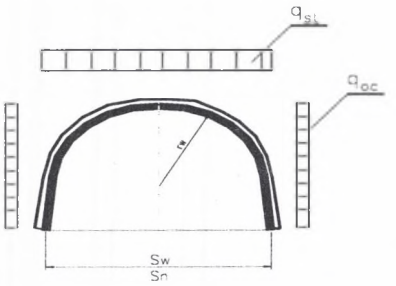
Wartość obciążenia poziomego określa się jako średnią wg wzoru:

$$q_{oc} = n \cdot \gamma \cdot \left(W_w + \frac{h_{sn}}{2} \right) \cdot tg^2 \left(45^o - \frac{\varphi_{oc}}{2} \right) \tag{11}$$

gdzie:

φ_{oc} średni kąt tarcia skał ociosowych.

W efekcie model obciążenia górotworu jest złożony i składa się z obciążenia pionowego i poziomego jak na rys.2.2.



Rys. 2.2. Obciążenie obudowy od stroy górotworu

Fig. 2.2. Load applied to the support (from the rock)

Dla obliczonego zasięgu strefy odprężonej należy wyznaczyć wartość przemieszczenia górotworu dla wyrobiska, a zwłaszcza wartość jego zaciskania od strony stropu.

Należy zaznaczyć, że zagadnienie określenia przemieszczeń górotworu nie jest w dostatecznym stopniu rozwiązane teoretycznie. Najczęściej przemieszczenia określa się drogą bezpośrednich pomiarów in situ w wyrobisku. Dla praktycznych metod doboru obudowy w fazie jej projektowania proponuje się określać wartości przemieszczenia z uwzględnieniem wzrostu objętości skały w strefie skruszonej, wykorzystując w tym zakresie znane rozwiązania prof. Sałustowicza. W dużym uproszczeniu szacunkową wartość przemieszczenia pionowego stropu wyrobiska można określić z warunku wzrostu objętości skały w strefie odprężonej wokół wyrobiska wg wzoru:

$$\Delta h_{st} = \delta \cdot h_{sn} \tag{12}$$

gdzie:

δ - współczynnik wzrostu objętości skał strefy skruszonej,

h_{sn} - wysokość strefy odprężonej.

Wartość współczynnika δ jest zależna od naturalnych własności otaczającego wyrobisko górotworu oraz od podporności obudowy. Przy obciążeniach statycznych (określanych wg teorii Cymbariewicza) wartość współczynnika na podstawie obserwacji praktycznych zachowania się obudów podporowych w wyrobiskach górniczych wynosi średnio wg autorów na poziomie od δ = 0,01 - 0,03. Dla warunków, gdzie wokół wyrobiska powstaje strefa skał kruchych związana z niszczeniem struktury skały (model obliczeniowy wg prof. Kłeczka), wartość współczynnika kształtuje się średnio na poziomie δ = 0,03 - 0,1. Dla struktury skał o dużej podzielności typu płytowego czy kostkowego wartości tego współczynnika należy przyjmować w górnych granicach. Należy podkreślić, że wartość współczynnika δ zmienia się na wysokości stropu wyrobiska. W warunkach górniczych dla danego rejonu eksploatacji wartość współczynnika δ można określić na drodze pomiarów.

Wartość obciążenia obudowy wyrobiska zmienia się w czasie oraz jest zależna od miejsca jego rozpatrywania.

Praktycznie i teoretycznie obserwuje się, że przodek wyrobiska, działający jak podpora, powoduje, że ostateczna strefa odprężona wokół wyrobiska powstaje w odległości równej w przybliżeniu szerokości wyłomu wyrobiska. Dla praktycznych obliczeń obciążenia obudowy w strefie przodkowej wyrobiska wartość obciążenia ze strony górotworu, którą musi przejąć obudowa podporowa, wynosi :

$$q_{st} = \gamma \cdot h_{sn1} \tag{13}$$

gdzie:

h_{sn1} - wysokość strefy odprężonej określona wg wzoru Cymbariewicza przy szerokości równej szerokości wyrobiska w wyłomie, tj.

$$h_{sn1} = \frac{5 \cdot S_w}{k_o \cdot R_{cgsr}} \tag{14}$$

Dopuszczalny odcinek wyrobiska dla celów technologicznych, na który działa ciśnienie wg wzoru, wynosi $S_w \backslash 2$, co praktycznie oznacza ok. 3 m.

Zachowanie szerokości wyrobiska na odcinku do 3 m pozwala prowadzić urabianie kombajnem chodnikowym całego przekroju wyrobiska.
Za odcinkiem wyrobiska, tj. w odległości ok. 3 m za czołem przodku, przyjmuje się działanie całkowitego obciążenia stropowego i ociosowego na wyrobisko określone wzorami jak wyżej.
Praktycznie oznacza to, że na długości strefy manewrowej kombajnu, tj. od 3 m za przodkiem do ok. 15 m, istnieje już konieczność zapewnienia konstrukcji obudowy podporności zapewniającej przenoszenie obciążenia ostatecznego. Za strefą manewrową kombajnu konstrukcja obudowy może być zmieniona i dostosowana bardziej korzystnie do działającego obciążenia.

3. Podporność odrzwi obudowy stalowej

Podporność odrzwi obudowy stalowej może być wyznaczana w dwojaki sposób:

1. na podstawie badań stanowiskowych w skali 1:1,
2. metodami obliczeniowymi za pomocą programów metody elementów skończonych.

Badania stanowiskowe często mają za zadanie określenie charakterystyki pracy obudowy i zachowanie się jej przy różnych obciążeniach. W górnictwie polskim podstawą tych badań jest norma PN-95/G-15000/05, która wyznacza zakres, rodzaj badań i wymagania pozwalające w konsekwencji zastosować dany rodzaj obudowy w górnictwie.

Częste przenoszenie otrzymanych w tych badaniach podporności na porównywalne wartości obciążenia górotworu nie zawsze są do przyjęcia i mogą prowadzić do nieścisłości interpretacyjnych, jak ma to miejsce w opracowaniu [8]. Numeryczne metody obliczeniowe za pomocą programów MES są znane i stosowane już od wielu lat.

Dyskretyzacja konstrukcji obudowy w metodzie obliczeniowej polega na:

- *przyjęciu sprężystego modelu obudowy podzielonego na szereg odcinków prostych,*

- *zamodelowaniu połączenia obudowy z górotworem za pomocą sprężystych wahaczy o kierunku normalnym, które pracują jedynie na ściskanie,*
- *pominięciu tarcia pomiędzy obudową i górotworem.*

W schematach statycznych obudowy istnieje możliwość wariantowego doboru obciążenia oraz parametrów sprężystych wahaczy górotworu.

Sprężyste odpory tzw. wahacze w schemacie statycznym dyskretyzowanej konstrukcji modelują powiązania obudowy z górotworem. Realizuje się je za pomocą prostych prętów z jednej strony zamocowanych przegubowo do węzła konstrukcji obudowy, z drugiej utwierdzonych przegubowo w masywie górotworu. Punkt zamocowania wahacza na obudowie doznaje przemieszczeń węzła konstrukcji, punkt zamocowany w górotworze pozbawiony jest możliwości przemieszczania się.

Wahacze zastępujące wykładkę miedzy obudową a górotworem charakteryzują poniższe parametry wytrzymałościowe:

- L_w *- długość wahacza; najczęściej przyjmowana wartość* $L_w = 0.3$ *m lub wartość* $L_w = 1m$,
- A_w *- pole przekroju poprzecznego wahacza,*
- E_z *- moduł ściśliwości wahacza zależny od rodzaju materiału i jakości wykonania wykładki,*
- J *- moment bezwładności wahacza* $J = 0$.

Dla typowych wykładek między obudową i górotworem moduł ściśliwości wykładki E_w może przyjmować wartości takie jak niżej określono w opracowaniu [3,7,2]:

$E_w = 0$ *MPa - odrzwia wolonostojące, (nie rozparte o górotwór),*
$E_w = 1.5$ *MPa - niestaranna wykładka kamienna,*
$E_w = 5$ *MPa - dobra średniej jakości wykonana wykładka kamienna,*
$E_w = 7$ *MPa - staranna wykładka kamienna,*
$E_w = 15$ *MPa - staranna wykładka kamienna przelana betonem lekkim,*
$E_w = 40$ *MPa - wykładka kamienna przelana betonem zwykłym tzw. utwardzona lub obudowa pokryta betonem natryskowym.*

Pręt wahacza przenosi jedynie ściskające siły osiowe. Celem realizacji tego założenia pręt utwierdza się przegubowo w górotworze, a jednocześnie zadaje się zerową wartość momentu bezwładności J.

Przy długości wahaczy l moduł E_z przyjmuje się równy w warunkach, gdy pole przekroju wahacza jest równe polu przekroju wykładki:

$$E_z = E_w \cdot \frac{l}{l_w} \tag{15}$$

gdzie :
E_w - moduł ściśliwości wykładki za obudową,
l - długość wahacza w modelu dyskretnym obudowy,
l_w - grubość wykładki za obudową.

Bierny odpór górotworu modelowany za pomocą sprężystych wahaczy występuje jedynie na tych odcinkach obudowy powiązanej z górotworem, na których pod wpływem obciążenia czynnego przyłożonego w węzłach przemieszcza się ona w stronę górotworu.

Fakt ten wynika ze sposobu fizycznego powiązania obudowy z górotworem za pomocą wykładki za obudową. Za pomocą kolejnych obliczeń można z dużą dokładnością wyznaczyć zasięg strefy przemieszczania analizowanej konstrukcji w kierunku górotworu (zasięg strefy działania biernego odporu).

Często z góry można założyć najmniej korzystny schemat obudowy i prowadzić obliczenia wyłącznie dla wahaczy założonych w konstrukcji pracujących na ściskanie.

W konstrukcji obudowy, na etapie tworzenia schematu statycznego wykorzystuje się często jej symetrię względem osi Y, co pozwala obliczać jedynie połowę konstrukcji. Dzięki temu istnieje możliwość skrócenia czasu obliczeń, a także ilości danych potrzebnych do ich wykonania. W związku z powyższym należy odpowiednio zadać warunki brzegowe w miejscach „przecięcia" konstrukcji obudowy.

Z uwagi na zasadę ciągłości konstrukcji i sił wewnętrznych warunki brzegowe dla miejsc „przecięcia" w płaskim schemacie statycznym są następujące:

1. Zerowa wartość przemieszczenia węzła w kierunku poziomym.
2. Zerowa wartość kąta obrotu w węźle.

Z uwagi na nieprzesuwne zamocowanie końców wahaczy w górotworze warunki brzegowe tych węzłów są następujące:

1. Zerowa wartość przemieszczenia węzła w kierunku poziomym.
2. Zerowa wartość przemieszczenia węzła w kierunku pionowym.

Wymiarowanie obudowy górniczej prowadzi się z reguły metodą stanów granicznych stosując model ciała sztywno-plastycznego ze wzmocnieniem

[3,7]. Uproszczoną zależność na naprężenia w stanie granicznym dla ciała sprężysto-plastycznego ze wzmocnieniem przedstawia wzór:

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} \leq R_a \cdot (m + n) \tag{16}$$

gdzie:
R_c - granica plastyczności materiału,
R_a - wytrzymałość obliczeniowa materiału obudowy,
m - współczynnik kształtu (dla przekroju korytkowego m = 1.47),
n - współczynnik:

$$n = \frac{R_m - R_e}{R_e} \tag{17}$$

R_m - granica wytrzymałości materiału.

Obliczenia sił wewnętrznych oraz przemieszczeń wykonuje się dla jednostkowego obciążenia pionowego o wartości 0,1MPa. (100 KN/m^2) lub dla obciążenia obliczeniowego tworząc określone schematy statyczne.

Uwzględniając rodzaj stali, z której są wykonane odrzwia obudowy, wartość naprężeń granicznych, przy której następuje lokalna utrata stateczności kształtownika i jego uplastycznienie.

$$\sigma_n = R_e \cdot (m + n) / \gamma_a \tag{18}$$

gdzie:
$\gamma_a = 1.15$

Przy działaniu na obudowę obliczonych wartości obciążenia q_{st}, q_{oc} rozstaw odrzwi oblicza się przez przyrównanie do siebie wartości naprężeń obliczonych maksymalnych σ_{max} (dla rozstawu odrzwi co 1 m) z naprężeniami granicznymi dla kształtownika przy założeniu, że konstrukcja pracuje jako sprężysta (sztywna na połączeniach łuków), otrzymuje się rozstaw odrzwi obudowy za pomocą wzoru:

$$d = \frac{\sigma_n}{\sigma_{max}} \tag{19}$$

Przy działaniu na obudowę obciążenia o wartości jednostkowej $q_{o.1}$ = 100 kN/m^2 = 0.1 MPa = 10 T/m^2 rozstaw odrzwi dla danego obciążenia q_{st} oblicza się ze wzoru:

$$d = \frac{R_c(m+n)}{\delta_{max}} \cdot \frac{q_{0,1}}{q_{st}} \tag{20}$$

Dla konstrukcji obudowy stalowej odrzwiowej obliczanej w płaskim układzie statycznym często wykorzystuje się wzór do obliczenia podporności obudowy, gdy obliczenia sił wewnętrznych oraz przemieszczeń wykonuje się dla jednostkowego obciążenia o wartości 0,1MPa.

Obudowę stalową oblicza się przy rozstawie jednostkowym d= 1m. Otrzymane momenty i siły podłużne dla przekroju maksymalnie wytężonego M^j_{max} i N^j_{odp} są proporcjonalne do działającego obciążenia i pozwalają określić podporność obudowy przez przekształcenie wzoru do postaci :

$$p_k = \frac{R_c \cdot (m+n)}{\frac{M^j_{max}}{W_x} + \frac{N^j_{odp}}{F}} \cdot \frac{0,1}{d} \tag{21}$$

gdzie:

0,1 - jednostkowe obciążenie [MPa],

d - rozstaw odrzwi obudowy,

M_{max} - max. moment zginający dla jednostkowego obciążenia,

N_{odp} - siła normalna występująca w pręcie o max. momencie zginającym.

Wzór określa podporność odrzwi obudowy ze względu na nośność kształtownika.

W przypadku gdy analizowane obudowy stalowe odrzwiowe są podatne, oblicza się również ich podporność ze względu na nośność złączy wg uproszczonego wzoru :

$$p_z = \frac{N_z}{N_j} \cdot \frac{0,1}{d} \tag{22}$$

gdzie:

N_z - nośność złączy dla danego kształtownika,

N_j - wartość siły podłużnej w przekroju złączy dla obciążenia jednostkowego,

d - rozstaw odrzwi.

Podporność obudowy ze względu na nośność złączy nie może być większa od podporności ze względu na nośność kształtownika, jeżeli nie chcemy dopuścić do deformacji kształtownika odrzwi obudowy. Przeprowadzone liczne badania stanowiskowe odrzwi obudowy podporowej

wykazały, że dla celów praktycznych podporność obudowy podatnej ze względu na pracę strzemion mieści się w przedziale od 0.7 do 0.6. W celu wyznaczenia jej wartości zaproponowano uproszczony wzór jak niżej:

$$p_z = \frac{2}{3} p_k = 0.66\, p_k \tag{23}$$

4. Wnioski końcowe

1. Krótkotrwały charakter istnienia przecinek ścianowych, jak również znaczna szerokość wyrobiska, często niekorzystna lokalizacja oraz stosowanie konstrukcji obudowy o specjalnych kształtach i wzmocnieniach powoduje, że istnieje konieczność każdorazowego indywidualnego podejścia do projektowania parametrów współpracy obudowy z górotworem.

2. Projektowanie parametrów współpracy obudowy z górotworem musi być jawne ze względu na to, że obudowa jest konstrukcją, pod którą przebywają górnicy.
   Złożone warunki górniczo-geologiczne często korzystnie jest analizować na prostych modelach dających możliwość uwzględnienia istotnych czynników wpływających na wielkość obciążenia i przemieszczenia górotworu.

3. W modelu strefy odprężonej (wg prof. Kłeczka) powstającej wokół wyrobiska korytarzowego dla wyznaczenia wysokości strefy odprężonej w stropie i ociosach zaproponowano dodatkowe uwzględnienie:
   - *kształtu wyrobiska,*
   - *współczynnika osłabienia wytrzymałości skał stropowych,*
   - *współczynnika dodatkowej koncentracji naprężeń.*

   Przemieszczenia górotworu zaproponowano w uproszczeniu określać z prostej zależności uwzględniającej procentowy przyrost objętości skał strefy odprężonej.
   Ostateczne obciążenie górotworu działające na obudowę uwzględnia współczynnik przeciążenia zależny od warunków górniczo-geologicznych, jak również od sztywności zastosowanej obudowy w wyrobisku.

W modelu zaproponowano prosty sposób uwzględnienia przyrostu obciążenia górotworu w wyrobisku uwzględniając strefę przodkową o długości równej szerokości wyrobiska w wyłomie Sw i pozostałą strefę na długości chodnika, gdzie obciążenie osiąga ostateczną wartość.
Przy określonym doświadczeniu górniczym i praktyce w stosowaniu powyższego modelu istnieje możliwość takiego doboru współczynników występujących w metodzie, że będzie ona dobrze odwzorowywać parametry współpracy obudowy z górotworem obserwowane w wyrobisku górniczym.

4. Podporność obudowy podporowej można w sposób dostatecznie dokładny określić za pomocą programów metody elementów skończonych. Szczególnie istotne jest ustalenie charakterystyki pracy wahaczy sprężystych modelujących prace otaczającego górotworu i wykładki za obudową. W zależności od konstrukcji obudowy należy wyznaczyć jej podporność jako obudowy sztywnej ze względu na nośność kształtownika lub jako podatnej przez obniżenie jej podporności obliczanej dla konstrukcji sztywnej.

Literatura

1. Chudek M., Głuch P., Szczepaniak Z.: Drążenie wyrobisk korytarzowych. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1985.
2. Chudek M., Głuch P., Szczepaniak Z.: Projektowanie i wykonywanie wyrobisk komorowych. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986.
3. Chudek M., Mateja J., Rułka K.: Podstawy teoretyczne oraz nowe zasady doboru, ustalania obciążeń i wymiarowania obudów długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych. ZN Pol. Śl. Górnictwo - nr 124, Gliwice 1984.
4. Głuch P.: Rozwiązania stalowej obudowy odrzwiowej o zwiększonej podporności dla warunków dużych głębokości. Budownictwo Węglowe, Projekty - Problemy nr 9, 1983.
5. Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. Śląsk, Katowice 1982.
6. Kłeczek Z.: Geomechanika górnicza. ŚWT, Katowice 1994.

7. Mateja J. : Studium nad ustaleniem nośności stalowych odrzwi obudowy łukowej w wyrobiskach udostępniających nie narażonych na bezpośredni wpływ eksploatacyjnych ciśnień. OBR-BG „ BUDOKOP" Mysłowice 1982.
8. Sposób doboru obudowy łukowej podatnej wyrobisk chodnikowych wykonywanych w pokładzie węgla i pozostających poza wpływem ciśnienia eksploatacyjnego. WUG GIG, Katowice, kwiecień 1996.
9. PN-90/B-03200 - Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
10. BN-82/0434-07 - Wyrobiska korytarzowe i komorowe. Obudowa powłokowa. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych.
11. PN-90/B-03000 Projekty budowlane . Obliczenia statyczne.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Wichur

Wpłynęło do Redakcji 7.11.1997 r.

Abstract

The short-durations, a significant width, notadvantageous location, special support structure with reinforcement causes the necessity of individual designing of parameters relating to the cooperation of support and rock.

Designing of these parameters must be evident because under this structure are people working. The complicated mining conditions have to be analysed on simple models where the most important factors with effect the load and displacement of rock are taken into account.

In the model of the free-working zone (ac. to prof. Z. Kłeczka) which appears around the drift additional elements to determine the heght of the free-working zone in the roof and the walls are considered:

- the shape of the working,
- the factor of strenght weakening of the roof rock,
- the factor of additional stress concentration.

The dislocation of rock will be defined from a simple relation which takes into account the increase in volume of the free-working rock.

The final rock load which effects the support takes into consideration the overload factors which depends on the mining condtions and on the stiffnes of the applied support.

To determine the rock load the face zone (lenght as some as width) (S_w) and the remaining lenght of the gallery (where the load reaches its final value) shuld be considered.

With help of certain mining experience and practice in using the model we can select the factors in proper way and we get the right representation of parameters relating the cooperation of support and rock obseved in the working.

The support load-bearing capacity can be exactly determined by the finite-diference method. Very importand are the characteristics of rockers modelling the surrounding rock and the inserts behind the support.

Depending on the support structure its load-bearing capacity has to be treated as stiff support because of the load-carrying ability of steelsection or as yielding support (reduction of load-bearing capacity calculated as for a stiff structure).