

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**



40-LECIE
Politechniki Śląskiej

**MIROSŁAW CHUDEK
JAN MATEJA
KAZIMIERZ RULKA**

**PODSTAWY TEORETYCZNE ORAZ NOWE ZASADY
DOBORU, USTALENIA OBCIĄŻEŃ I WYMIAROWANIA
OBUDÓW DŁUGOTRWAŁYCH WYROBISK
KORYTARZOWYCH I KOMOROWYCH**

GÓRNICTWO

**Z. 124
GLIWICE
1985**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 761

Mirosław CHUDEK

Jan MATEJA

Kazimierz RUŁKA

GÓRNICtwo

ZESZYT STO DWUDZIESTY CZWARTY

**Podstawy teoretyczne oraz nowe zasady
doboru, ustalania obciążeń i wymiarowania
obudów długotrwałych wyrobisk
korytarzowych i komorowych**

GLIWICE

1985

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Wiesław Gabzdyl (redaktor naczelny), **Miroslaw Chudek** (redaktor
działu), **Elżbieta Stinzing** (sekretarz redakcji)

REDAKCJA

Kazimiera Rymarz

REDAKCJA TECHNICZNA

Alicja Nowacka

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372-9508

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
ul. Kujawska 3, 44-100 Gliwice

Nakł. 180+55 Ark.wyd. 9,95 Ark. druk. 11,375 Papier offsetowy kl.III, 70x100,70g
Oddane do druku 8.11.1983 Podpis. do druku 12.03.1985 Druk ukończ. w czerwcu 1985
Zam. 1664/83 Z-23 Cena zł 149,-

Fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

SPIS TREŚCI

	Str.
WAŻNIEJSZE OZNACZENIA I JEDNOSTKI STOSOWANE W PRACY	
1. WPROWADZENIE	8
2. WPROWADZENIE NIEKTÓRYCH WZORÓW DOTYCZĄCYCH ZASAD OSZACOWANIA OBCIĄŻEŃ I WYMIAROWANIA OBUDÓW DŁUGOTRWAŁYCH WYROBISK KORY- TARZOWYCH I KOMOROWYCH	10
2.1. Stan naprężeń	10
2.1.1. Ośrodek sprężysty	11
2.1.1.1. Wytrobisko kołowe	12
2.1.1.2. Wytrobisko łukowe	16
2.1.2. Ośrodek sprężysto-plastyczny	16
2.1.3. Ośrodek sprężysto-spekany	21
2.1.4. Ośrodek sypki	24
2.2. Stan przemieszczeń	24
2.2.1. Ośrodek sprężysty	24
2.2.2. Ośrodek sprężysto-plastyczny	26
2.2.2.1. Oszacowanie wartości	28
2.2.2.2. Oszacowanie przemieszczeń obudowy	28
2.2.3. Ośrodek sprężysto-spekany	30
2.3. Obciążenie obudowy	30
2.3.1. Ośrodek sprężysto-plastyczny	30
2.3.2. Ośrodek sprężysto-spekany	32
2.3.3. Ośrodek sypki	32
2.4. Zasady wymiarowania obudów	33
2.4.1. Obudowa łukowa ŁP	33
2.4.2. Obudowa z betonu natryskowego B	34
2.4.3. Obudowa kotwiovo-betonowa KB	35
2.4.4. Obudowa stalowo-betonowa SB	38
2.4.5. Obudowa kotwiovo-betonowo-stalowa KBS	38
2.4.6. Obudowa odrzwiowa obetonowana OB	38
2.5. Podporność aktywna obudów	39
2.5.1. Obudowa z betonu natryskowego B	39
2.5.2. Obudowa stalowo-betonowa SB i odrzwiowa obetone- wana OB poza przodkiem	40
2.5.3. Obudowa odrzwiowa z łuków sztywnych	41
3. ZASADY DOBORU, PROJEKTOWANIA I OBLICZEŃ STATYCZNYCH OBUDÓW DŁUGOTRWAŁYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH I KOMOROWYCH	42
3.1. Przedmiot i zakres stosowania	42
3.2. Określenia i pojęcia podstawowe	42
3.3. Elementy nośne obudowy	43
4. PROPONOWANY PODZIAŁ KONSTRUKCJI OBUDÓW I OZNACZENIA	50
5. KONSTRUKCJE OBUDÓW	51

6. ZNACZENIE KONSTRUKCJI OBUDOWY I SPOSOBU JEJ WZNOSENIA DLA ZAPEWNIENIA STATECZNOŚCI WYROBISKOM GÓRNICZYM	68
6.1. Zasady doboru rodzaju obudowy	69
6.1.1. Ogólne zasady doboru	69
6.1.1.1. Skały zwięzłe	70
6.1.1.2. Skały luźne (grunty)	70
6.1.1.3. Upodatnione obudowy	71
6.1.2. Zakres stosowania poszczególnych rodzajów obudów	71
6.1.2.1. Obudowa łukowa podatna ŁP	71
6.1.2.2. Obudowa łukowa sztywna ŁS	72
6.1.2.3. Obudowa kotwiowa K	72
6.1.2.4. Obudowa odrzwiowa obetonowana OB	72
6.1.2.5. Obudowa z betonu natryskowego Bn	72
6.1.2.6. Obudowa kotwiowo-betonowa KB	73
6.1.2.7. Obudowa stalowo-betonowa SB	73
6.1.2.8. Obudowa kotwiowo-betonowo-stalowa KBS	73
6.1.2.9. Obudowa powłokowa upodatniona Pu	73
6.1.2.10. Obudowa betonowa B	73
6.1.2.11. Obudowa żelbetowa Bż	74
6.1.2.12. Obudowa spodku wyrobiska	74
6.1.3. Wstępny dobór konstrukcji obudowy	74
6.1.3.1. Dobór konstrukcji obudowy na podstawie klasyfikacji Lauffera	74
6.1.3.2. Dobór konstrukcji obudowy na podstawie oszacowanych oddziaływań górotworu na obudowę	80
7. PARAMETRY GEOTECHNICZNE GÓROTWORU	81
7.1. Parametry geotechniczne gruntów skalistych	83
7.1.1. Wytrzymałość obliczeniowa górotworu przy jednoosiowym ściskaniu	83
7.1.2. Obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego górotworu	84
7.1.3. Spójność obliczeniowa górotworu	85
7.1.4. Obliczeniowa wartość współczynnika sprężystości wzdłużnej górotworu	85
7.1.5. Obliczeniowa wartość współczynnika Poissona górotworu	85
7.1.6. Obliczeniowa wartość granicznego jednostkowego odkształcenia podłużnego górotworu	85
7.1.7. Obliczeniowa wartość gęstości objętościowej górotworu	85
7.2. Parametry geotechniczne gruntów nieskalnych mineralnych	86
7.2.1. Obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntu	86
7.2.2. Spójność obliczeniowa gruntu	86
7.2.3. Obliczeniowa wartość modułu odkształcenia pierwotnego E_0 i wtórny E gruntu	86

7.2.4.	Obliczeniowa wartość współczynnika Poissona gruntu	86
7.2.5.	Obliczeniowa wartość gęstości objętościowej gruntu	86
7.3.	Oszacowanie obliczeniowej wartości kąta tarcia wewnętrznego skał ρ_s i spójności skał c_s	86
7.4.	Orientacyjne wartości parametrów geotechnicznych skał karbońskich	86
7.5.	Przyporządkowanie parametrów geotechnicznych skał karbońskich wartościom wskaźnika zwięzłości	86
8.	TOK POSTĘPOWANIA PRZY PROJEKTOWANIU OBUDÓW	91
8.1.	Dane wyjściowe	91
8.2.	Dobór rodzaju konstrukcji	92
8.3.	Określenie oddziaływania górotworu na obudowę ...	92
8.4.	Określenie sił wewnętrznych	93
8.5.	Wymiarowanie konstrukcji	93
9.	OBCIĄŻENIA OBUDOWY	94
9.1.	Rodzaje obciążeń	94
9.2.	Przypadki obciążeń	94
9.3.	Oddziaływanie górotworu na obudowę	94
9.3.1.	Oddziaływanie górotworu na obudowę płytko zalegającego wyrobiska	95
9.3.2.	Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w ośrodku sprężystym ...	96
9.3.3.	Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w ośrodku sprężysto-plastycznym	97
9.3.4.	Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w ośrodku sprężysto-plastyczno-spekąnym	100
9.3.5.	Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w gruncie nieskalistym oraz w strefie zaburzeń tektonicznych	103
9.4.	Ciężar własny obudowy	104
9.5.	Ciśnienie iniekcyjne	104
9.6.	Obciążenie obliczeniowe obudowy	104
9.7.	Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobisk zlokalizowanych w skałach karbońskich o przeciętnej podzielności	104
10.	OKREŚLENIE SIŁ WEWNĘTRZNYCH	108
10.1.	Płaskie ustroje prętowe	108
10.1.1.	Podpory	108
10.1.2.	Odpór górotworu	109
10.1.3.	Zasięg odporu	112
10.1.4.	Schematy statyczne	113
10.1.5.	Obliczanie sił wewnętrznych	113
10.2.	Ekstremalne wartości sił wewnętrznych w niektórych ustrojach płaskich	116
10.2.1.	Obudowa odrzwiowa	116

10.2.2. Łuk kołowy płaski	124
10.2.3. Obudowa odrzwiowa obetonowana	126
11. ZASADY WYMIAROWANIA KONSTRUKCJI OBUDOWY	129
11.1. Wymiarowanie obudów odrzwiowych	129
11.1.1. Obudowa odrzwiowa podatna	129
11.1.2. Obudowa odrzwiowa sztywna	132
11.1.3. Obudowa odrzwiowa wzmocniona cienką war- stwą betonu natryskowego	132
11.1.4. Przykład określania parametrów obudowy po- datnej	133
11.1.5. Nomogramy nośności obudowy odrzwiowej	134
11.2. Wymiarowanie obudów powłokowych	134
11.2.1. Obudowa z betonu natryskowego	134
11.2.2. Obudowa odrzwiowa obetonowana	138
11.2.3. Obudowa stalowo-betonowa	160
11.2.4. Obudowa kotwiovo-betonowa	161
11.2.5. Obudowa kotwiovo-betonowo-stalowa	163
11.3. Obudowa kotwiova	164
11.4. Obudowy sklezione	164
11.4.1. Obudowa betonowa	164
11.4.2. Obudowa żelbetowa	166
11.5. Obudowa kombinowana	168
11.5.1. Obudowa kotwiovo-odrzwiowa	168
12. PODSUMOWANIE I UWAGI KOŃCOWE	169
13. LITERATURA	170
STRESZCZENIA	179

1. WPROWADZENIE

Jednym z istotnych problemów dla budownictwa górniczego jest dobór i wykonanie obudowy dla długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych o dużym przekroju poprzecznym, zwłaszcza w przypadku zlokalizowania ich w niekorzystnych warunkach górniczo-geologicznych. Dla przedsiębiorstw wykonawczych punkt ciężkości problemu leży w pracochłonności i uciążliwości wznoszenia obudowy w czasie drażenia tych wyrobisk, a w przypadku występowania niekorzystnych warunków geologicznych - w zagrożeniach i trudnościach utrzymania w stanie statecznym górotworu na odcinku zabioru. Dla użytkownika problem sprowadza się do zapewnienia trwałej stateczności wyrobiska na czas użytkowania, bez konieczności dokonywania pracochłonnych i kosztownych przebudów.

Dotychczasowy pogląd na podporność obudowy, jej podatność oraz współpracę z górotworem sprawiał, że w budownictwie górniczym stosowano do niedawna praktycznie tylko dwa rodzaje obudów: łukową, podatną z kształtownika korytkowego KS/KO-21 oraz sztywną, grubościenną w postaci muru z cegły, betonitów lub betonu.

Jak wykazuje praktyka górnicza, zastosowanie podatnych obudów łukowych w długotrwałych wyrobiskach jest uzasadnione jedynie w dobrych i średnich warunkach górniczo-geologicznych.

Przy stosowaniu jej w niekorzystnych warunkach występuje znaczne zaciśkanie wyrobisk, zmniejszające ich cechy funkcjonalne.

Obudowa murowa z cegieł, betonitów czy betonu, stosowana szczególnie w wyrobiskach komorowych, charakteryzuje się wysoką praco- i materiałochłonnością przy równocześnie relatywnie niskiej podporności.

Powszechne stosowanie przytoczonych wyżej obudów niezależnie od warunków górniczo-geologicznych było w przypadku występowania wzmózonych ciśnień górotworu powodem zaciśkania wyrobisk i trudności w ich utrzymaniu. W ostatnich latach wprowadzono do krajowego górnictwa węglowego cały szereg nowych konstrukcji obudów, w tym powłokowych, których podstawowym elementem nośnym jest warstwa betonu natryskowego. Na szerszą skalę, zwłaszcza w komorach, znalazły zastosowanie obudowy: łukowa obetonowana oraz kotwiono-betonowo-stalowa, które, jak wykazały doświadczenia, praktycznie zapewniają w niekorzystnych warunkach górniczo-geologicznych stateczność długotrwałym wyrobiskom o dużym przekroju poprzecznym.

Równocześnie w praktyce wprowadza się w obudowach łukowych typosereg kształtowników jednoprofilowych typu V od 21 do 44.

Zwiększenie różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych obudów wyrobisk długotrwałych stworzyło przesłanki do optymalnego doboru rodzaju obudowy dla występujących warunków górniczo-geologicznych.

Dokonanie wyboru właściwego rozwiązania konstrukcyjnego wymaga dysponowania odpowiednią, możliwie sprawdzoną metodyką projektowania obudów.

Z tego też względu w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej i w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Budownictwa Górniczego "Budokop" od wielu lat podjęto odpowiednie badania, mające na celu opracowanie zasad projektowania obliczeń statycznych i doboru obudów długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych, co stanowi krewę niniejszej pracy.

Efektom tych prac jest szereg konstrukcji obudów opracowanych w OBB -BG "Budokop" przy współpracy z Instytutem Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, które zostały sprawdzone w konkretnych warunkach in situ.

Próbę pierwszego podsumowania doświadczeń w zakresie projektowania podjęto w roku 1975, kiedy to zostały opracowane "Tymczasowe wytyczne projektowania i obliczeń statycznych obudów kapitalnych wyrobisk korytarzowych i komorowych".

W budownictwie górniczym, w przeciwieństwie do budownictwa naziemnego, główna trudność w projektowaniu budowli podziemnych leży w prawidłowej ocenie działającego obciążenia. Mając na uwadze zarówno trudności w jednoznacznym sprecyzowaniu parametrów geotechnicznych górotworu, jak i warunków współpracy obudowy z górotworem, należało przedstawić w cytowanych "Tymczasowych wytycznych ..." inżynierską metodę projektowania i obliczeń statycznych poddać weryfikacji.

Przeprowadzono ją poprzez obserwacje zachowania się zaprojektowanych i wykonanych obudów w różnych warunkach jak również w wyniku badań dołowych, stanowiskowych i modelowych, które obejmowały:

- badania modelowe dla określenia wielkości i rozkładu ciśnień górotworu na obudowę w zależności od stosowanej konstrukcji obudowy,
- badania stanowiskowe i półprzemysłowe ścisłości wykładki i wpływu współczynnika ścisłości wkładki na nośność łukowej obudowy odrzwiowej,
- badanie stanu obudów (w czasie) w wytypowanych wyrobiskach,
- badania dołowe przejawów ciśnień i górotworu na obudowę przy różnym stopniu współpracy z górotworem,
- badania półprzemysłowe i przemysłowe nad udoskonaleniem elementów konstrukcji obudowy i technologii wznoszenia obudów powłokowych,
- badania kompleksowe parametrów geotechnicznych skał karbonu w warstwach przyległych do pokładów węgla w Górnośląskim i Lubelskim Zagłębiu Węglowym.

Wyniki przedmiotowych obserwacji i badań, jak również wyniki badań i rozważań teoretycznych przeprowadzonych w innych ośrodkach naukowych stanowiły podstawę dla zmodyfikowania metodyki projektowania i obliczeń statycznych obudów długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych.

Przeistawione w niniejszej pracy zasady zawierają:

- charakterystykę proponowanych materiałów, elementów i konkretnych konstrukcji obudów,
- zasady doboru rodzaju obudowy,
- zasady określania parametrów geotechnicznych górotworu koniecznych do wykonywania obliczeń statycznych,
- zasady określania oddziaływania górotworu na obudowę, tj, obciążeń i wymuszonych przemieszczeń,
- zasady określania sił wewnętrznych w konstrukcjach obudów,
- zasady wymiarowania obudów.

Zasady umożliwiają dokonanie wyboru optymalnego dla zadanych warunków górniczo-geologicznych rodzaju obudowy i sposobu jej wznoszenia. Oznacza to dobór takiej konstrukcji obudowy, która długotrwałym wyrobiskom korytarzowym i komorowym zapewnia stateczność na czas ich użytkowania, zaś jej wznoszenie odbywa się przy najmniejszym nakładzie sił i środków.

2. WYPROWADZENIE NIEKTÓRYCH WZORÓW DOTYCZĄCYCH ZASAD OSZACOWANIA OBCIĄŻEŃ I WYMIAROWANIA OBUDÓW DŁUGOTRWĄLYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH I KOMOROWYCH

W ostatnim okresie zostały wprowadzone do praktyki projektowej dwie normy BN-78/0437-07 i BN-79/0434-04, określające zasady przyjmowania obciążeń i wymiarowania obudów wyrobisk korytarzowych i komorowych nie narażonych na bezpośrednie wpływy eksploatacyjne. W porównaniu do wcześniejszych ustaleń normalizacyjnych zastąpiono w nich reologiczne modele ciśnień górotworu modelami ośrodka sprężysto-plastycznego i sprężysto-plastyczno-sprężanego oraz przyporządkowano poszczególne modele górotworu określonym warunkom geologicznym.

W zakresie wymiarowania obudów wprowadzono metodę stanów granicznych.

Przy założeniu płaskiego stanu odkształcenia, izotropowości i jednorodności ośrodka przeprowadzono analizę stanu naprężeń i odkształceń, jaki wytwarza się wokół wyrobiska zlokalizowanego w górotworze o cechach ośrodka: sprężystego, sprężysto-plastycznego, sprężysto-sprężanego. Na tej podstawie wyznaczono zasięg stref niesprężystych i wyprowadzono zależności opisujące wielkość statycznego i deformacyjnego ciśnienia górotworu.

Mając na uwadze wymagania stawiane obudowie wyrobisk korytarzowych i komorowych przyjęto za miarodajny dla wymiarowania stan nośności granicznej.

Parametry obudowy odrzwiowej określono przyjmując nośność graniczną przekroju mimośrodowo-ściskającego w fazie sztywno-plastycznej ze wzmocnieniem.

Parametry pozostałych obudów określono z warunku wyczerpania nośności na ściskanie powłoki betonowej i skotwionego sklepienia skalnego. W dalszym ciągu pracy przedstawiono podstawy teoretyczne wymienionych wyżej ustaleń normalizacyjnych. Przedmiotowe podstawy wykorzystano do opracowania nowych zasad doboru projektowania i obliczeń statycznych obudów długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych.

2.1. Stan naprężeń

Pierwotny stan naprężeń w górotworze, opisany naprężeniami głównymi p_z, p_x i p_y , ulega zmianie w otoczeniu wydrążonego wyrobiska. Wokół wyrobiska wytwarza się nowy stan naprężeń, który w przypadku krzywoliniowego kształtu przekroju poprzecznego wyrobiska opisać można naprężeniem obwodowym σ_t , radialnym σ_r i naprężeniami stycznymi $\tau_{rt} = \tau_{tr}$,

$$\tau_{\varphi r} = \tau_{r\varphi}$$

Wartości tych naprężeń uzależnione są od kształtu przekroju poprzecznego wyrobiska, od wartości współczynnika parcia bocznego $\lambda = \frac{p_x}{p_z}$ oraz od charakteru ośrodka.

Górotwór jest ciałem anizotropowym, niejednorodnym o nieliniowej zależności $\epsilon = \varphi(\sigma)$, toteż określenie rozkładu naprężeń wokół wyrobiska możliwe jest jedynie przy przyjęciu szeregu założeń upraszczających, a między innymi:

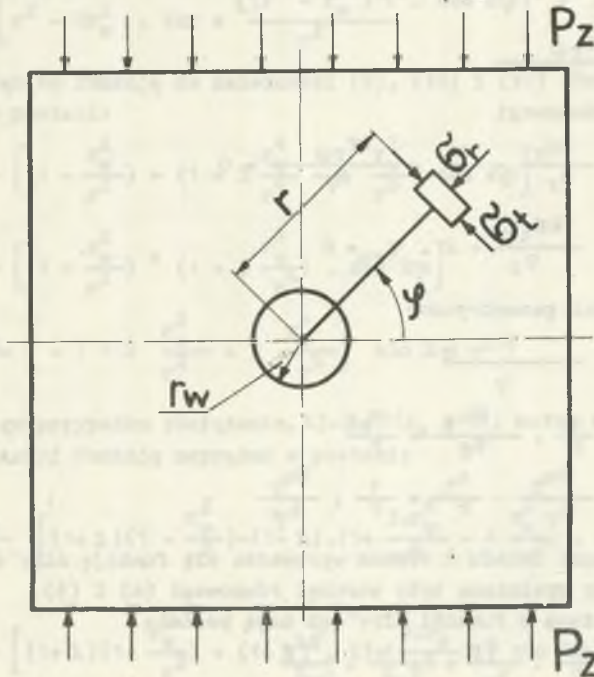
- płaski stan odkształcenia $\epsilon_y = 0$ oraz
- pominięcie sił masowych w tarczy, obciążonej na znajdujących się w nieskończoności krawędziach ciśnieniem górotworu p_z, p_x o wartościach panujących pierwotnie w osi wyrobiska.

Dalsze założenia dotyczą charakterystyki ośrodka. Większość prac w zakresie rozkładu naprężeń wokół wyrobiska dotyczy ośrodka sprężystego, odnośnie do ośrodka sprężysto-plastycznego i sprężysto-sprękanego podawane są rozwiązania tylko najprostszych przypadków.

2.1.1. Ośrodek sprężysty

Przy rozwiązaniu ośrodka sprężystego przyjmowane są dodatkowo następujące założenia:

- izotropowość i jednorodność ośrodka oraz
- liniowo-sprężysta charakterystyka ośrodka $\epsilon = \varphi(\sigma)$.



Rys. 1. Schemat tarczy dla ośrodka sprężystego

Sposób wyznaczania rozkładu naprężeń zależy od kształtu wyrobiska. Dla najprostszego przypadku - wyrobiska kołowego (rys. 1) rozwiązanie uzyskuje się poprzez wprowadzenie funkcji Airy'ego.

2.1.1.1. Wyrobisko kołowe [75]

Wprowadzając przy powyższych założeniach biegunowy układ współrzędnych mamy następujące niewiadome:

- naprężenia: $\sigma_r, \sigma_t, \sigma_y, \tau_{r\varphi}$,
- odkształcenia: $\epsilon_r, \epsilon_t, \gamma_{r\varphi}$,
- przemieszczenia: u_r, u_t .

Do dyspozycji stoją:

- trzy równania elastostatyczne (równanie Hooke'a)

$$\epsilon_r = \frac{1}{E} \left[\sigma_r (1 - \nu^2) - \sigma_t \cdot \nu (1 + \nu) \right] \quad (1)$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{E} \left[\sigma_t (1 - \nu^2) - \sigma_r \cdot \nu (1 + \nu) \right] \quad (2)$$

$$\gamma_{r\varphi} = \frac{\tau_{r\varphi}}{G} \quad (3)$$

- dwa warunki równowagi

$$\frac{\sigma_t - \sigma_r}{r} - \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} - \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial \sigma_t}{\partial \varphi} + r \cdot \frac{\partial \tau_{t\varphi}}{\partial r} + 2 \cdot \tau_{r\varphi} = 0 \quad (5)$$

- trzy zależności geometryczne

$$\epsilon_r = \frac{\partial u_r}{r} \quad (6)$$

$$\epsilon_t = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_t}{\partial \varphi} + \frac{u_r}{r} \quad (7)$$

$$\gamma_{r\varphi} = \frac{\partial u_t}{\partial r} - \frac{u_t}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} \quad (8)$$

Dla rozwiązania układu 8 równań wprowadza się funkcję Airy'ego F do- bieraną tak, aby spełnione były warunki równowagi (4) i (5).

Naprężenia wyrażone w funkcji Airy'ego mają postać:

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} \quad (9)$$

$$\sigma_t = \frac{\partial^2 F}{r^2} \quad (10)$$

$$\tau_{r\varphi} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial F}{\partial \varphi} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial r \cdot \partial \varphi} \quad (11)$$

Podstawiając zależności (9), (10) i (11) do równań elastostatycznych (1), (2) i (3) oraz wprowadzając warunek nierozdzielności odkształceń (z przekształcenia zależności (6), (7) i (8)) otrzymamy równanie różniczkowe w postaci:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right) \left(-\frac{\partial^2 F}{r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2}\right) = 0 \quad (12)$$

Równanie powyższe rozwiązał po raz pierwszy w 1898 r. Kirsch. Dla przypadku obciążenia $p_x = 0$ ($\lambda = 0$) i warunków brzegowych:

$$\begin{aligned} r = r_w & \quad \sigma_r = 0 \\ r = \infty & \quad \sigma_z = P_z \\ & \quad \sigma_x = 0 \end{aligned}$$

uzyskał drogą prób funkcję Airy'ego w postaci:

$$F = \frac{P_z}{4} \left[r^2 - 2r_w^2 \cdot \ln r + \frac{(r^2 - r_w^2)^2}{r^2} \cdot \cos 2\varphi \right] \quad (13)$$

Podstawiając tę funkcję do zależności (9), (10) i (11) otrzymamy funkcje naprężeń w postaci:

$$\sigma_r = \frac{P_z}{2} \left[\left(1 - \frac{r_w^2}{r^2}\right) - \left(1 + 3 \frac{r_w^4}{r^4} - 4 \frac{r_w^2}{r^2}\right) \cos 2\varphi \right] \quad (14)$$

$$\sigma_t = \frac{P_z}{2} \left[\left(1 + \frac{r_w^2}{r^2}\right) + \left(1 + 3 \frac{r_w^4}{r^4}\right) \cdot \cos 2\varphi \right] \quad (15)$$

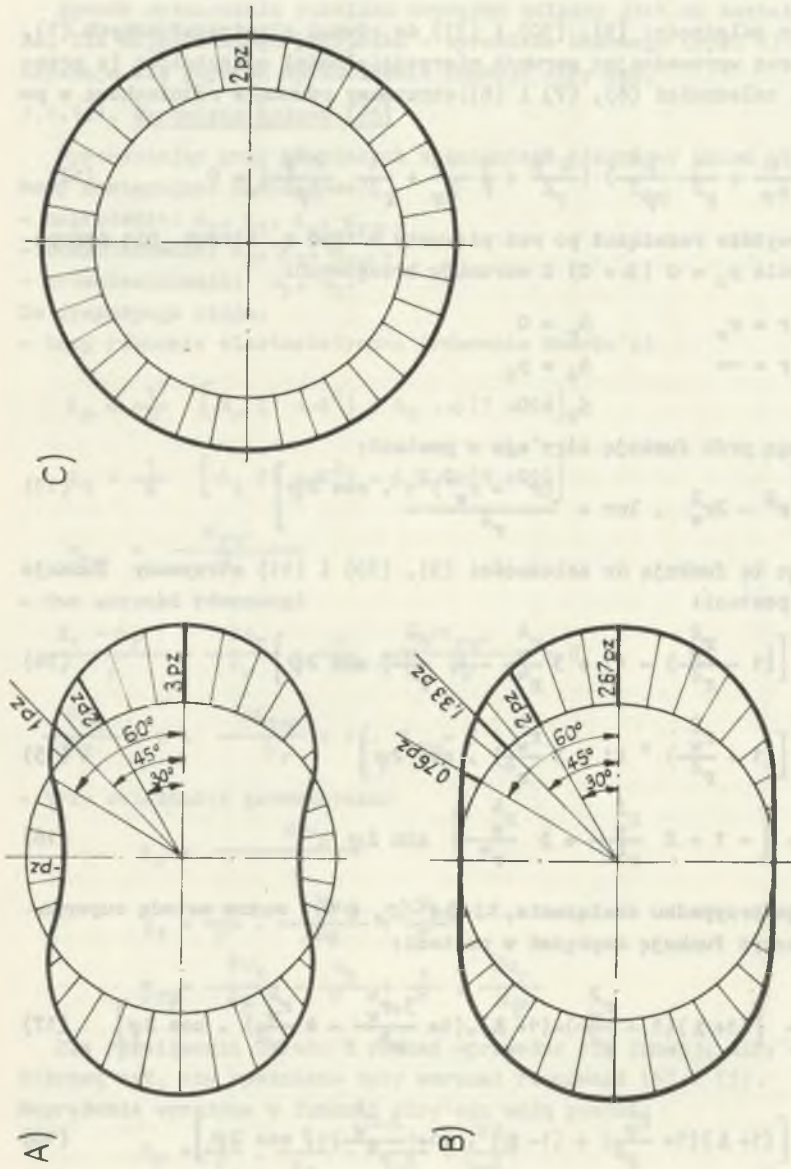
$$\tau_{r\varphi} = \frac{P_z}{2} \left[-1 - 2 \frac{r_w^2}{r^2} + 5 \frac{r_w^4}{r^4} \right] \sin 2\varphi \quad (16)$$

Dla ogólnego przypadku obciążenia, tj. $\lambda \neq 0$ ($p_x \neq 0$), można metodą superpozycji wyznaczyć funkcję naprężeń w postaci:

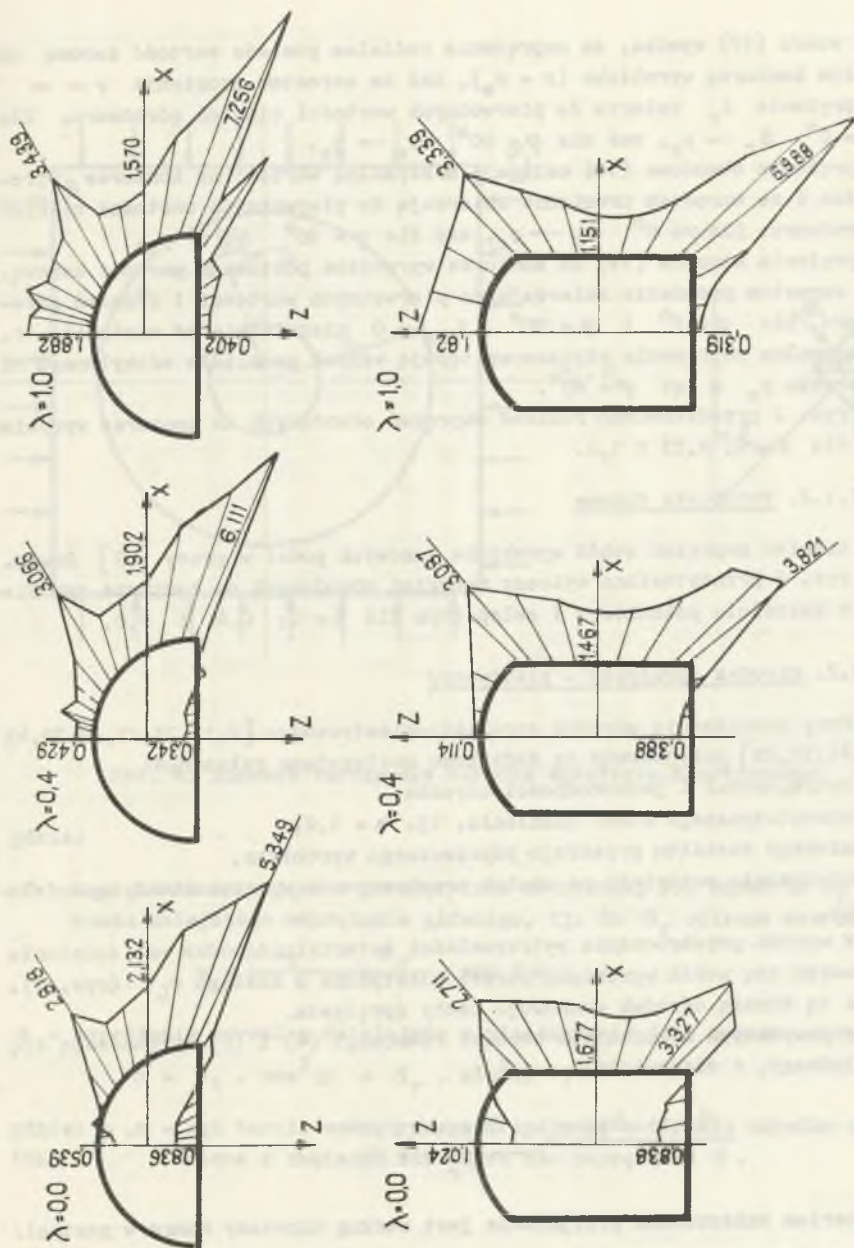
$$\sigma_r = \frac{P_z}{2} \left[(1+\lambda) \left(1 - \frac{r_w^2}{r^2}\right) - (1-\lambda) \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot r_w^4}{r^4} - 4 \frac{r_w^2}{r^2}\right) \cdot \cos 2\varphi \right] \quad (17)$$

$$\sigma_t = \frac{P_z}{2} \left[(1+\lambda) \left(1 + \frac{r_w^2}{r^2}\right) + (1-\lambda) \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot r_w^4}{r^4}\right) \cdot \cos 2\varphi \right] \quad (18)$$

$$\tau_{r\varphi} = \frac{P_z}{2} \left[(1-\lambda) \cdot \left(-1 - 2 \frac{r_w^2}{r^2} + \frac{3 \cdot r_w^4}{r^4}\right) \cdot \sin 2\varphi \right] \quad (19)$$



Rys.2. Rozkład naprężeń obwodowych na konturze
a) przy $\lambda = 0$, b) przy $\lambda = 0,33$ c) przy $\lambda = 1,0$



Rys. 3. Rozkład naprężeń obwodowych na konturze wyrobisk o kształcie półkołowym i sklepieniowym.

Ze wzoru (17) wynika, że naprężenie radialne posiada wartość zerową na całym konturze wyrobiska ($r = r_w$), zaś ze wzrostem promienia $r \rightarrow \infty$ naprężenie σ_r zmierza do pierwotnych wartości ciśnień górotworu. Dla $\varphi = 0^\circ$ $\sigma_r \rightarrow p_x$, zaś dla $\varphi = 90^\circ$ $\sigma_r \rightarrow p_z$.

Naprężenia obwodowe (18) osiągają maksymalną wartość na konturze wyrobiska i ze wzrostem promienia zmierzają do pierwotnych wartości ciśnień górotworu. Dla $\varphi = 0^\circ$ $\sigma_t \rightarrow p_z$, zaś dla $\varphi = 90^\circ$ $\sigma_t \rightarrow p_x$.

Naprężenia styczne (19) na konturze wyrobiska posiadają wartość zerową. Ze wzrostem promienia zmierzają do pierwotnych wartości i ciśnień górotworu. Dla $\varphi = 0^\circ$ i $\varphi = 90^\circ$ $\tau_{r\varphi} = 0$ niezależnie od wartości r . Maksymalne naprężenia styczne występują wzdłuż promienia odchylonego od kierunku p_x o kąt $\varphi = 45^\circ$.

Na rys. 2 przedstawiono rozkład naprężeń obwodowych na konturze wyrobiska dla $\lambda = 0; 0,33$ i $1,0$.

2.1.1.2. Wyrobisko łukowe

Rozkład naprężeń wokół wyrobiska łukowych podał w pracy [89] Sawin. Na rys. 3 przedstawiono wykresy naprężeń obwodowych na konturze wyrobiska o kształcie półkołowym i sklepionym dla $\lambda = 0; 0,4$ i $1,0$.

2.1.2. Ośrodek sprężysto - plastyczny

Przy rozwiązaniu ośrodka sprężysto-plastycznego [7,17,25,27,28,38,45,46,47,72,85] przyjmowane są dodatkowo następujące założenia:

- izotropowości i jednorodności ośrodka,
- hydrostatycznego stanu ciśnienia, tj. $\lambda = 1,0$,
- kołowego kształtu przekroju poprzecznego wyrobiska,
- zniszczenia materiału na skutek przekroczenia wytrzymałości na ściskanie.

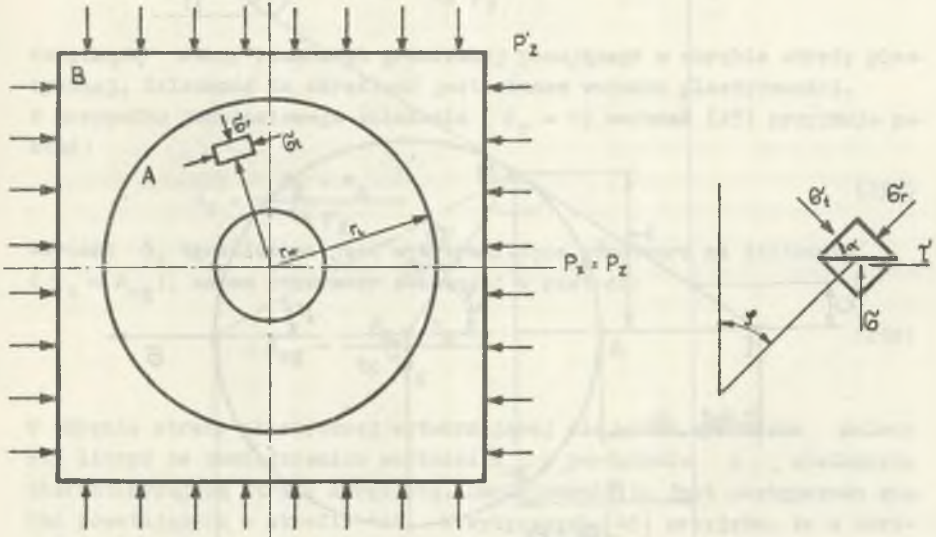
W wyniku przekroczenia wytrzymałości materiału ośrodka na ściskanie wytwarza się wokół wyrobiska strefa plastyczna o zasięgu r_L (rys. 4). Poza tą strefą ośrodek zachowuje cechy sprężyste.

Przy powyższych założeniach warunki równowagi (4) i (5) sprowadzają się do jednego, a mianowicie:

$$\frac{\sigma_t - \sigma_r}{r} - \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = 0 \quad (20)$$

Kryterium zniszczenia przyjmowane jest według hipotezy Mohra w postaci:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho + c \quad (21)$$



Rys. 4. Schemat tarczy dla ośrodka sprężysto-plastycznego

gdzie:

τ - naprężenie ścinające w płaszczyźnie nachylonej pod kątem α do kierunku mniejszego naprężenia głównego, tj. do σ_r opisane wzorem:

$$\tau = \frac{\sigma_t - \sigma_r}{2} \cdot \sin 2\alpha \quad (22)$$

σ - naprężenie normalne działające w płaszczyźnie jw., opisane wzorem:

$$\sigma = \sigma_t \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_r \cdot \sin^2 \alpha \quad (23)$$

gdzie: ρ, c - kąt tarcia wewnętrznego i spójność materiału ośrodka określone z obwiedni kół Mohra dla naprężenia σ .

otrzymamy zależność w postaci:

$$\sigma_t = \sigma_r (1 + \beta_g) + \frac{\beta_g \cdot c_g}{\operatorname{tg} \rho_g}, \quad (25)$$

dotyczącą stanu równowagi granicznej panującego w obrębie strefy plastycznej. Zależność ta określona jest mianem warunku plastyczności.

W przypadku jednoosiowego ściskania ($\sigma_r = 0$) warunek (25) przyjmuje postać:

$$\sigma_t = \frac{\beta_g \cdot c_g}{\operatorname{tg} \rho_g} \quad (25a)$$

Wartość σ_t ograniczona jest wytrzymałością górotworu na ściskanie ($\sigma_t \leq R_{cg}$), zatem otrzymamy zależność w postaci:

$$R_{cg} = \frac{\beta_g \cdot c_g}{\operatorname{tg} \rho_g} \quad (25b)$$

W obrębie strefy plastycznej wytwarzającej się wokół wyrobiska należy się liczyć ze zmniejszeniem wartości R_{cg} w porównaniu z wielkością charakteryzującą strefę sprężystą. Zmniejszenie to jest następstwem spekań powstających w strefie "A". W wytycznych [45] przyjęto, że w obrębie strefy plastycznej wytrzymałość górotworu wynosi:

$$R'_{cg} = 0,5 R_{cg} \quad (25c)$$

Zatem warunek równowagi granicznej dla górotworu w obrębie strefy plastycznej ma postać:

$$\sigma_t = \sigma_r (1 + \beta_g) + R'_{cg} \quad (25d)$$

Podstawiając (25) do (20) otrzymamy równanie różniczkowe:

$$\frac{d \sigma_r}{d r} = \frac{\sigma_r (1 + \beta_g) - \sigma_r}{r} - \frac{\beta_g \cdot c_g}{r \cdot \operatorname{tg} \rho_g} = 0, \quad (26)$$

którego rozwiązanie opisane jest przy przyjęciu warunku brzegowego $r=r_w$ $\sigma_r = p_a$ funkcją:

$$\sigma_r^A = \left(\frac{r}{r_w} \right)^{\beta_g} \cdot \left(p_a + \frac{c_g}{\operatorname{tg} \rho_g} \right) - \frac{c_g}{\operatorname{tg} \rho_g} \quad (27)$$

Podstawiając (27) do (25) otrzymamy równanie naprężeń obwodowych w obrębie strefy plastycznej w postaci:

$$\sigma_t^A = \left(\frac{r}{r_w} \right)^{\beta_g} \cdot (1 + \beta_g) \left(p_a + \frac{c_g}{\operatorname{tg} \rho_g} \right) - \frac{c_g}{\operatorname{tg} \rho_g} \quad (28)$$

Podstawiając (25b) i (25c) otrzymamy:

$$\sigma_r^A = p_a \cdot \left(\frac{r}{r_w}\right)^{\beta_g} - \frac{R'_{CG}}{\beta_g} \left[1 - \left(\frac{r}{r_w}\right)^{\beta_g}\right] \quad (27a)$$

$$\sigma_t^A = p_a (1 + \beta_g) \cdot \left(\frac{r}{r_w}\right)^{\beta_g} - \frac{R'_{CG}}{\beta_g} \left[1 - \left(\frac{r}{r_w}\right)^{\beta_g} \cdot (1 + \beta_g)\right] \quad (28a)$$

Naprężenia w obrębie strefy sprężystej można wyznaczyć na podstawie analizy stanu naprężeń w tarczy z otworem o promieniu r_L , obciążonej na konturze ciśnieniem radialnym p_g , zaś na krawędziach znajdujących się w nieskończoności ciśnieniem pierwotnym p_z , $p_x = p_z$.

Według [75], [1] otrzymamy:

$$\sigma_r^B = p_z \left(1 - \frac{r_L^2}{r^2}\right) + p_g \cdot \frac{r_L^2}{r^2}, \quad (29)$$

$$\sigma_t^B = p_z \left(1 + \frac{r_L^2}{r^2}\right) - p_g \cdot \frac{r_L^2}{r^2}, \quad (30)$$

gdzie:

p_g - naprężenie radialne, panujące na granicy strefy sprężystej i plastycznej, równoważne naprężeniu radialnemu, poniżej którego następuje ścięcie górotworu.

Dla $r = r_L$ otrzymamy ze wzorów (29) i (30):

$$\sigma_r^B = p_g \quad (31)$$

$$\sigma_t^B = 2 p_z - p_g \quad (32)$$

Podstawiając powyższe wartości do warunku plastyczności (25) otrzymamy:

$$p_g = \frac{2 p_z - \frac{\beta_g \cdot c_g}{t_g \varphi_E}}{2 + \beta_g} \quad (33)$$

Podstawiając (25b) otrzymamy:

$$p_g = \frac{2 \cdot p_z - R_{CG}}{2 + \beta_g} \quad (33a)$$

Zasięg strefy plastycznej wyznaczyć można z warunku brzegowego.

Gdy

$$r = r_L$$

to

$$\sigma_r^A = \sigma_r^B \quad (34)$$

Podstawiając do (34) zależność (27a), (29), (34) i (33a) otrzymamy:

$$\sigma_L = r_w \frac{2 \cdot p_z - R_{cg} + R'_{cg} \left(\frac{2}{\beta_g} + 1 \right) \frac{1}{\beta_g}}{(2 + \beta_g) \cdot (p_a + \frac{R'_{cg}}{\beta_g})} \quad (35)$$

Na rys. 6a przedstawiono wykresy naprężeń radialnych i obwodowych powstających wokół wyrobiska kołowego w ośrodku sprężysto-plastycznym. Dla celów porównawczych naniesiono również analogiczne rozkłady naprężeń wyznaczone dla ośrodka sprężystego.

Jak wynika z rys. 6a naprężenia σ_r^A i σ_t^A osiągają wartości maksymalne na granicy strefy plastycznej i sprężystej. Wówczas

$$\sigma_r^A = p_g$$

$$\sigma_t^A = p_g (1 + \beta_g) + R_{cg} \quad (36)$$

Podstawiając do (23) zależności (36) i (33a) oraz przyjmując według rys. 5 wartości $\alpha = 45^\circ - \frac{p_g}{2}$ otrzymamy wzór, opisujący maksymalne naprężenie normalne w płaszczyźnie zniszczeniowej:

$$\sigma_{max} = \frac{2p_z - R_{cg}}{2 + \beta_g} \left[1 + \beta_g \cdot \cos^2 \left(45^\circ - \frac{p_g}{2} \right) \right] + R'_{cg} \cos^2 \left(45^\circ - \frac{p_g}{2} \right) \quad (37)$$

2.1.3. Ośrodek sprężysto-spekany

Przy rozwiązaniu ośrodka sprężysto-spekaneego [25,27,30,44,75] przyjmuje się w odróżnieniu do analizy ośrodka sprężysto-plastycznego, że wokół wyrobiska wytwarza się strefa spekań, w obrębie której górotwór traci spójność $c = R'_{cg} = 0$, zaś wartość kąta tarcia wewnętrznego ulega zmniejszeniu w porównaniu z wartością charakteryzującą górotwór w ośrodku sprężystym.

Tym razem warunek równowagi granicznej (25) dla górotworu w obrębie strefy spekań przyjmuje postać:

$$\sigma_t = \sigma_r (1 + \beta_g), \quad (38)$$

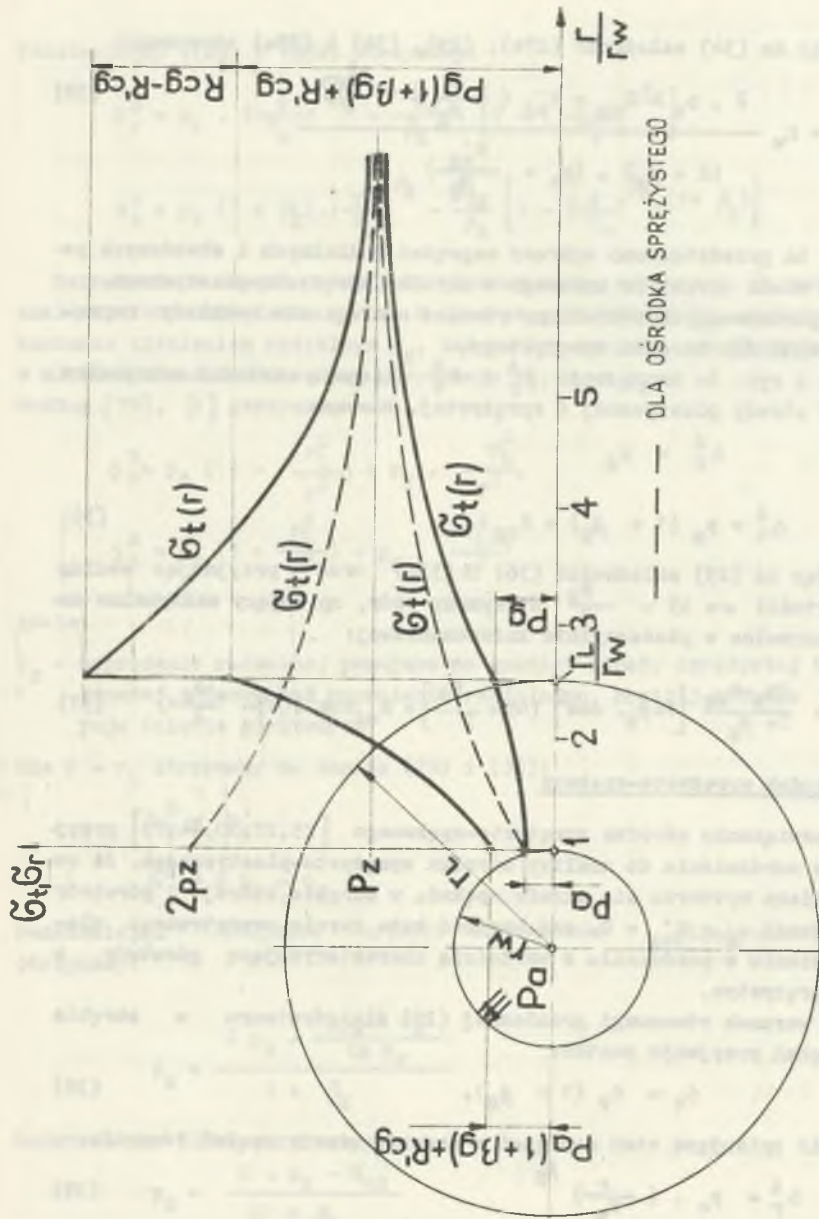
a zależność opisującą stan naprężeń w obrębie strefy spekań równania:

$$\sigma_r^A = p_a \cdot \left(\frac{r}{r_w} \right)^{\beta_g} \quad (39)$$

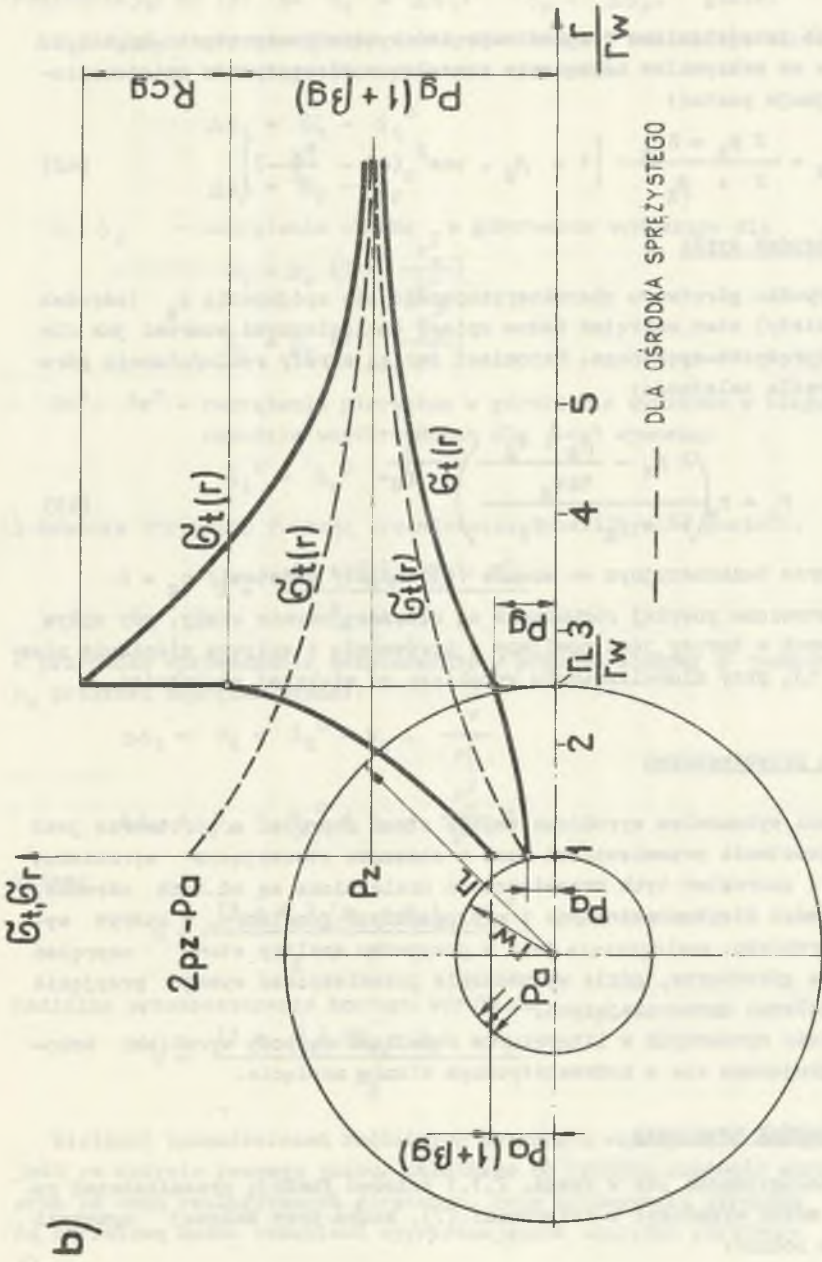
$$\sigma_t^A = p_a \cdot (1 + \beta_g) \cdot \left(\frac{r}{r_w} \right)^{\beta_g} \quad (40)$$

$$r_L = r_w \cdot \left(\frac{2 p_a - R_{cg}}{(2 + \beta_g) \cdot p_a} \right)^{\frac{1}{\beta_g}} \quad (41)$$

a)



Rys. 6. Rozkład naprężeń obwodowych wokół wyrobiska kołowego a) w ośrodku sprężysto-plastycznym



Rys. 6. Rozkład naprężeń obwodowych wokół wyrobiska kołowego
 b) w ośrodku sprężysto-spekany

Na rys. 6b przedstawiono rozkład naprężeń w ośrodku sprężysto-spekąnym. Wyrażenie na maksymalne naprężenie normalne w płaszczyźnie zniszczeniowej przyjmuje postać:

$$\sigma_{\max} = \frac{2 p_z - R_{CG}}{2 + \beta_g} \left[1 + \beta_g \cdot \cos^2 \left(45 - \frac{\rho_g}{2} \right) \right] \quad (42)$$

2.1.4. Ośrodek sypki

W przypadku górotworu charakteryzującego się spójnością c_g (ośrodek sypko-spoisty) stan naprężeń można opisać analogicznymi wzorami jak dla ośrodka sprężysto-spekąnego. Natomiast zasięg strefy rozluźnionego górotworu określa zależność:

$$r_L = r_w \left(\frac{2 p_z - \frac{\beta'_g \cdot c_g}{\tan \varphi_g}}{(2 + \beta_g) \cdot p_a} \right) \frac{1}{\beta_g} \quad (43)$$

W górotworze bezkohezyjnym we wzorze (43) należy podstawić $c_g = 0$.

Przedstawione powyżej rozważania są słuszne jedynie wtedy, gdy wpływ sił masowych w tarczy jest pomijany w porównaniu z wpływem ciśnienia pierwotnego, tj, przy zlokalizowaniu wyrobiska na większej głębokości,

2.2. Stan przemieszczeń

Wywołana wykonaniem wyrobiska zmiana stanu naprężeń w górotworze jest powodem powstania przemieszczeń skał w obszarze otaczającym wyrobisko. Wielkość i charakter tych przemieszczeń uzależnione są od cech ośrodka, tj. własności fizykochemicznych i reologicznych górotworu, w którym wykonano wyrobisko. Analogicznie jest w przypadku analizy stanu naprężeń wtórnych w górotworze, gdzie wyznaczenie przemieszczeń wymaga przyjęcia szeregu założeń upraszczających.

Większość cytowanych w literaturze rozwiązań dotyczy wyrobiska kołowego znajdującego się w hydrostatycznym stanie napięcia.

2.2.1. Ośrodek sprężysty

Dla analogicznych jak w rozdz. 2.1.1 założeń funkcję przemieszczeń radialnych można wyznaczyć z zależności (7), która przy kołowej symetrii przyjmuje postać:

$$\epsilon_t = \frac{u}{r} \quad (44)$$

Podstawiając do (2) za $\sigma_t = \Delta\sigma_t$, $\sigma_r = \Delta\sigma_r$, gdzie:

$\Delta\sigma_t$, $\Delta\sigma_r$ - przyrosty naprężenia obwodowego i radialnego zaistniałe w następstwie wykonania wyrobiska

$$\Delta\sigma_t = \sigma_t - \sigma_t^0 \quad (45)$$

$$\Delta\sigma_r = \sigma_r - \sigma_r^0$$

σ_t , σ_r - naprężenia wtórne w górotworze wynoszące dla $\lambda = 1$

$$\sigma_t = p_z \left(1 + \frac{r_w^2}{r^2}\right) \quad (46)$$

$$\sigma_r = p_z \left(1 - \frac{r_w^2}{r^2}\right)$$

σ_t^0 , σ_r^0 - naprężenia pierwotne w górotworze wyrażone w biegunowym układzie współrzędnych dla $\lambda = 1$ wynoszące:

$$\sigma_t^0 = \sigma_r^0 = p_z \quad (47)$$

i wówczas otrzymamy funkcję przemieszczeń radialnych w postaci:

$$u = \frac{(1 + \nu_g) \cdot p_z \cdot r_w^2}{E_g \cdot r} \quad (48)$$

W przypadku wprowadzenia bezpośrednio w przodku obudowy o podporności p_a przyrost naprężeń wynosi:

$$\Delta\sigma_t = \sigma_t - \sigma_t^0 - p_a \cdot \frac{r_w^2}{r^2} \quad (49)$$

$$\Delta\sigma_r = \sigma_r - \sigma_r^0 + p_a \cdot \frac{r_w^2}{r^2}$$

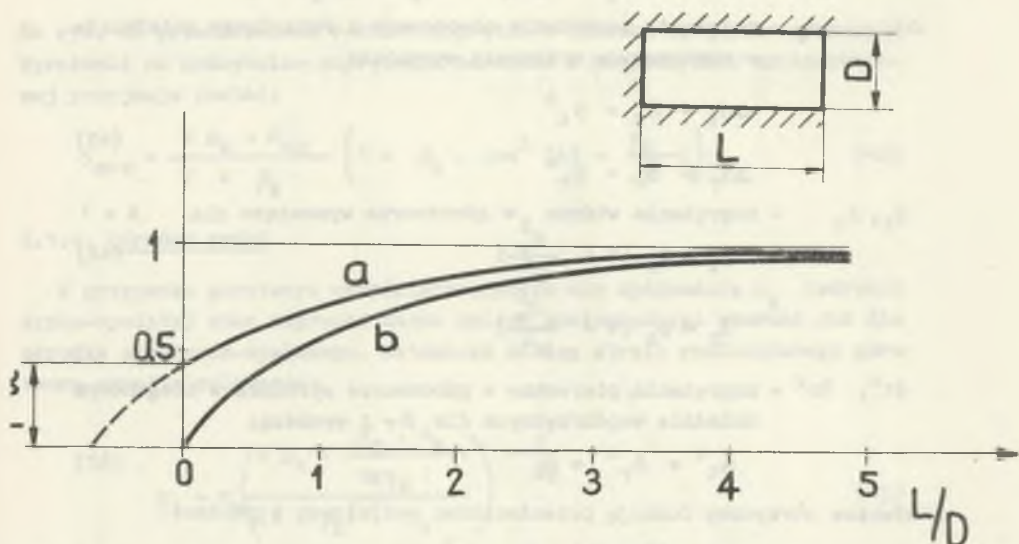
zatem:

$$u = \frac{(1 + \nu_g) \cdot (p_z - p_a) \cdot r_w^2}{E_g \cdot r} \quad (50)$$

Radialne przemieszczenia konturu wyrobiska

$$u = \frac{(1 + \nu_g) (p_z - p_a) \cdot r_w}{E_g} \quad (51)$$

Wielkość przemieszczeń radialnych opisanych wzorem (51) osiągnięta jest po upływie pewnego czasu, zależnego od sposobu drążenia wyrobiska oraz od cech reologicznych górotworu. Przy wykonywaniu wyrobisk metodą strzałową można oczekiwać wyprzedzających odprężeń górotworu (rys. 7).



Rys. 7. Zależność radialnego przemieszczenia konturu wyrobiska od odległości od czoła przodku
 a) przy konwencjonalnym drążeniu
 b) przy kombajnowym drążeniu

2.2.2. Ośrodek sprężysto-plastyczny [27]

Przyjmując w porównaniu z ośrodkiem sprężystym dodatkowo warunek nieściśliwości górotworu w obrębie strefy plastycznej, tj.:

$$\epsilon_r + \epsilon_t + \epsilon_y = 0 \quad (52)$$

z uwagi na analizę płaskiego stanu odkształcenia, tj.

$$\epsilon_y = 0$$

dla kołowej symetrii otrzymamy zależność:

$$\epsilon_r = \frac{du}{dr} \quad (53)$$

Obliczając pochodną funkcji (44)

$$\frac{d \epsilon_t}{dr} = \left(\frac{du}{dr} \cdot r - 1 \cdot u \right) \cdot \frac{1}{r^2} \quad (54)$$

i podstawiając (53) i (44) otrzymamy warunek nierozdzielności odkształceń dla strefy plastycznej:

$$\frac{d \epsilon_t}{dr} = \frac{\epsilon_r - \epsilon_t}{r} \quad (55)$$

Podstawiając (52) do (55) otrzymamy równanie różniczkowe w postaci:

$$\frac{d \epsilon_t}{d r} = - \frac{2 \cdot \epsilon_t}{r},$$

$$\frac{d \epsilon_t}{\epsilon_t} = \frac{2 \cdot d r}{r}, \quad (56)$$

którego rozwiązaniem jest funkcja

$$\ln \epsilon_t = - 2 \ln r + \ln C, \quad \ln \epsilon_t = \ln \frac{C}{r^2}$$

$$\epsilon_t = \frac{C}{r^2} \quad (57)$$

Zatem przemieszczenia radialne w obrębie strefy plastycznej (A) opisane są zależnością

$$u^A = \frac{C}{r} \quad (58)$$

Przemieszczenia radialne w strefie sprężystej można opisać wzorem:

$$u^B = \frac{(1 + \nu_g)(p_z - p_g) \cdot r_L^2}{E_g \cdot r} \quad (59)$$

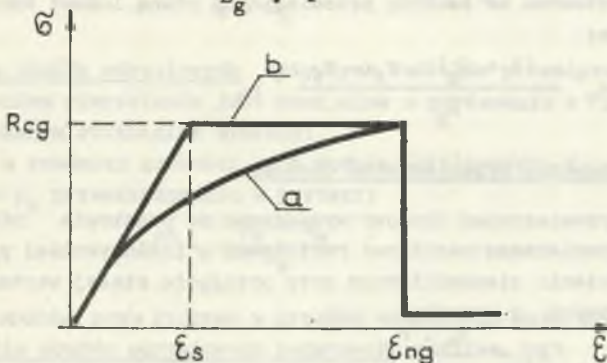
Z warunku brzegowego

$$r = r_L$$

$$u^A = u^B$$

otrzymamy

$$u^A = \frac{(1 + \nu_g)(p_z - p_g) \cdot r_L^2}{E_g \cdot r} \quad (60)$$



Rys. 8. Diagram $\tau - \epsilon$ dla górotworu
 a) krzywa rzeczywista
 b) krzywa wyidealizowana

Diagram $\sigma - \epsilon$ dla górotworu ma postać przedstawioną na rys. 8. W momencie gdy odkształcenia obwodowe ϵ_t przekroczą wartość granicznego odkształcenia górotworu przy ściskaniu ϵ_{ng} wokół wyrobiska wytwarza się strefa spękań, w obrębie której spójność i wytrzymałość górotworu spada do zera.

Największe odkształcenia obwodowe występują na konturze wyrobiska, (stąd warunek ograniczający stosowanie modelu ośrodka sprężysto-plastycznego) i przyjmuje postać:

$$u = \frac{(1 + \nu_g) (p_z - p_g) \cdot r_L}{E_g \cdot r_w} \leq r_w \cdot \epsilon_{ng} \quad (61)$$

Przy projektowaniu obudów nieznaną jest wartość oddziaływania obudowy na górotwór p_a konieczna dla określenia r_L . W związku z powyższym wielkość przemieszczenia konturu wyrobiska wyznaczona jest z warunku nierozdzielności przemieszczeń [27], tj.:

$$u^w = u_w^o + u^{ob} \quad (62)$$

2.2.2.1. Oszacowanie wartości przemieszczenia górotworu

Przyjęto, że końcową wartość przemieszczenia sprężyste osiągną przed zaistniałym oddziaływaniem obudowy. Dla obudów powłokowych, w których bezpośrednio po odsłonięciu wyrobiska nanosi się beton natryskowy, można zatem przyjąć:

$$u_w^o = \frac{(1 + \nu_g) \cdot p_z \cdot r_w}{E_g} \quad (63)$$

Dla obudów łukowych podatnych i sztywnych, obetonowanych poza przodkiem górotwór od momentu postawienia obudowy do powstania konturu pomiędzy obudową a górotworem ma swobodę przemieszczeń równą luzowi konstrukcyjnemu L_k , zatem:

$$u_w^o = \frac{(1 + \nu_g) \cdot p_z \cdot r_w}{E_g} + L_k \quad (64)$$

2.2.2.2. Oszacowanie przemieszczeń obudowy

Wielkość przemieszczeń obudowy wyznaczono na podstawie pierścienia poddanego równomiernemu naciskowi radialnemu o intensywności p_a . Naprężenia w pierścieniu cienkościnnym przy przyjęciu stałej wartości σ_t przy jego grubości g wynoszą:

$$\sigma_t = \frac{p_a \cdot r_o}{g}, \quad (65)$$

a odkształcenie obwodowe określone z równania elastostaticznego dla jednoosiowego ściskania osiąga wartość:

$$\varepsilon_t = \frac{p_a \cdot r_o}{g \cdot E_o} \quad (66)$$

E_o - moduł sprężystości obudowy,
przy czym przemieszczenie radialne obudowy osiąga wielkość:

$$u^{ob} = \varepsilon_t \cdot r_o = \frac{p_a \cdot r_o^2}{g \cdot E_o} \quad (67)$$

a) Dla obudów powłokowych, w których beton natryskowy wykonywany jest bezpośrednio w przodku, przyjęto z uwagi na narastanie modułu sprężystości od zera do E_{bo} , że

$$E_o = \frac{E_{bo}}{2} \quad (68)$$

Z przeprowadzonych pomiarów przemieszczeń górotworu [17,27,83] wynika, że stan równowagi w górotworze otaczającym wyrobisko ustala się po upływie kilku dni od naniesienia betonu natryskowego. Zatem przyjęto jako E_{bo} moduł sprężystości betonu w wieku $t = 7$ dni. Pomiędzy wartościami E_{bo} a E_b zachodzi w przybliżeniu reakcja

$$E_{bo} = 0,5 \cdot E_b \quad (68a)$$

W obudowach powłokowych zachodzący skurcz betonu powoduje dodatkowe przemieszczenia radialne

$$u_s = \varepsilon_s \cdot r_o, \quad (69)$$

zatem przemieszczenia radialne obudowy wynoszą:

$$u^{ob} = \frac{4 \cdot p_a \cdot r_o^2}{g \cdot E_b} + \varepsilon_s \cdot r_o \quad (70)$$

b) Dla obudów odrzwiowych sztywnych radialne przemieszczenie wywołane ścisaniem pierścienia jest pomijalne w porównaniu z przemieszczeniem wywołanym ścisaniem wykładki.

Wykładka o średniej grubości g_w i module ściśliwości E_w doznaje pod naciskiem p_a przemieszczenia w postaci:

$$u^{ob} = \frac{p_a \cdot g_w}{E_w} \quad (71)$$

c) Dla obudów, przy których w przodku wykonywana jest obudowa kotwio-wa oraz dla obudów odrzwiowych podatnych możliwe jest bezpośrednie określenie radialnego przemieszczenia konturu wyrobiska ze wzoru (61).

Jak wykazały badania dołowe [90], kotwie spoiwowe pracują w stadium plastycznym [17,40], zatem ich podporność aktywna wynosi:

$$P_a = \frac{\pi \cdot d_k^2 \cdot R_a}{4 \cdot s \cdot d} \quad (72)$$

W tym przypadku zasięg strefy plastycznej określony jest ze wzoru (35).

Badania laboratoryjne obudowy odrzwiowej z łuków podatnych [9, 92] wykazały "plastyczną" charakterystykę pracy odrzwi, będącą następstwem zsuwu zamka po przekroczeniu jego nośności.

Stan równowagi ustala się w momencie zrównania nośności zamka z wartością radialnie działającego ciśnienia deformacyjnego, a zatem

$$P_a = \frac{N_z}{r_o \cdot d} \quad (72a)$$

Siła powodująca zsuw w zamku N_z zależy od konstrukcji profilu odrzwi i strzemion.

W oparciu o badania stanowiskowe obudowy odrzwiowej, przeprowadzone przez OBR-BG [53] oraz GIG [91], proponuje się przyjęcie następujących wartości N_z :

- dla obudowy z profilu KSKO-21 $N_z = 100 \text{ kN}$
- dla obudowy z profilu V-26 $N_z = 150 \text{ kN}$
- dla obudowy z profilu V-29, V-36 $N_z = 200 \text{ kN}$

2.2.3. Ośrodek sprężysto-spekany

Przy przyjęciu warunku nieściśliwości przemieszczenia ośrodka sprężysto-spekane są analogiczne jak w ośrodku sprężysto-plastycznym. W wielu pracach [30,75] przyjmowana jest hipoteza spękania górotworu w obrębie strefy spekanej.

2.3. Obciążenia obudowy

Przytoczone poniżej wzory na ciśnienie górotworu dla ośrodka sprężysto-plastycznego, sprężysto-spekane i sypkiego wyprowadzone zostały przy przyjęciu założeń podanych w rozdziałach 2.1 i 2.2. W ośrodkach tych na obudowę działa ciśnienie deformacyjne, będące wynikiem ograniczenia przez obudowę swobody przemieszczeń górotworu lub ciśnienie statyczne od ciężaru skał zawartych w strefach niesprężystych.

2.3.1. Ośrodek sprężysto-plastyczny

W przypadku znanej wartości zasięgu strefy plastycznej r_L można wyznaczyć z warunku brzegowego

$$r = r_L \quad (73)$$

$$\sigma_r^A = \sigma_r^B \quad (73)$$

wartość deformacyjnego ciśnienia górotworu na obudowę.

Podstawiając do (73) wartość σ_r^A , określoną ze wzoru (27a) i przyjmując,

$\sigma_r^B = p_g$ określoną ze wzoru (29), otrzymamy:

$$p_a \cdot \left(\frac{r_L}{r_w} \right)^{\beta_g} - \frac{R'_{CG}}{\beta_g} \left[1 - \left(\frac{r_L}{r_w} \right)^{\beta_g} \right] = p_g \quad (74)$$

stąd:

$$q_{z1} = p_a = p_g \cdot \left(\frac{r_w}{r_L} \right)^{\beta_g} - \frac{R'_{CG}}{\beta_g} \left[1 - \left(\frac{r_w}{r_L} \right)^{\beta_g} \right] \quad (75)$$

Obudowa musi być zdolna do przeniesienia ciśnienia statycznego równego ciężarowi słupa skalnego o wysokości $r_L - r_w$. W przeciwnym razie istnieje niebezpieczeństwo przemieszczenia się mas skalnych, zawartych w stropowej części strefy spękań do wyrobiska i wyeliminowania naprężeń p_g , zapewniających równowagę strefy sprężystej. Następuje wówczas zaciśnięcie wyrobiska. Wartość ciśnienia statycznego, na które należy projektować obudowę, wynosi:

$$q_{z2} = 0,001 \cdot \gamma_0 (r_L - r_w) \quad (76)$$

Zasięg strefy plastycznej r_L można wyznaczyć z zależności (61):

$$r_L = \sqrt{\frac{u \cdot r_w \cdot E_g}{(1 + \nu_g) \cdot (p_z - p_g)}} \quad (77)$$

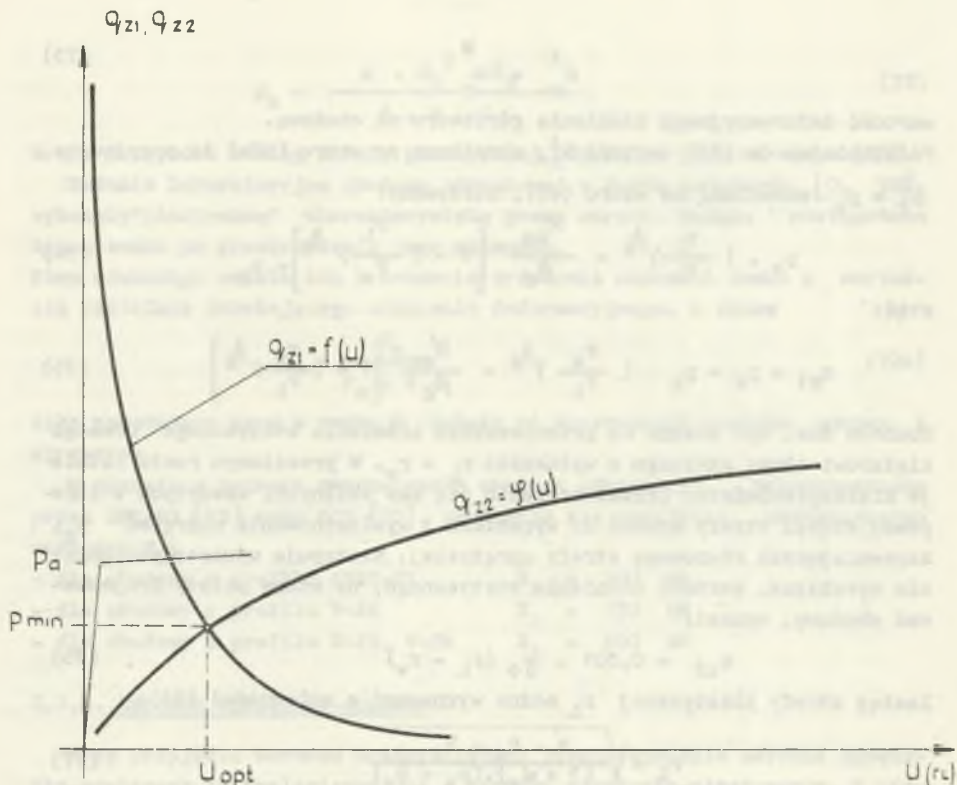
przy przyjęciu przemieszczenia radialnego u z warunku (62).

W obudowach, w których bezpośrednio w przodku zabudowana jest obudowa kotwiova lub obudowa odrzwiowa podatna, wartość ciśnienia deformacyjnego jest równa podporności aktywnej, opisanej wzorami (72) i (72a), zaś zasięg strefy plastycznej, wchodzącej do wzoru na ciśnienie statyczne określa wzór (35).

Zarówno ciśnienie deformacyjne, jak i ciśnienie statyczne jest funkcją r_L uzależnioną od wartości u (77).

Na rys. 9 przedstawiono $q_{z1} = f(u)$ i $q_{z2} = \varphi(u)$. Z przedstawionych zależności wynika, że ze wzrostem u (r_L) maleje wartość ciśnienia deformacyjnego q_{z1} , wzrasta natomiast wartość ciśnienia statycznego q_{z2} . Punkt przecięcia krzywych określa minimalny nacisk na obudowę i odpowiadające mu optymalne przemieszczenie konturu wyrobiska. W przypadku obudowy kotwiovej, w której po bardzo małych przemieszczeniach konturu wyrobiska żerdzie kotwiove przechodzą w stan plastyczny, jak również w przypadku obudowy odrzwiowej podatnej ciśnienie deformacyjne równe jest podporności aktywnej obudowy kotwiovej:

$$q_{z1} = p_a$$



Rys. 9. Zależność ciśnienia deformacyjnego i statycznego od przemieszczenia konturu wyrobiska

2.3.2. Ośrodek sprężysto-spekany

Odpowiednie zależności otrzymuje się wprowadzając do wzorów podanych w rozdz. 2.3.1. $R'_{cg} = 0$. Wartość naprężenia radialnego na granicy stref p_g określa wzór (33).

2.3.3. Ośrodek sypki

Z uwagi na małą, w porównaniu z górotworem zwięzłym, wrażliwość ośrodka na przemieszczenia obudowy przyjęto, że nastąpi zrównanie wartości ciśnienia deformacyjnego i statycznego

$$q_{z1} = q_{z2} = p_a$$

Tym samym wartość ciśnienia górotworu można wyznaczyć z zależności (76) po podstawieniu (35) i przy przyjęciu $R'_{cg} = 0$, wówczas:

$$q_{z1} = 0,001 \cdot \gamma_0 \cdot r_w \cdot \left[\frac{2 \cdot p_z - (\beta_g \cdot c_g \cdot \text{ctg } \rho_g)}{(2 + \beta_g) \cdot q_{z1}} \right]^{\frac{1}{\beta_g - 1}} \quad (78)$$

2.4. Zasady wymiarowania obudów

2.4.1. Obudowa łukowa LP

Przeprowadzone badania stanowiskowe [9,12,15,17,31,55,71,91] wykazały możliwość przyjęcia wzoru Schaefera jako podstawę wymiarowania obudów odrzwiowych. Dodatkowo uwzględniono wpływ sił osiowych zapisując stan graniczny nośności w postaci:

$$m_1 \left(\frac{N_{\text{odp}} \cdot m_v}{A} + \frac{M}{W_x} \right) \frac{d}{100} < R_a (m + n_1) \quad (79)$$

Współczynnik wyboeczeniowy m_v przyjmowany jest według PN-76/B-03200 w zależności od stosunku $\frac{\lambda}{\lambda_p}$ w postaci:

$$\lambda_p = \frac{5250}{\sqrt{R_m}} \quad (80)$$

Smukłość określona jest wzorem:

$$\lambda = \alpha \cdot \frac{h}{L} \quad (81)$$

Współczynnik α , zależny od stosunku $\frac{f}{L}$ oraz od rodzaju więzów podporowych jest podany w załączniku do PN-62/B-03200.

Współczynnik Schaefera m przyjęto według [79], który wynosi: dla profili korytkowych $m = 1,40$ zaś dla profili G $m = 1,22$.

Współczynnik n_1 określony jest wzorem:

$$n_1 = \frac{R_m - R_o}{R_o} \quad (82)$$

We współczynniku warunków pracy obudowy m_1 zawarto wpływ nierównomierności rozkładu ciśnień górotworu na ekstremalne wartości sił wewnętrznych oraz niekorzystne warunki pracy obudowy odrzwiowej (niegarantowane warunki podparcia).

Dla obudowy łukowej podatnej LP zaproponowano przyjąć $m_1=1,5$, zaś dla obudowy z łuków sztywnych $m_1=1,0$.

Z zależności (79) otrzymano dopuszczalny rozstaw odrzwi (cm)

$$d > \frac{100 \cdot R_a (m + n_1)}{m_1 \cdot \left(\frac{N_{\text{odp}} \cdot m_v}{A} + \frac{M}{W_x} \right)} \quad (83)$$

Dla obudów odrzwiowych podatnych, w których przy $H > H_{kr}$ z uwagi na duże przemieszczenia ($u_v > \epsilon_{ng} \cdot r_v$) mamy do czynienia z ośrodkiem sprę-

żysto-spękanym, możliwe jest bezpośrednio określenie rozstawu odrzwi z warunku:

$$n \cdot q_{z2} \leq q_n \quad (79a)$$

Nośność obliczeniowa obudowy q_n określa zależność (101). Podstawiając (72a) do (35) i przyjmując $R'_{cg} = 0$ otrzymamy:

$$r_L = r_w \left(\frac{p_g \cdot r_o \cdot d}{N_z} \right)^{\frac{1}{\beta_g}}$$

i po wprowadzeniu r_L do (76) otrzymamy z wzoru (79a):

$$0,001 \cdot \eta_0 \left[\left(\frac{p_g \cdot r_o \cdot d}{N_z} \right)^{\frac{1}{\beta_g}} - 1 \right] \cdot r_w \cdot n \leq q_n$$

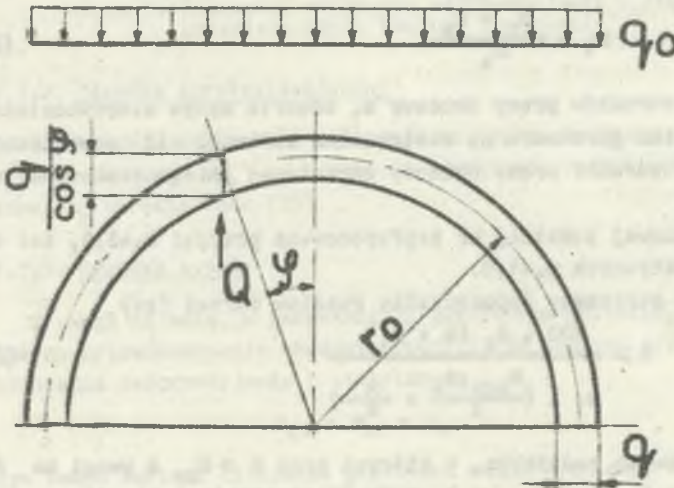
$$d \leq \left(\frac{10^3 \cdot q_n}{n \cdot r_w \cdot \eta_0} + 1 \right)^{\beta_g} \cdot \frac{N_z}{r_o \cdot p_g} \quad (83a)$$

Przy głębokości zalegania wyrobiska $H < H_{kr}$ rozstaw odrzwi można wprost wyznaczyć z zależności:

$$d \leq \frac{q_n}{q_z} \quad (83b)$$

2.4.2. Obudowa z betonu natryskowego B

Opierając się na badaniach Sattlera i Rabcewicza [64,77] przyjętą że powodem zniszczenia powłoki jest przekroczenie wytrzymałości na ścinanie. Warunek ten przyjęty jest w szeregu publikacjach, m.in. w [65, 66, 26], jako podstawa wymiarowania obudowy z betonu natryskowego. Dla łuku kołowego (rys. 10) można warunek nośności granicznej zapisać w postaci:



Rys.10. Schemat pracy obudowy typu "B"

$$\frac{g}{\cos \varphi} \cdot R_{bt,t} \geq q_0 \cdot r_0 \cdot \sin \varphi, \quad (84)$$

stąd:

$$g \geq \frac{q_0 \cdot r_0}{2 \cdot R_{bt,t}} \cdot \sin 2\varphi$$

Funkcja ta osiąga maksimum dla $\varphi = 45^\circ$

$$g \geq \frac{q_0 \cdot r_0}{2 \cdot R_{bt,t}} \quad (85)$$

Wytrzymałość obliczeniową betonu $R_{bt,t}$ na ścinanie w chwili t zadzia-
łania obciążenia obliczeniowego przyjęto, pozostawiając po stronie bez-
pieczeństwa, równą 1/2 wytrzymałości 28-dniowej.

Uwzględniając ponadto $R_{bt} \approx 2R_{bz}$, gdzie R_{bz} - wytrzymałość betonu na roz-
ciąganie - otrzymamy:

$$g \geq \frac{q_0 \cdot r_0}{2 \cdot 2 \cdot \frac{R_{bz}}{2}} = \frac{0,50q_0 \cdot r_0}{R_{bz}} \quad (86)$$

2.4.3. Obudowa kotwiono-betonowa KB

Parametry obudowy wstępnej proponuje się określić dla obciążenia od-
powiadającego ośrodkowi sprężystemu.

Parametry obudowy ostatecznej określone są dla obciążeń odpowiadających
istniejącym warunkom górniczo-geologicznym.

Działające radialnie ciśnienie deformacyjne górotworu równoważone jest
aktywną podpornością obudowy kotwionej i powłoki betonowej. Oddziaływa-
nie obudowy kotwionej na kontur wyrobiska opisuje zależność (72). Uwzględ-
niając redukcję wartości R_e do R_a wymaganą normą PN-76/03001 otrzymamy:

$$p_a = \frac{\lambda \cdot d_k^2 \cdot R_a}{4 \cdot a \cdot b} \quad (87)$$

Oddziaływanie radialne powłoki betonowej na kontur wyrobiska proponuje
się wyznaczyć z nośności granicznej na ściskanie.

Siła osiowa w powłoce określona z pominięciem momentów zginających (u-
strój cienkościenny) wynosi:

$$N = q_0' \cdot r_0 \quad (88)$$

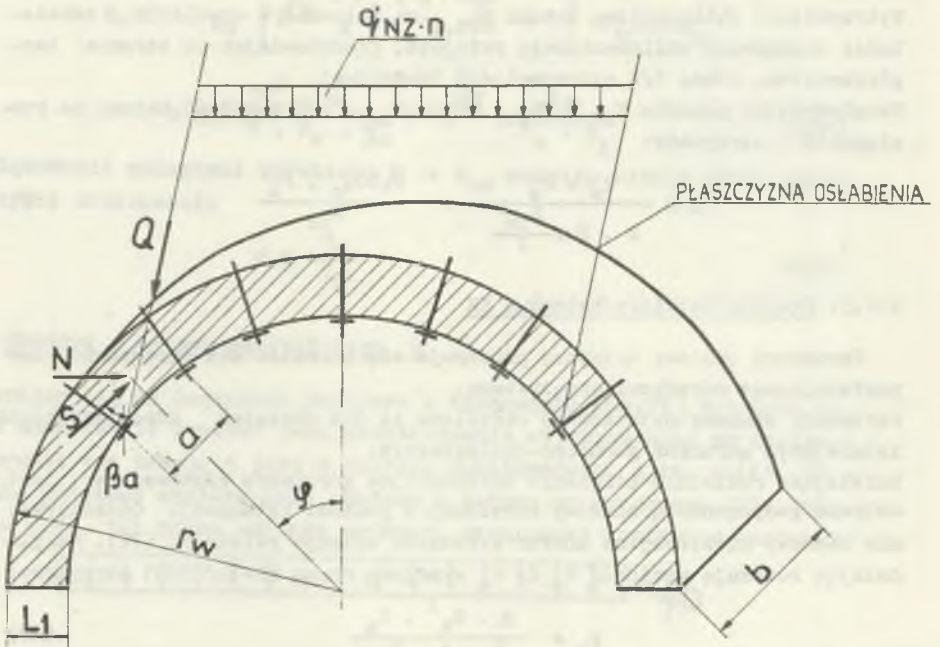
gdzie:

q_0' - część obciążenia obliczeniowego przejmowana przez powłokę betonową,
zaś nośność graniczna przekroju $g \cdot R_b$, gdzie R_b - wytrzymałość
obliczeniowa betonu na ściskanie.

Zatem warunek zrównoważenia ciśnienia deformacyjnego podpornością akty-
wną obudowy kotwiono-betonowej można zapisać w postaci:

$$\frac{\pi \cdot d_k^2 \cdot R_a}{4 \cdot a \cdot b} + \frac{g \cdot R_b}{r_o} \geq q_o \quad (89)$$

W przypadku gdy w górotworze w sąsiedztwie wyrobiska istnieją stromo usytuowane płaszczyzny osłabień, zachodzi niebezpieczeństwo ścięcia pod wpływem ciśnienia statycznego skotwionego sklepienia skalnego i powłoki betonowej na przedłużeniu tych płaszczyzn.



Rys. 11. Schemat pracy obudowy typu "K"

Najniekorzystniej, z punktu widzenia nośności sklepienia, przebiega płaszczyzna ścięcia poprzez przeciwległe końce sąsiadujących kotwi (rys.11) :

$$\operatorname{tg} \beta_o = \frac{a}{l_1}$$

$$N = S \cdot \frac{l_1}{\sqrt{a^2 + l_1^2}}$$

$$T = c_g \cdot b \sqrt{a^2 + l_1^2}$$

$$Q = q'_{NZ} \cdot n \cdot r_w \cdot \sin \varphi \cdot b$$

Warunek równowagi granicznej przyjmuje postać

$$Q \leq N \cdot \operatorname{tg} \rho_g + cf + b \sqrt{a^2 + l_1^2} \quad (90)$$

Przyjmując $Q = Q_{\max} = q'_{Nz} \cdot n \cdot r_w \cdot b$ oraz wartość spójności górotworu na płaszczyznach osłabienia (11), (12) spójność górotworu $c_f = 0,5 \cdot \mu$ otrzymamy [39,40]:

$$S \cdot \frac{l_1}{\sqrt{a^2 + l_1^2}} \cdot \operatorname{tg} \rho_g + 0,25 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{a^2 + l_1^2} \geq q'_{Nz} \cdot n \cdot r_w \cdot b, \quad (91)$$

gdzie:

q'_{Nz} - część ciśnienia statycznego przejmowana przez obudowę kotwiołą.

Wysokość użyteczna skotwionego sklepienia skalnego wynosi:

$$l_1 = l_c - 10 - 0,5 a - l_{zu}$$

Długość użytkową zamontowania kotwi można określić z zależności:

$$l_{zu} = \max \begin{cases} \frac{d_k \cdot R_a}{4 \cdot R_{tz}} \\ \frac{d_k^2 \cdot R_a}{4 \cdot d_o \cdot c_g} \end{cases}$$

Zależność (93) wyznaczono z warunków przekazania siły rozciągającej żerdzi

$$\frac{\pi d_k^2}{4} \cdot R_a$$

na spoiwo o wytrzymałości na ściskanie R_{tz} oraz z warunku przekazania tej siły na górotwór charakteryzujący się spójnością c_g . Siłę osiową S w skotwionym sklepieniu skalnym zaproponowano wyznaczyć z zależności:

$$S = q'_{Nz} \cdot n \cdot (r_w + 0,5a + 0,5l_1) \cdot b,$$

mając na uwadze brak swobody przemieszczeń sklepienia, uwarunkowany kontaktem sklepienia z otaczającym górotworem. Jak wykazały przeliczenia prowadzone na EMC, zwiększenie liczby więzów podporowych oraz wartości współczynnika podatności podłoża prowadzi do wyzerowania momentów zginających. Tym samym zależność (94) można przyjąć za słuszną. Nośność graniczną powłoki betonowej na ściskanie określono z zależności (86), przyjmując $t = 28$ dni. Zatem warunek zrównoważenia ciśnień statycznych można zapisać w postaci:

$$S \cdot \frac{l_1}{\sqrt{a^2 + l_1^2}} \cdot \operatorname{tg} \rho_g + 0,25 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{a^2 + l_1^2} + 4 \cdot g \cdot b \cdot R_{bz} \geq q'_{Nz} \cdot n \cdot b \cdot r_w \quad (92)$$

Obudowę wstępną, gdy stanowi ją powłoka z betonu natryskowego, proponuje się wymiarować według rozdziału 2.4.2, zaś gdy stanowi ją obudowa kotwioła - według wytycznych [17,40].

2.4.4. Obudowa stalowo-betonowa SB

Nośność obliczeniowa obudowy stalowo-betonowej jest sumą nośności powłoki betonowej i sztywnych wkładek stalowych pracujących na ściskanie. Nośność powłoki betonowej z uwagi na bezpieczną konstrukcję obudowy można przyjąć w pełnym wymiarze, a więc dla 28-dniowych wartości parametrów wytrzymałościowych (rozd. 2.4.2).

Nośność na ściskanie sztywnych wkładek stalowych proponuje Rabcewicz i Sattler [64,65,77] przyjmować równą $2 \cdot R_t \cdot A$. Pozostając po stronie bezpieczeństwa przyjęto $R_t \cdot A$, gdzie R_t - wytrzymałość obliczeniowa stali na ścinanie równa $0,6 \cdot R_a$ według PN-76/B-03200.

Zatem warunek nośności granicznej można zapisać w postaci:

$$q_0 \cdot r_0 \cdot d \leq g \cdot d \cdot 4 \cdot R_{bz} + 0,6 \cdot R_a \cdot A,$$

stąd:

$$g \geq \frac{q_0 \cdot r_0 \cdot d - 0,6 \cdot R_a \cdot A}{4 \cdot R_{bz} \cdot d} \quad (93)$$

2.4.5. Obudowa kotwiowo-betonowo-stalowa KBS

Nośność obliczeniowa obudowy KBS jest sumą nośności obudowy betonowej, wkładek stalowych i skotwionego sklepienia skalnego.

W równoważeniu radialnie działającego ciśnienia deformacyjnego q_{z1} udział sztywnych wkładek stalowych pracujących na osiowe ściskanie wynosi:

$$\frac{A \cdot R_a}{r_0 \cdot d},$$

zatem dla obudowy KBS można zapisać:

$$\frac{\pi d_k^2 \cdot R_a}{4 \cdot a \cdot b} + \frac{g \cdot R_b \cdot d + A \cdot R_a}{r_0 \cdot d} \geq q_0 \quad (94)$$

Warunek (92), opisujący nośność graniczną na ścinanie obudowy KB, należy uzupełnić o nośność na ścinanie sztywnych wkładek stalowych $0,6 \cdot R_a \cdot A$, zatem dla obudowy KBS otrzymamy:

$$S \cdot \frac{l_1}{\sqrt{a^2 + l_1^2}} \cdot \operatorname{tg} \rho_{g+0,25} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{a^2 + l_1^2} + 4 \cdot g \cdot b \cdot R_{bz} + 0,6 \cdot R_a \cdot A \geq q'_{NZ} \cdot n \cdot b \cdot r_w \quad (95)$$

2.4.6. Obudowa odrzwiowa obetonowana OB

Do momentu naniesienia betonu natryskowego obudowa odrzwiowa poddana jest mimośrodkowemu ściskaniu (rozd. 2.4.1). Po usztywnieniu wkładki i obudowy betonem natryskowym dalszy przyrost obciążeń powoduje powstawa-

nie dodatkowych sił osiowych, które obudowa OB z powodzeniem przyjmuje. Ewentualne zniszczenie obudowy odrzwiowej obetonowanej może mieć miejsce w wyniku ścięcia obudowy. Nośność obliczeniową obudowy OB można zatem określić analogicznie jak obudowy stalowo-betonowej. Z uwagi na naprężenia wewnętrzne (siły wewnętrzne) w obudowie wprowadzono współczynnik warunków pracy obudowy $m_1 = 1,3$.

Zatem grubość powłoki betonowej można określić z zależności:

$$g \geq \frac{(q_0 \cdot r_0 \cdot d - 0,6 \cdot R_a \cdot A) \cdot m_1}{4 \cdot R_{bz} \cdot d} \quad (96)$$

Powyższa zależność jest słuszna przy zlokalizowaniu wyrobiska w skałach kategorii I-VII a^{*)} gwarantujących istnienie współpracy obudowy z górotworem.

W przypadku zlokalizowania wyrobiska w skałach kategorii VIII-X, nie gwarantujących współpracy obudowy z górotworem, obudowa odrzwiowa obetonowana również po naniesieniu betonu natryskowego jest mimośrodowo ściśkana.

Parametry obudowy należy wówczas wyznaczyć według PN-76/B-03264.

2.5. Podporność aktywna obudów

Dla oszacowania przemieszczeń konturu wyrobiska u_w konieczna jest znajomość wartości oddziaływania obudowy o górotwór w momencie wytworzenia się stanu równowagi definiowanego zerowym przyrostem przemieszczeń w czasie:

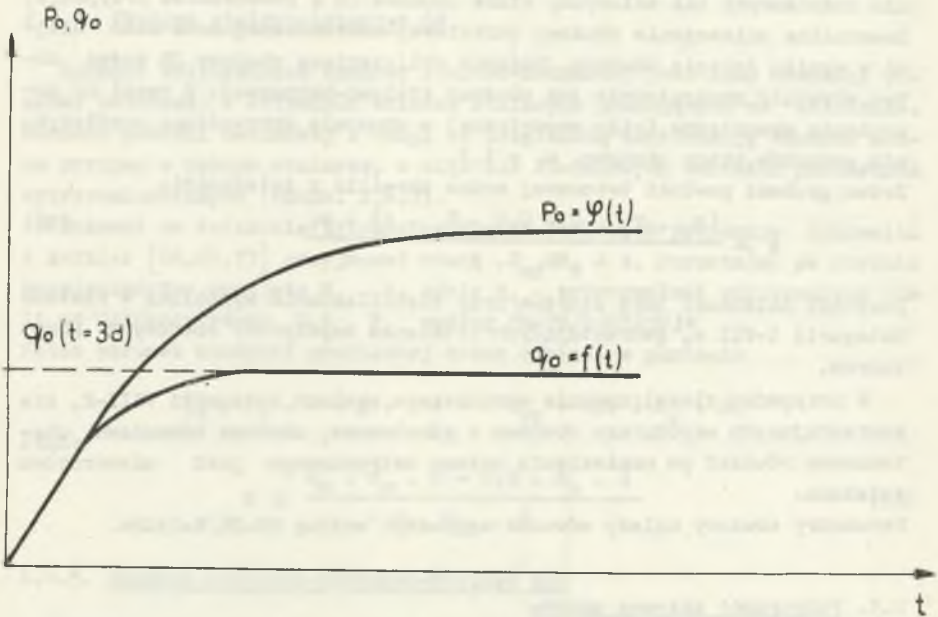
$$\frac{du_w}{dt} = 0 \quad (97)$$

Wartość tego oddziaływania określono mianem podporności aktywnej obudów P_a .

2.5.1. Obudowa z betonu natryskowego B

W rozdziale 2.4.2 oszacowano obliczeniową nośność obudowy z betonu natryskowego przyjmując, że w momencie zadziaływania ciśnienia górotworu o obliczeniowej wartości, beton natryskowy osiąga 1/2 swej końcowej wytrzymałości.

*) Klasyfikacja skał wg zał. 1 do BN-79/0434-04



Rys. 12. Zależność obciążenia obliczeniowego i obliczeniowej nośności obudowy typu "B" od czasu

Dla oceny podporności aktywnej przyjęto niekorzystny moment pracy obudowy (rys. 12), zakładając osiągnięcie przez beton natryskowy w momencie wytwarzania się stanu równowagi układu obudowa - górotwór 1/3 wytrzymałości końcowej. Zatem wartość p_a oszacowana z zależności (86) wynosi:

$$p_z = \frac{4}{3} \cdot \frac{\xi \cdot R_{bz}}{r_0} \quad (98)$$

2.5.2. Obudowa stalowo-betonowa SB i odrzwiowa obetonowana OB poza przodkiem

Przyjęto analogicznie jak w rozdz. 2.4.1, że stan równowagi ustala się w momencie osiągnięcia przez beton 1/3 wytrzymałości 28-dniowej, zatem podporność aktywną obudowy stalowo-betonowej można określić z zależności (96), redukując odpowiednio wytrzymałość obliczeniową betonu

$$p_a = \frac{\frac{4}{3} \cdot \xi \cdot d \cdot R_{bz} + 0,6 R_a \cdot A}{r_a \cdot d \cdot m_1} \quad (99)$$

gdzie:

$m_1 = 1,0$ dla obudowy SB i $m_1 = 1,5$ dla obudowy OB.

2.5.3. Obudowa odrzwiowa z łuków sztywnych

Analiza sił wewnętrznych w obudowie odrzwiowej z łuków podatnych i sztywnych [14, 15, 17, 31, 66, 84] wykazuje, że ekstremalne wartości momentu zginającego i odpowiadającej siły osiowej wynoszą w przybliżeniu:

$$M_{\max} \approx 0,052 \cdot q_0 \cdot r_0^2 \quad (100)$$

$$N_{\text{od}} \approx 1,12 \cdot q_0 \cdot r_0$$

Podstawiając (100) do (79) otrzymamy obliczeniową nośność obudowy odrzwiowej:

$$q_n = \frac{R_a (m+n_1) \cdot 100}{\left(\frac{1,12 \cdot r_0 \cdot m_w}{A} + \frac{0,052 \cdot r_0^2}{W_x} \right) \cdot d \cdot m_1} \quad (101)$$

Dla określenia podporności p_a przyjęto, że stan równowagi ustala się przy wartości $0,5 \cdot q_n$, zatem:

$$p_a = \frac{0,5 R_a (m+n_1) \cdot 100}{\left(\frac{1,12 \cdot r_0 \cdot m_w}{A} + \frac{0,052 \cdot r_0^2}{W_x} \right) \cdot d \cdot m_1} \quad (102)$$

Obudowa odrzwiowa z łuków podatnych i obudowa kotłowa

Podporność aktywna odpowiednio określa zależność (72a i 72),

3. ZASADY DOBORU, PROJEKTOWANIA I OBLICZEŃ STATYCZNYCH OBUDÓW DŁUGOTRWAŁYCH WYROBIŚK KORYTARZOWYCH I KOMOROWYCH

3.1. Przedmiot i zakres stosowania

Przedstawione poniżej zasady należy stosować przy projektowaniu konstrukcji i wykonywaniu obliczeń statycznych obudów odrzwiowych, powłokowych, kotwiowych i sklepionych dla wyrobisk o obrysie krzywoliniowym, przekroju poprzecznym nie przekraczającym 50 m^2 w świetle obudowy i o stałym przekroju poprzecznym (co najmniej na odcinku długości $3 S_w$).

Dotyczą one obudów wyrobisk poziomych o małym nachyleniu (do około 10°), nie narażonych na bezpośrednie wpływy eksploatacyjne.

3.2. Określenia i pojęcia podstawowe

Mając na uwadze spotykaną w literaturze technicznej dużą dowolność w definiowaniu poszczególnych pojęć, podjęto próbę ujednoczenia w oparciu o normę PN-71/G-01100 podstawowych nazw, określeń oraz oznaczeń.

Wyrobisko kapitalne - długotrwałe wyrobisko udostępniające, nie narażone na bezpośredni wpływ ciśnień eksploatacyjnych.

Wyrobisko o obrysie krzywoliniowym - wyrobisko, którego obrys przekroju poprzecznego stanowią odcinki łuków, bądź którego co najmniej pułap ukształtowany jest według linii zakrzywionej.

Obudowa odrzwiowa - według PN-71/G-01100 p. 4.31.

Obudowa powłokowa - obudowa górnicza złożona z cienkiej warstwy materiału konstrukcyjnego, ukształtowanej według powierzchni zakrzywionej i ściśle przylegającej do górotworu.

Obudowa odrzwiowo-podatna - obudowa górnicza złożona z odrzwi, których elementy pod wpływem nacisku górotworu zsuwają się względem siebie oraz z okładzin, rozpór i wykładki.

Obudowa sztywna - obudowa górnicza złożona z odrzwi, których elementy połączone są ze sobą w sposób sztywny oraz z okładzin, rozpór i wykładki.

Obudowa odrzwiowo-obetonowana - obudowa powłokowa powstała przez naniesienie warstwy betonu natryskowego na obudowę odrzwiową.

Obudowa z betonu natryskowego - obudowa powłokowa, której warstwa konstrukcyjna wykonana jest z betonu natryskowego.

Obudowa kotwiowo-betonowa - obudowa powłokowa, której warstwę konstrukcyjną stanowi beton natryskowy współpracujący z górotworem wzmocnionym kotwiami spoiłowymi.

Obudowa kotwiowo-betonowo-stalowa - obudowa powłokowa, której warstwę konstrukcyjną stanowi beton natryskowy zbrojony wkładkami stalowymi, współpracujący z górotworem wzmocnionym kotwiami społowymi.

Podporność aktywna obudowy - radialne, równomiernie rozłożone oddziaływanie obudowy na górotwór, zabezpieczające górotwór przed powstaniem deformacji nieciągłych (rozwarstwień, ugięć itp.).

Oś obudowy powłokowej - linia przebiegająca w połowie grubości warstwy konstrukcyjnej powłoki.

Luz konstrukcyjny obudowy odrzwiowej - średnia odległość wykładki od konturu wyłomu w pułapie wyrobiska, bezpośrednio po wykonaniu wykładki.

3.3. Elementy nośne obudowy

Charakterystykę szczegółową obudowy podatnej z korytek KS i KO oraz kształtowników V i obudowy odrzwiowej sztywnej podano w pracy [17]. Podporność obudowy zależy od nośności złącz, którą przy dokręceniu manometrem $M_{\min} = 350 \text{ Nm}$ dla różnych konstrukcji strzemion podano w tabelicy 1.

Tablica 1

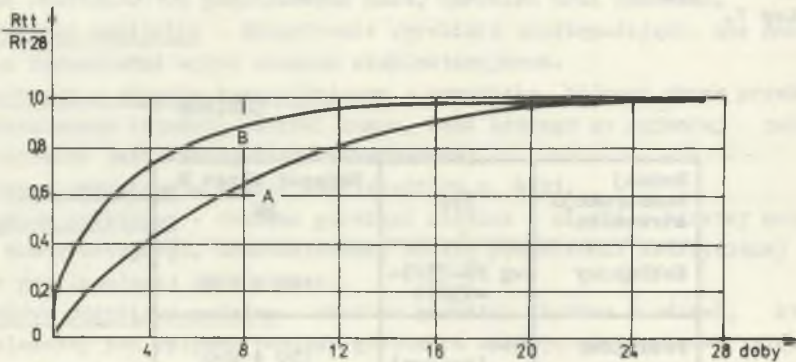
Rodzaj konstrukcji strzemion	Typ	Nośność złącz N_z kN
Kabłąkowy	wg PN-73/G-15011	100 ÷ 150
Profilowy	G-4 (import)	150 ÷ 200
Kabłąkowo-profilowy	ZS1, 2L	150 ÷ 200
Kabłąkowo-profilowy	K	100 ÷ 150

W obudowach powłokowych własności mechaniczne betonu natryskowego zaleca się przyjmować wg tablicy 2, przy czym dla konstrukcji niezbrojonych wartości R_b i R_{bz} należy dzielić przez $\gamma_{b3} = 1,25$.

Tablica 2

Klasa betonu natryskowego		B75	B100	B150	B200	B250
Wytrzymałość obliczeniowa	na ściskanie R_b w MPa	4,3	5,5	8,5	11,5	14,5
	na rozciąganie R_{bz} w MPa	0,48	0,57	0,75	0,89	1,02
Współczynnik sprężystości E_o w MPa		15000	18000	23000	27000	30000

Wytrzymałość betonu natryskowego można uzyskać w terminie wcześniejszym niż po 28 dniach, co wynika z rys. 13.



Rys. 13. Przyrost wytrzymałości betonu natryskowego w czasie
A - bez użycia szkła wodnego, B - z użyciem szkła wodnego

W odniesieniu do obudowy betonowej i żelbetowej zaleca się stosować beton zwykły klasy B100, B150, B200, B250, a wartości obliczeniowe wytrzymałości betonu należy realizować wg tablicy 2.

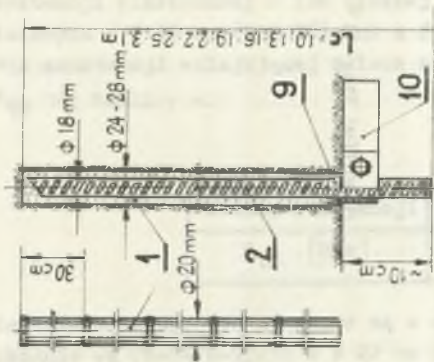
W obudowach żelbetowych elementy zbrojenia należy wykonać wg charakterystyki ujętej w tablicy 3.

W praktyce budownictwa podziemnego stosuje się także kotwie wklejane (rys. 14 i 15), przy czym, jeżeli $H < H_{kr}$, zaleca się kotwie o zamocowaniu odcinkowym, a przy $H > H_{kr}$ o zamocowaniu ciągłym.

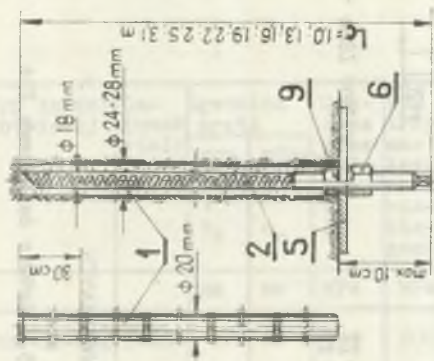
Ładunek wklejający z szybko wiążącej substancji wklejającej POK o kon-

Tablica 3

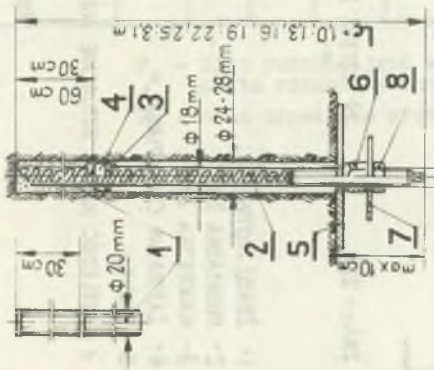
Klasa stali i jej rodzaj	Znak stali	Nominalna średnica prętów d	Wytrzymałość charakterystyczna R_{ak}	Wytrzymałość obliczeniowa	
				na rozciąganie R_a	na ściskanie R_{ac}
-	-	mm	MPa	MPa	MPa
A-0 okrągła gładka	St0S	5,5 + 40	220	190	190
A-I okrągła gładka	St3SX St3SY	5,5 + 40	240	210	210
A-II okrągła żebrowana	18G2	6 + 25 25 + 32	360 350	310 290	310 290
	St50B	6 + 18 18 + 32	360 340	310 210	310 290
A-III okrągła żebrowana	34GS	6 + 28 32	420 400	360 340	360 340



d) KOTEW POK 26-20C-18 v
KOTEW POK 26-20P-18 v



e) KOTEW POK 26-20C-18g v
KOTEW POK 26-20P-18g v

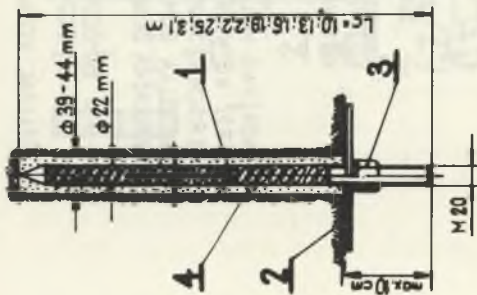


f) KOTEW POK 26-20C-18g v
KOTEW POK 26-20P-18g v

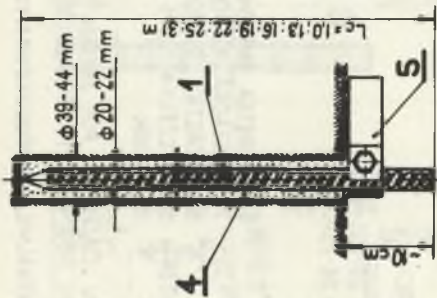
- 1- TWORZYWO WKLEJ
- 2- ŻERDZ KOTWIOWA
- 3- PIERSCIEN OPOR
- 4- USZCZELKA GUM. ϕ 0,036 m
- 5- PODKŁADKA ZASADN.
- 6- NAKRĘTKA ZASADN. (KSZTAŁT)
- 7- PODKŁADKA POMOC
- 8- NAKRĘTKA POMOC
- 9- USZCZELKA GUM. ϕ 0,045 m
- 10- ZACISK

d, e - O ZAMOCOWANIU CIĄGŁYM - POK 36 (26)c
f - O ZAMOCOWANIU ODCINKOWYM - POK 36 (26)n

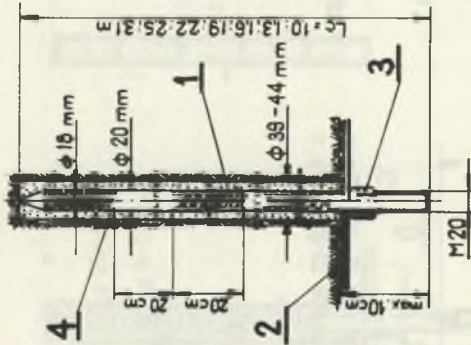
v - WIELKOŚĆ KOTWI AKTUALNIE NIEPRODUKOWANYCH



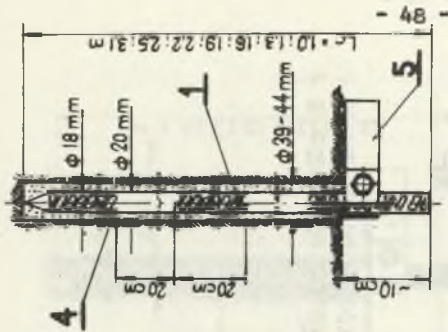
d) KOTEW ZBac - 22g



b) KOTEW ZBac - 22



c) KOTEW ZBac - 18g¹⁾



d) KOTEW ZBac - 18¹⁾

- 1- ŻERDZ KOTW.
 2- PODKLADKA ZAS.
 3- NAKRETKA ZAS.
 4- ZAPRAWA CEM. PIASK.
 5- ZACISK

1) - WIELKOŚĆ KOTWI AKTUALNIE NIETRUDKOWANYCH

substancji plastycznej P lub ciekłej C przystosowany jest do otworów kotwowych o ϕ 36 mm (POK-36) lub o ϕ 26 mm (POK-26).

Dla substancji wklejającej zaleca się stosować wytrzymałość na ścinanie R_{tz} wg tablicy 4.

Tablica 4

Rodzaj substancji	POK36	POK-26
R_{tz} [MPa]	6	4

Żerdzie kotwowe POK wykonane są z okrągłego pręta stalowego żebrowanego skośnie wg PN-74/H-93215 o ϕ 22 mm i wg PN-74/H-93215 o ϕ 18 mm ze stali 34GS z końcówką gwintowaną - g lub niegwintowaną - tablica 5.

Tablica 5

Typ żerdzi kotwowej	Ga-tunek stali	Średnica pręta		Gra-nica plas-tycz-ności Re	Wy-trzy-ma-łość na roz-cią-ganie	Prze-krój nom. pręta	Prze-krój rdzenia gwintu	Masa	P _e		P _m	
		nom d _k	rdze-nia d _r						Pręt	Gwint	Pręt	Gwint
-	-	mm	mm	MPa	MPa	cm ²	cm ²	kg	kN	kN	kN	kN
POK-36-22g	34GS	22	21	420	600	3,8	2,25	2,98	159	94	228	135
POK-26-18g	34GS	18	17	420	600	2,54	2,25	2,0	106	94	152	135

P_e - Siła rozciągająca wywołująca plastyczne odkształcenie pręta rdzenia gwintu lub gwintu

P_m - Siła zrywająca pręt rdzenia gwintu lub gwintu

4. PROPONOWANY PODZIAŁ KONSTRUKCJI OBUDÓW I OZNACZENIA

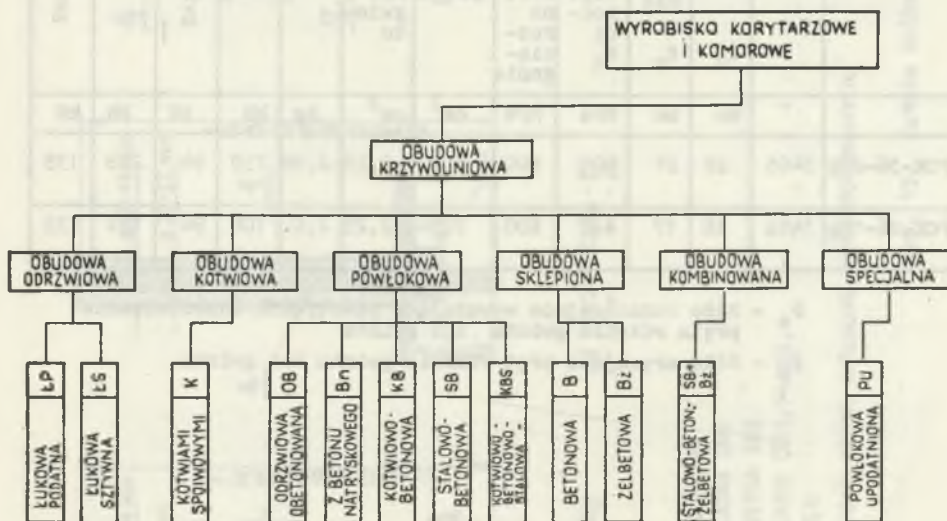
Ze względu na rodzaj stosowanej konstrukcji górnicze obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych o krzywoliniowym kształcie przekroju poprzecznego podzielono na:

- obudowy odrzwiowe,
- obudowy kotwiowe,
- obudowy powłokowe,
- obudowy sklepieniowe,
- obudowy kombinowane,
- obudowy specjalne.

Dalszy podział i oznaczenia obudów dokonano w oparciu o kryterium uwzględniające cechy charakteryzujące pracę obudowy względnie podstawowe elementy konstrukcyjne wchodzące w skład obudowy.

Podział konstrukcji obudów i ich oznaczenia przedstawiono na rys. 16.

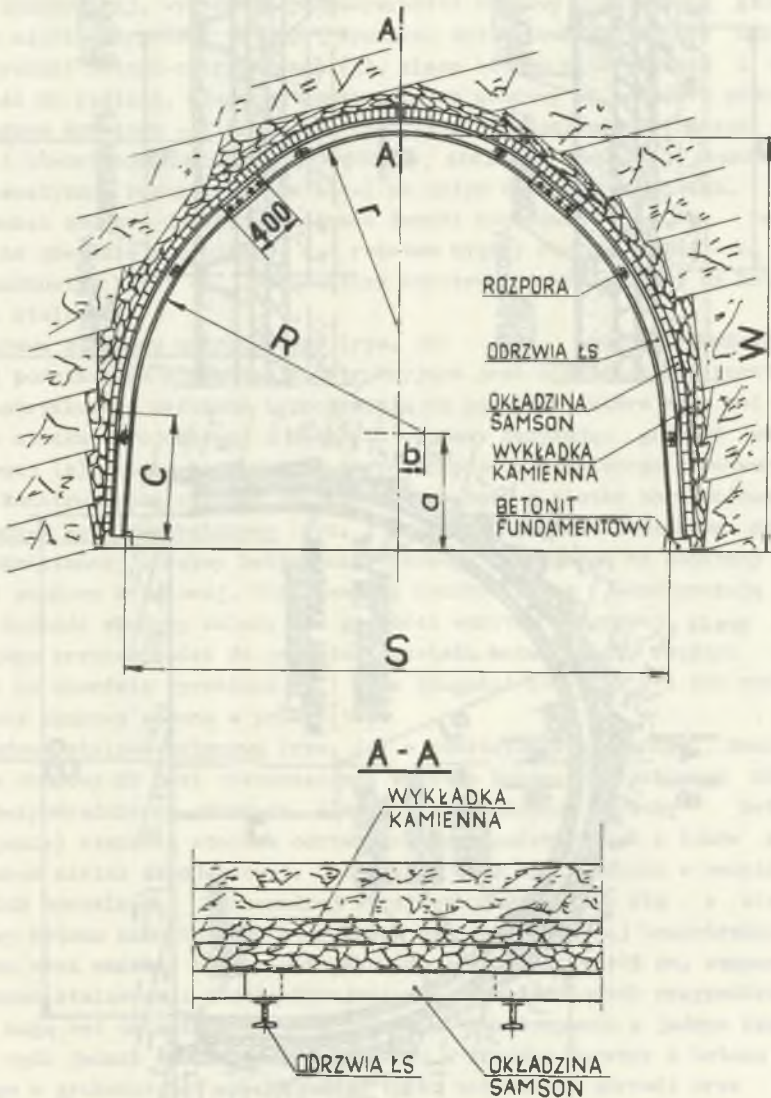
Ma on charakter otwarty, tzn. że może być uzupełniony zarówno o nowe konstrukcje obudów, jak i nowe elementy konstrukcyjne.



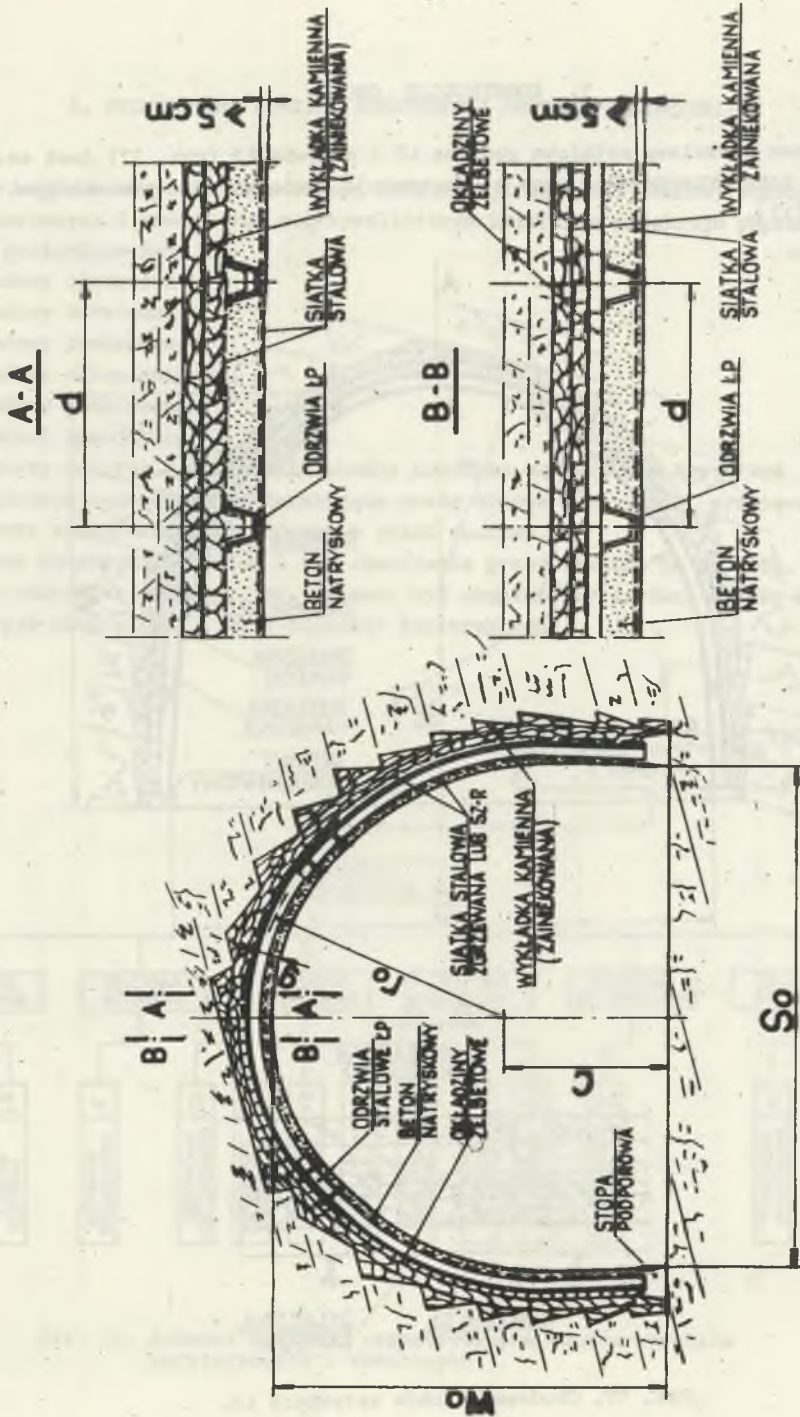
Rys. 16. Schemat podziału rozpatrywanych obudów wyrobisk korytarzowych i komorowych

5. KONSTRUKCJE OBUDÓW

Obudowa odrzwiowa metalowa podatna ŁP i sztywna ŁS (rys. 17) jest szczególnie scharakteryzowana wraz z konstrukcją i elementami pomocniczymi w pracy [17],



Rys. 17. Obudowa z łuków sztywnych ŁS.



Rys. 18. Obudowa odrzwiowa obetonowana OB

Obudowa odrzwiowa obetonowana (rys. 18) składa się z łukowej obudowy podatnej ŁP lub sztywnej ŁS oraz warstwy betonu natryskowego nałożonej na obudowę odrzwiową. Warstwa betonowa zbrojona jest siatką stalową, np. typu MM.

W górotworze nieodpornym na działanie wody i przy znacznym jej dopływie do wyrobiska należy przeprowadzić iniekcję nieskociśnieniową przestrzeni za obudową, tj. wykiadki. O podporności obudowy OB decydują głównie: odstęp między odrzwiami (d), wytrzymałość kształtownika obudowy odrzwiowej, grubość betonu natryskowego (g), klasa betonu natryskowego i przyczepność do podłoża. Elementy konstrukcyjne obudowy OB podano w pracy [17].

Obudowa kotwiova - K (rys. 19) umożliwia np. scalenie spękanego górotworu i utworzenie nośnego sklepienia skalnego poprzez promieniowe i systematyczne rozmieszczenie kotwi na całym obwodzie wyrobiska. O nośności obudowy decydują: nośność żerdzi kotwiovej - P_e, P_m , rozstaw kotwi na obwodzie wyrobiska - a , rozstaw między rzędami kotwi - b , długość całkowita kotwi - l_c . Elementami konstrukcyjnymi obudowy są kotwie i siatka stalowa.

Obudowa z betonu natryskowego (rys. 20) jest obudową powłokową, w której podstawowym elementem konstrukcyjnym jest cienkościenna warstwa betonu natryskowego nałożona bezpośrednio na górotwór, która może być wzmocniona siatką zbrojeniową. O nośności obudowy decydują: grubość warstwy betonowej (g), klasa betonu oraz przyczepność do obnażonego górotworu. Elementy konstrukcyjne obudowy to beton natryskowy i siatka zbrojeniowa [17].

Obudowa kotwiovo-betonowa (rys. 21) jest to obudowa powłokowa złożona z cienkościennej warstwy betonu natryskowego nałożonego na obnażony górotwór i obudowy kotwiovej. Oba elementy konstrukcyjne współpracują ze sobą. Nośność obudowy zależy od: grubości warstwy betonowej, klasy betonu i jego przyczepności do podłoża, rozstawu kotwi między rzędami kotwi (b_r) i po obwodzie wyrobiska (a_1) oraz długości kotwi (l_o) i ich rodzaju. Elementy obudowy podano w pracy [17].

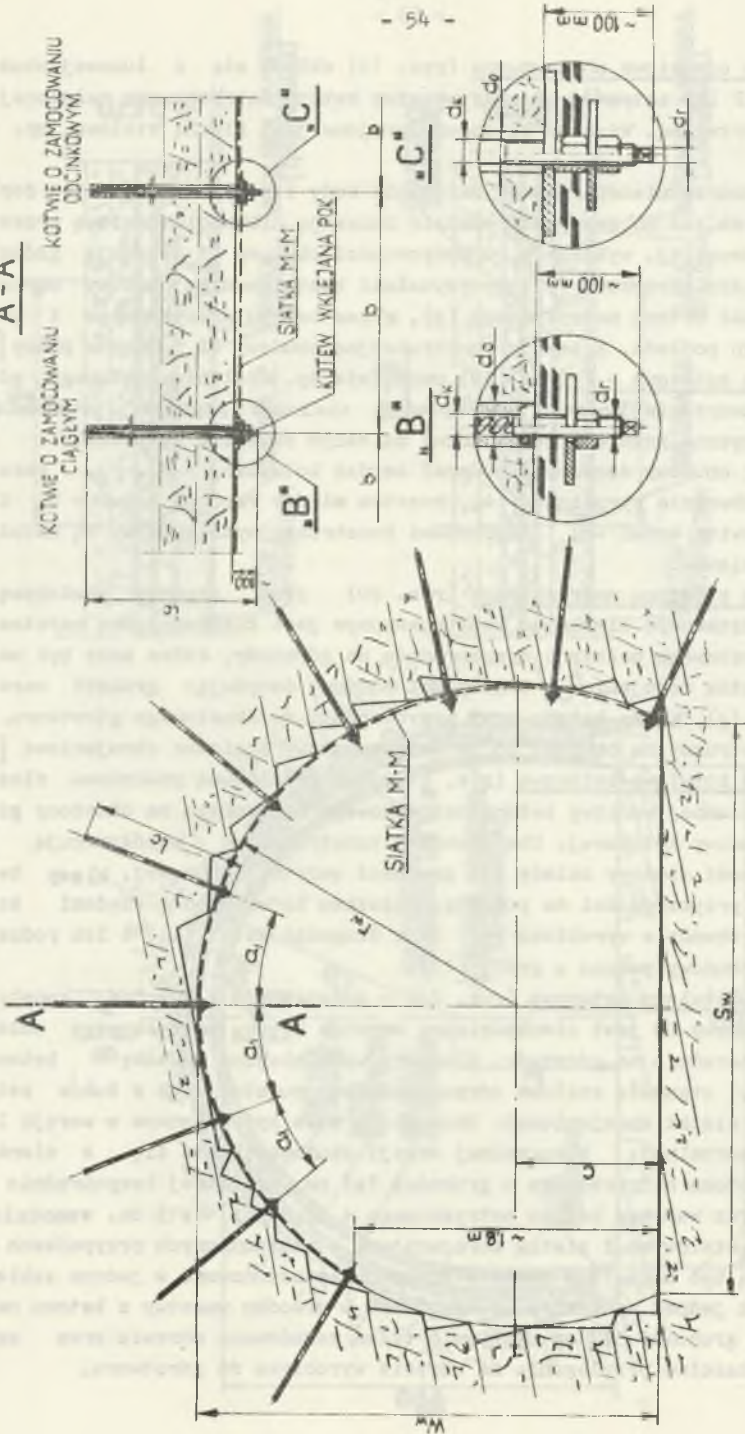
Obudowa stalowo-betonowa (rys. 22) - podstawowym elementem konstrukcyjnym obudowy SB jest cienkościenna warstwa betonu natryskowego nałożonego bezpośrednio na górotwór. Elementy wzmocniające powłokę betonową (zbrojenie) stanowią stalowe odrzwia obudowy podatnej lub z łuków sztywnych oraz siatki zbrojeniowej. Obudowa SB może być wykonana w wersji lekkiej lub normalnej. W normalnej wersji obudowa składa się z cienkiej warstwy betonu natryskowego o grubości 5÷7 cm, wykonanej bezpośrednio w przodku oraz warstwy betonu natryskowego o grubości 10÷15 cm, wzmocnionej odrzwiami stalowymi i siatką zbrojeniową. W uzasadnionych przypadkach odrzwia mogą być ustawione zaraz w przodku i zabetonowane w jednym zabiegu.

Na ogół jednak wystarczy po wykonaniu w przodku warstwy z betonu natryskowego o grubości 5÷7 cm usztywnić tylko zabudowane odrzwia oraz zapewnić im właściwe przyleganie na obrysie wyrobiska do górotworu.

A-A

KOTWIE O ZAMOCOWANIU
CIĄGŁYM

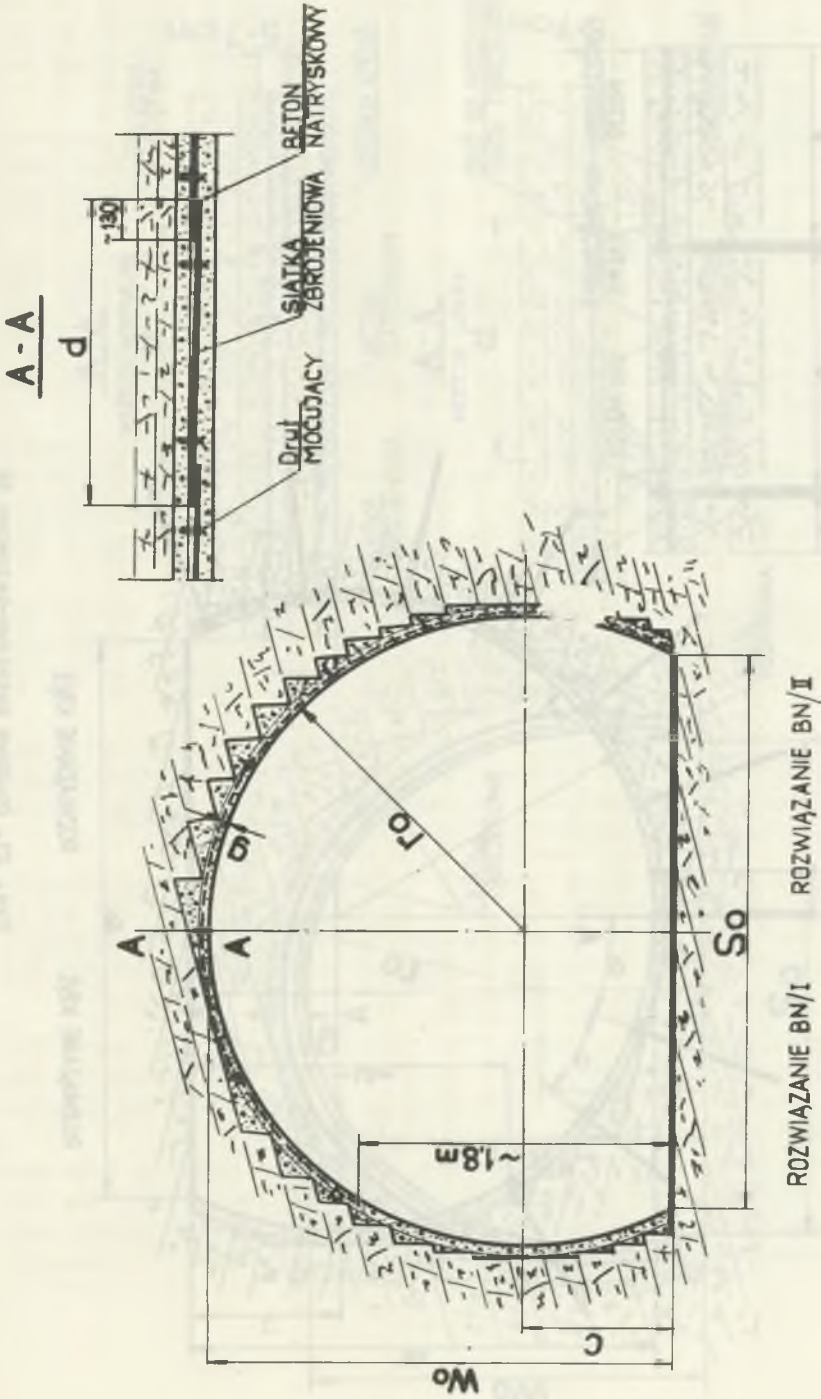
KOTWIE O ZAMOCOWANIU
ODCINKOWYM



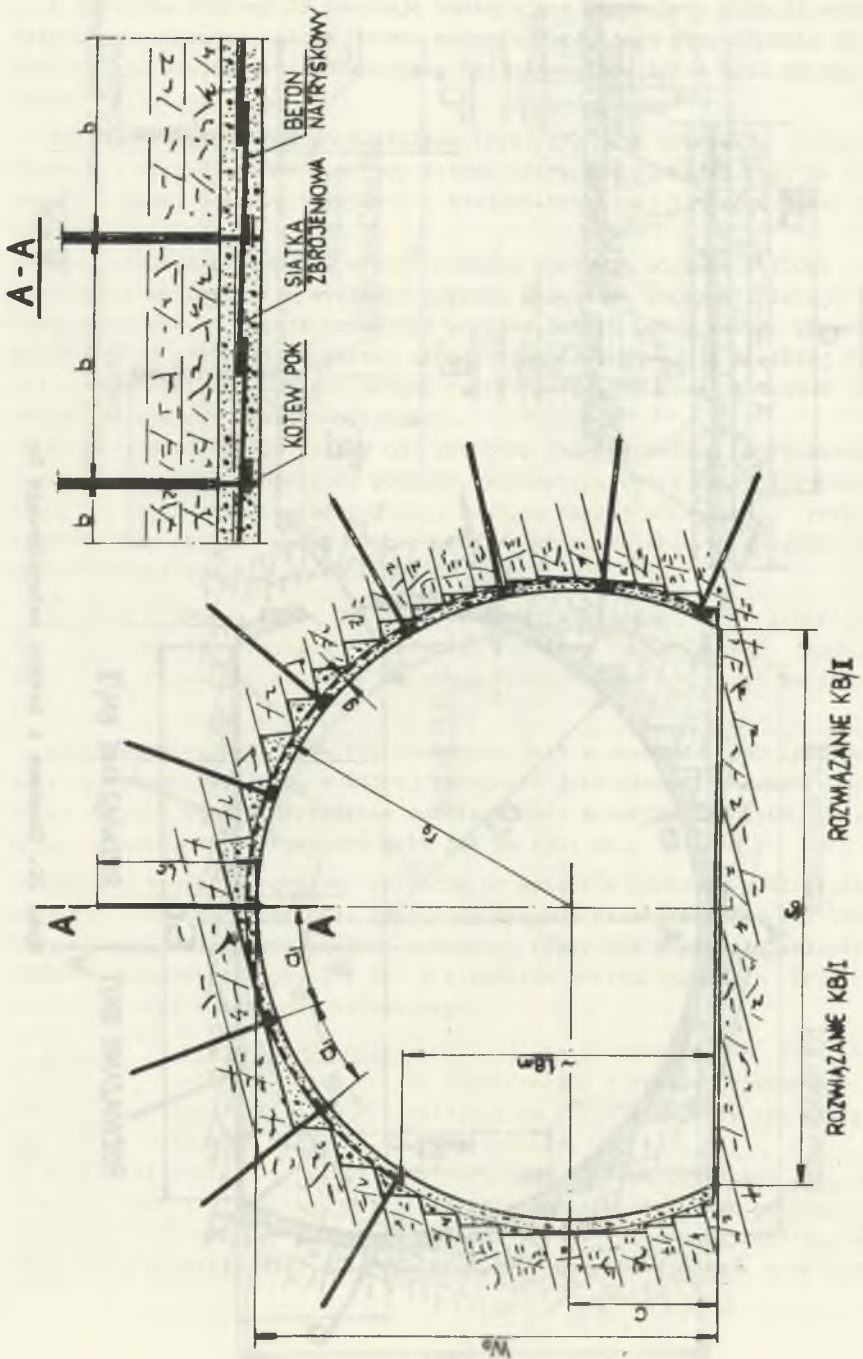
ROZWIĄZANIE K/I

ROZWIĄZANIE K/II

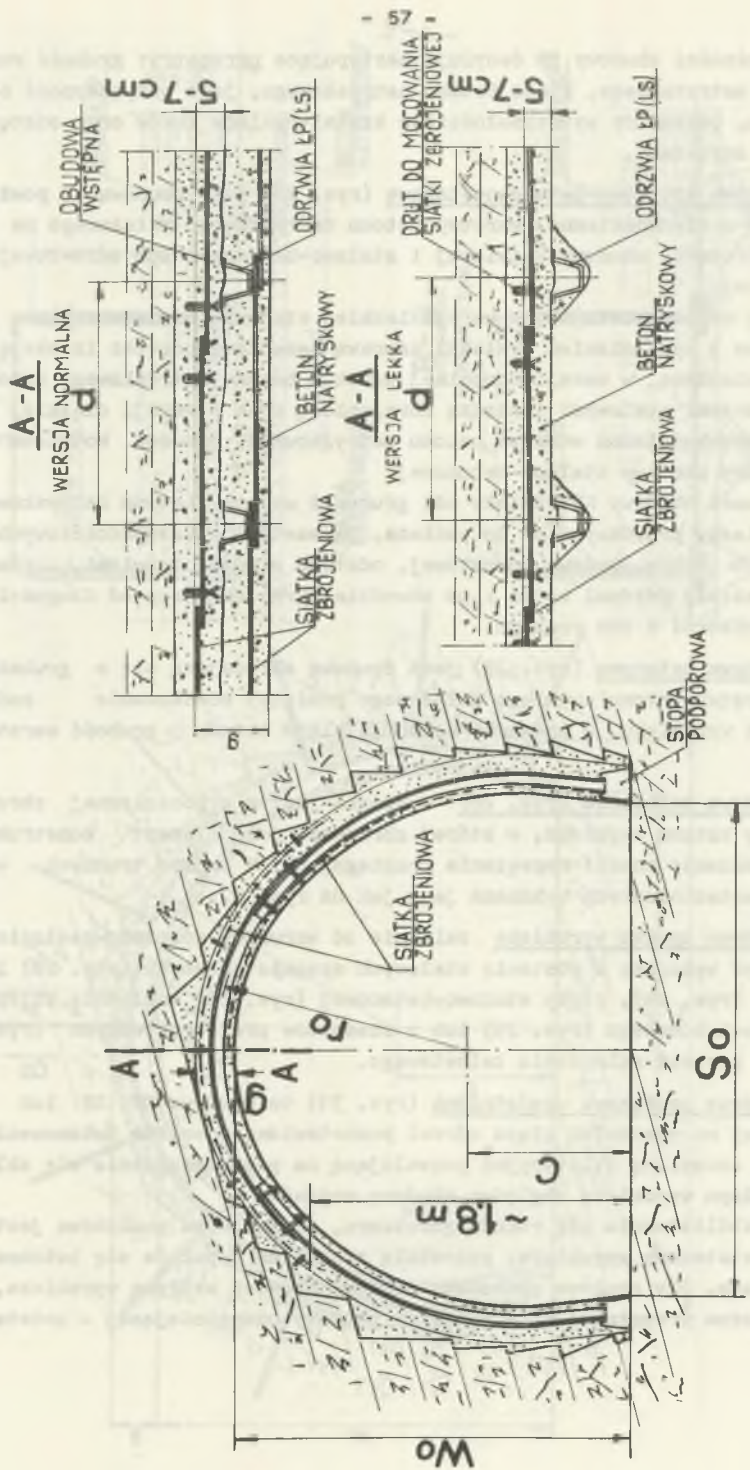
Rys. 19. Obudowa kotwiona K.



Rys. 20. Obudowa z betonu natryskowego Bn



Rys. 21. Obudowa kotwio-betomowa KB



Rys. 22. Obudowa stalowo-betonowa SB

O nośności obudowy SB decydują następujące parametry: grubość warstwy betonu natryskowego, klasa betonu natryskowego, jego przyczepność do górotworu, parametry wytrzymałościowe kształtowników łuków oraz odstęp pomiędzy odrzwiami.

Obudowa kotwiono-betonowo-stalowa (rys. 23) jest obudową powłokową złożoną z cienkościennej warstwy betonu natryskowego nałożonego na obnażony górotwór, obudowy kotwionej i stalowo-betonowej lub odrzwiowej obetonowanej.

Obudowę stalowo-betonową w wersji lekkiej stanowią odrzvia stalowe obetonowane z wypełnieniem wykładki zaprawą cementową poprzez iniekcję niskociśnieniową, w wersji normalnej warstwa betonu natryskowego wzmocniona odrzwiami stalowymi i siatką zbrojeniową oraz w wersji ciężkiej (rys. 24) - cienkościenne warstwa betonu natryskowego, obudowa kotwiona oraz 2 warstwy obudowy stalowo-betonowej.

Nośność obudowy KBS zależy od: grubości warstwy betonu natryskowego i jego klasy, przyczepności do podłoża, parametrów wytrzymałościowych kształtowników łuków obudowy odrzwiowej, odstępu między odrzwiami, rozstawu kotwi między rzędami kotwi i po obwodzie wyrobiska oraz od długości całkowitychkotwi i ich rodzaju.

Obudowa betonowa (rys. 25) jest obudową składającą się z grubościennej warstwy betonu zwykłego układanego pomiędzy odeskowanie nadające kształt wyrobisku. O nośności decyduje klasa betonu i grubość warstwy betonu.

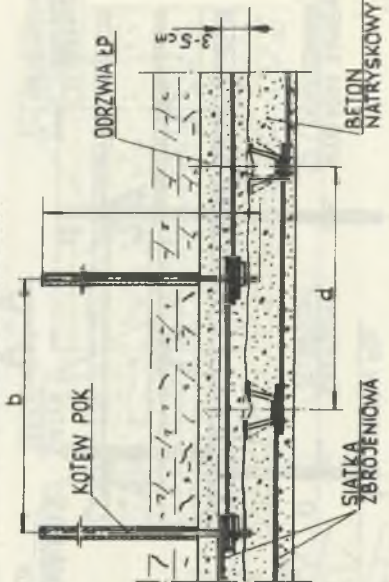
Obudowa żelbetowa (rys. 26) wykonana jest z grubościennej zbrojonej warstwy betonu zwykłego, w której zbrojenie jako element konstrukcyjny ma za zadanie znosić naprężenia rozciągające. W bardzo trudnych warunkach geotechnicznych wykonana jest jak na rys. 27.

Obudowa spodka wyrobiska zależnie od warunków górniczo-geologicznych może być wykonana w postaci: stalowych spągnic prostych (rys. 28) lub łukowych (rys. 29), płyty stalowo-betonowej (rys. 28) względnie sklepienia stalowo-betonowego (rys. 29) lub z elementów prefabrykowanych (rys. 30) oraz w postaci sklepienia żelbetowego.

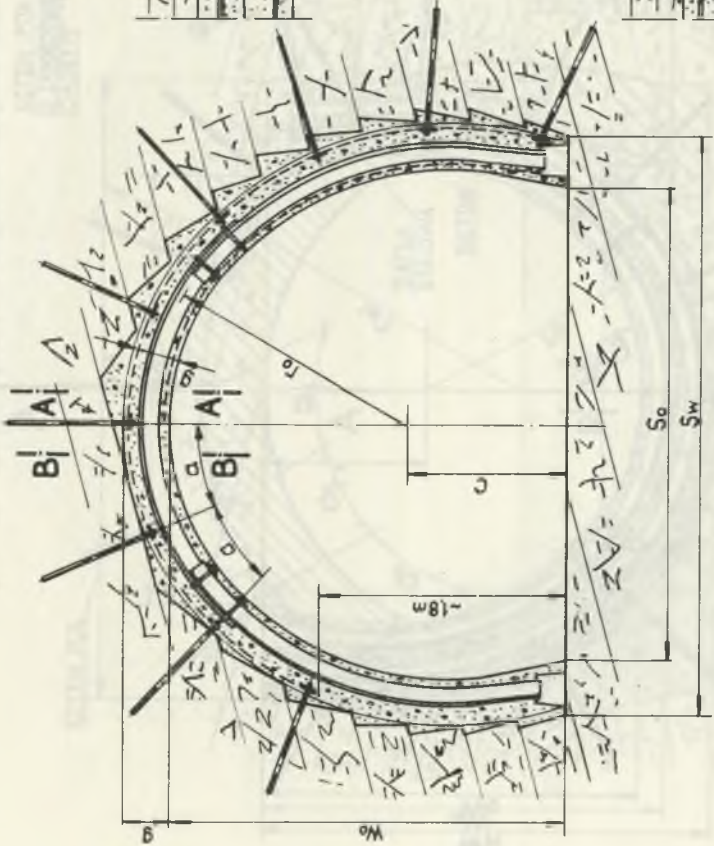
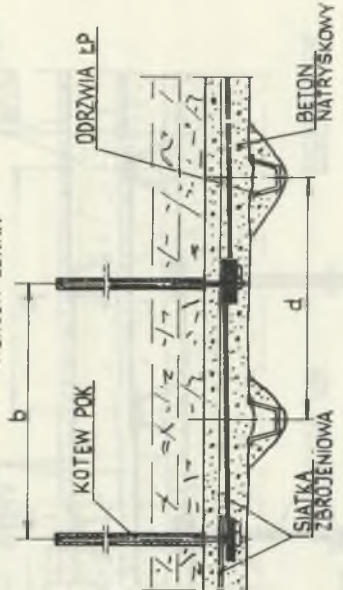
Obudowa powłokowa upodatniona (rys. 31) to obudowa OB, SB lub KBS, w której na wysokości złącza odrzwi pozostawiono w czasie betonowania podłużną szczelinę dylatacyjną pozwalającą na przemieszczanie się sklepienia pułapu wyrobiska względem obudowy ociosów.

Po ustabilizowaniu się ruchów górotworu, gdy obudowa powłokowa jest obudową ostateczną wyrobiska, pozostałą szczelinę wypełnia się betonem natryskowym. Gdy obudowa powłokowa stanowi obudowę wstępną wyrobiska, wówczas można przystąpić do wznoszenia obudowy uzupełniającej - ostatecznej.

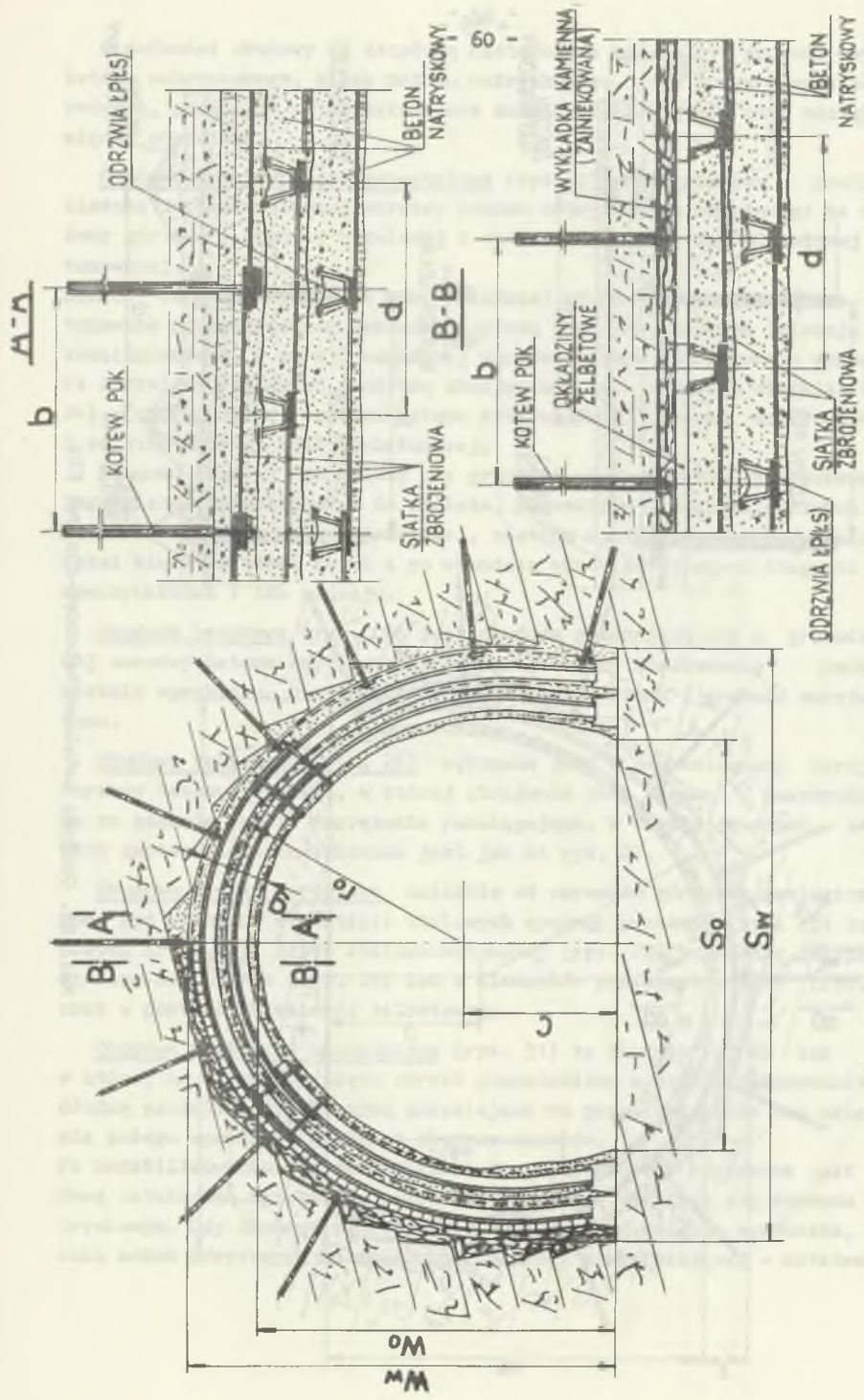
A-A
WERSJA NORMALNA



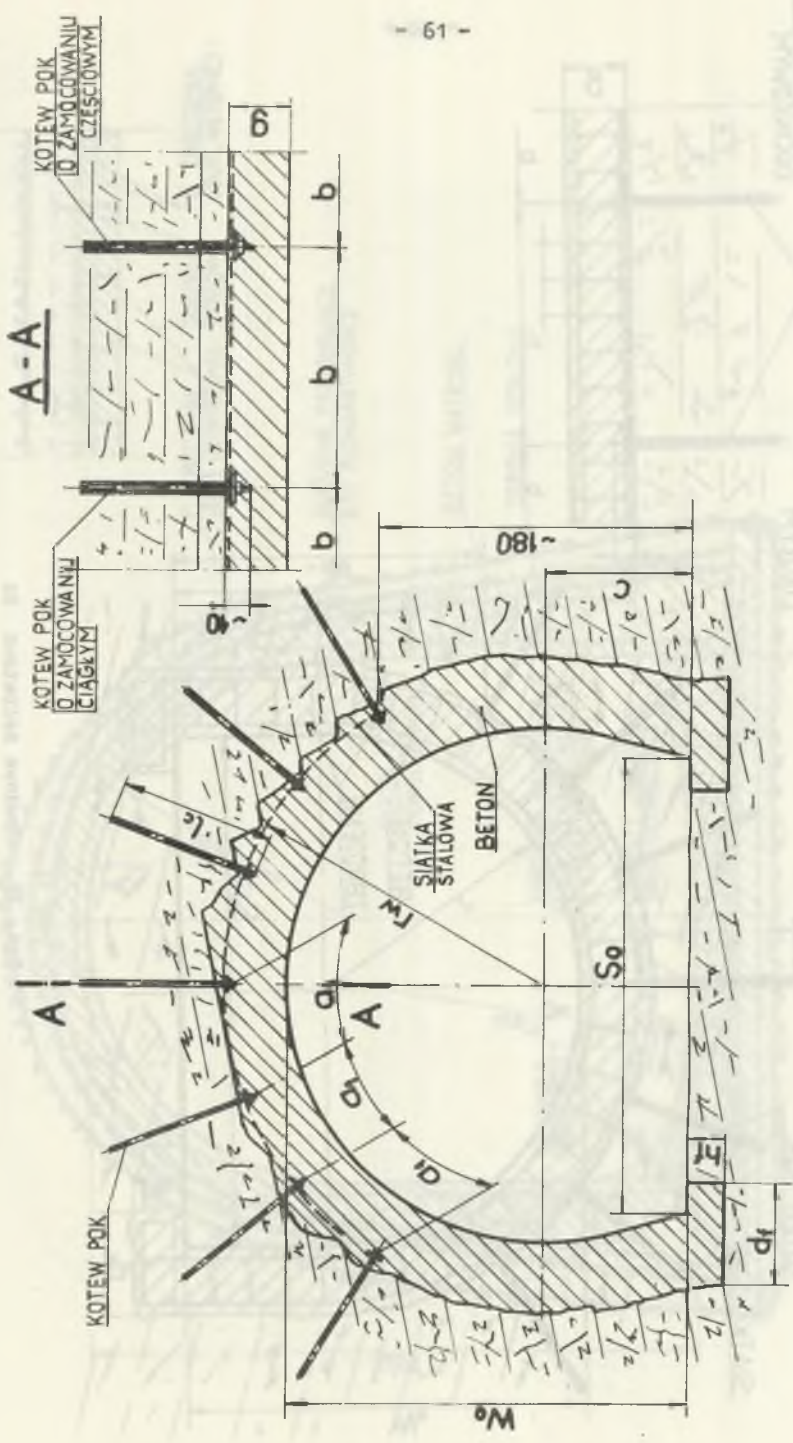
B-B
WERSJA LEKKA



Rys. 23. Obudowa kotwiono-betonowo-stalowa KBS

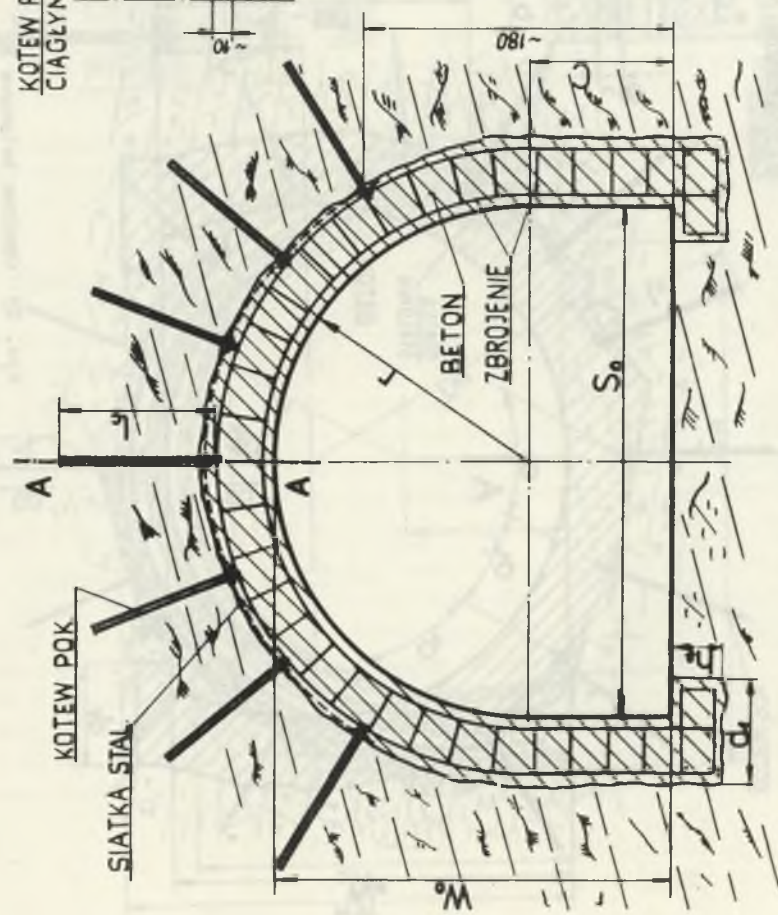
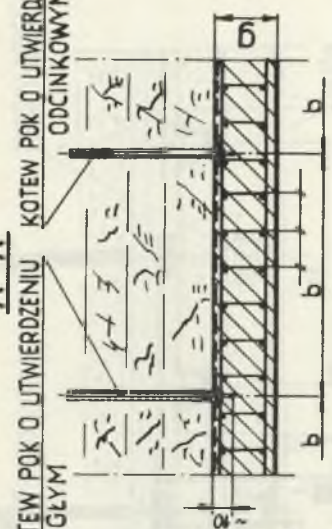


Rys. 24. Obudowa kotwiono-betonowo-stalowa KBS (typu ciężkiego)

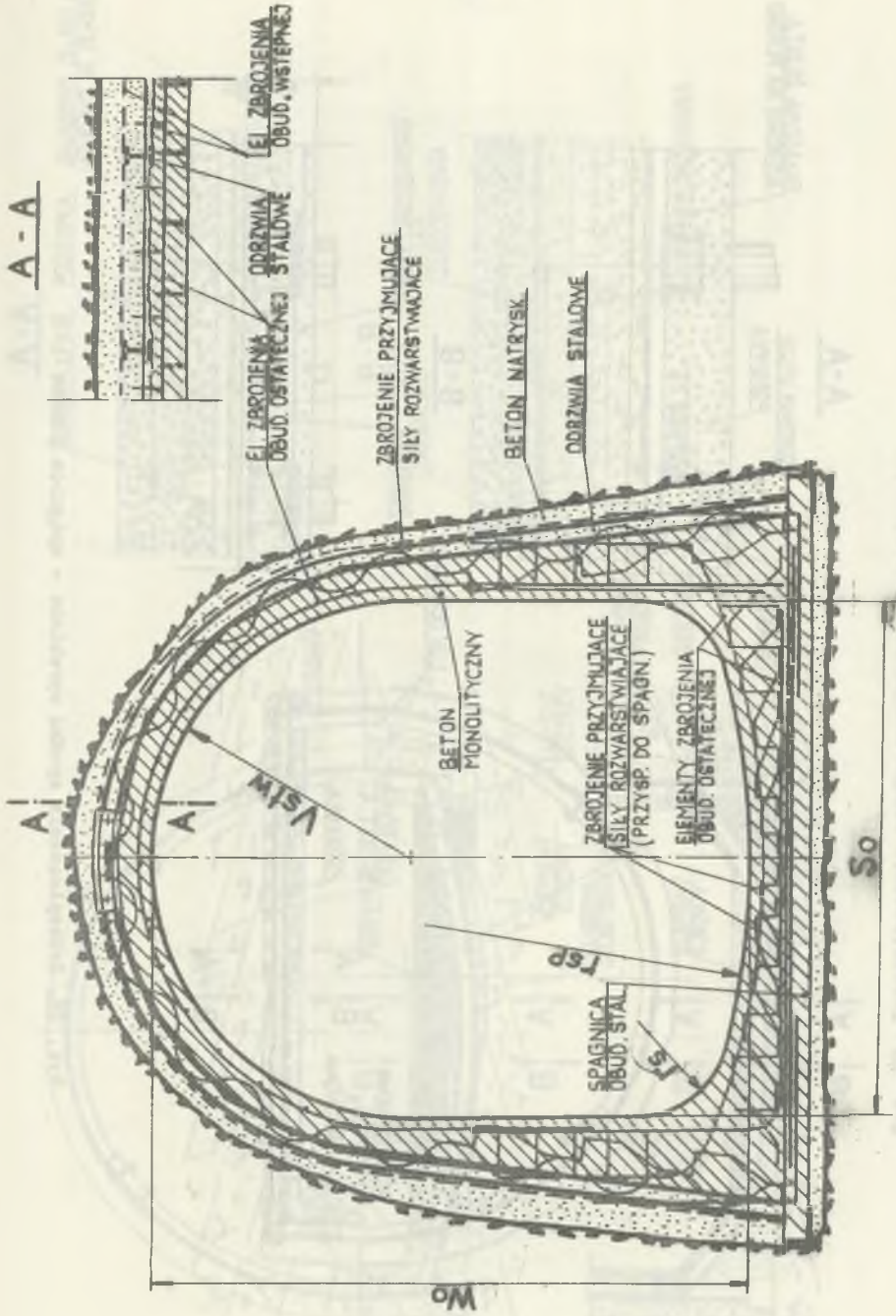


Rys. 25 Obudowa betonowa B

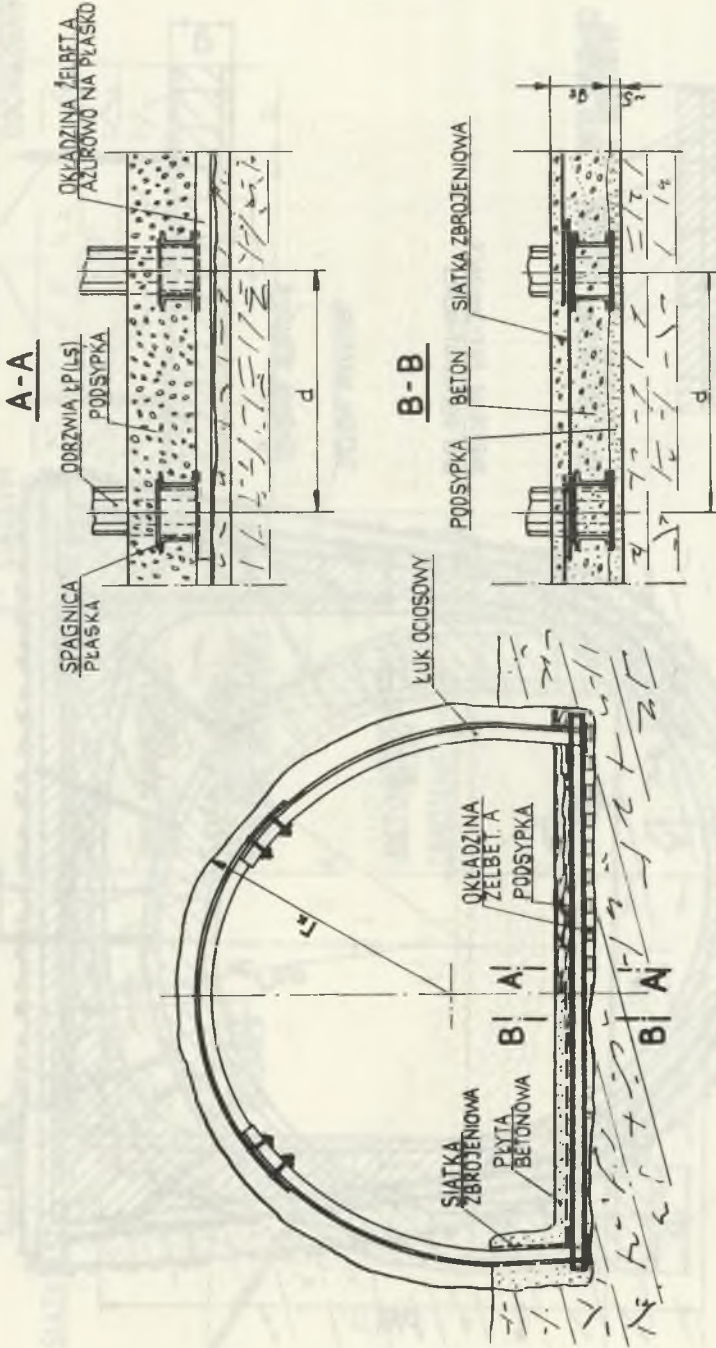
A-A
 KOTEW POK O UTWIERDZENIU CIAGLYM KOTEW POK O UTWIERDZENIU ODCINKOWYM



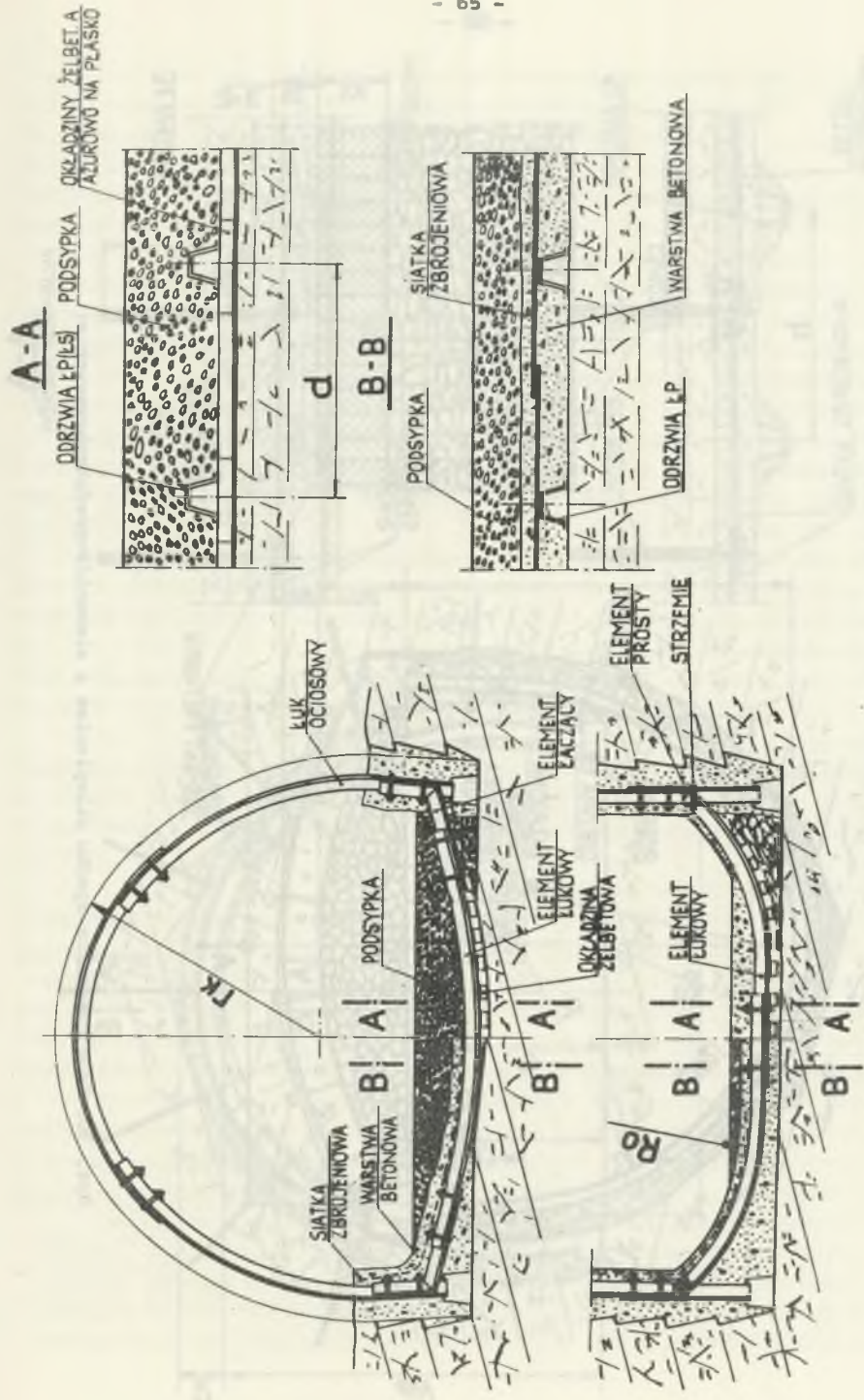
Rys. 26. Obudowa żelbetowa Bz



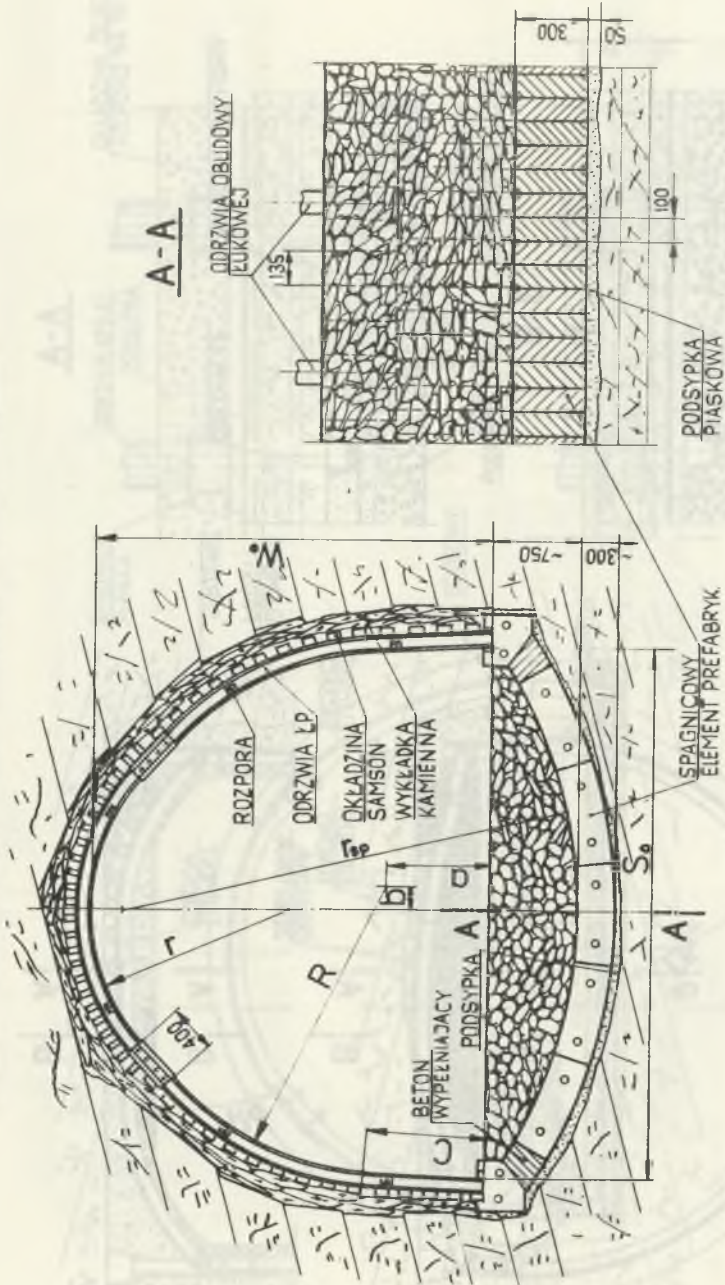
Rys. 27. Obudowa żelbetowa zamknięta Bż



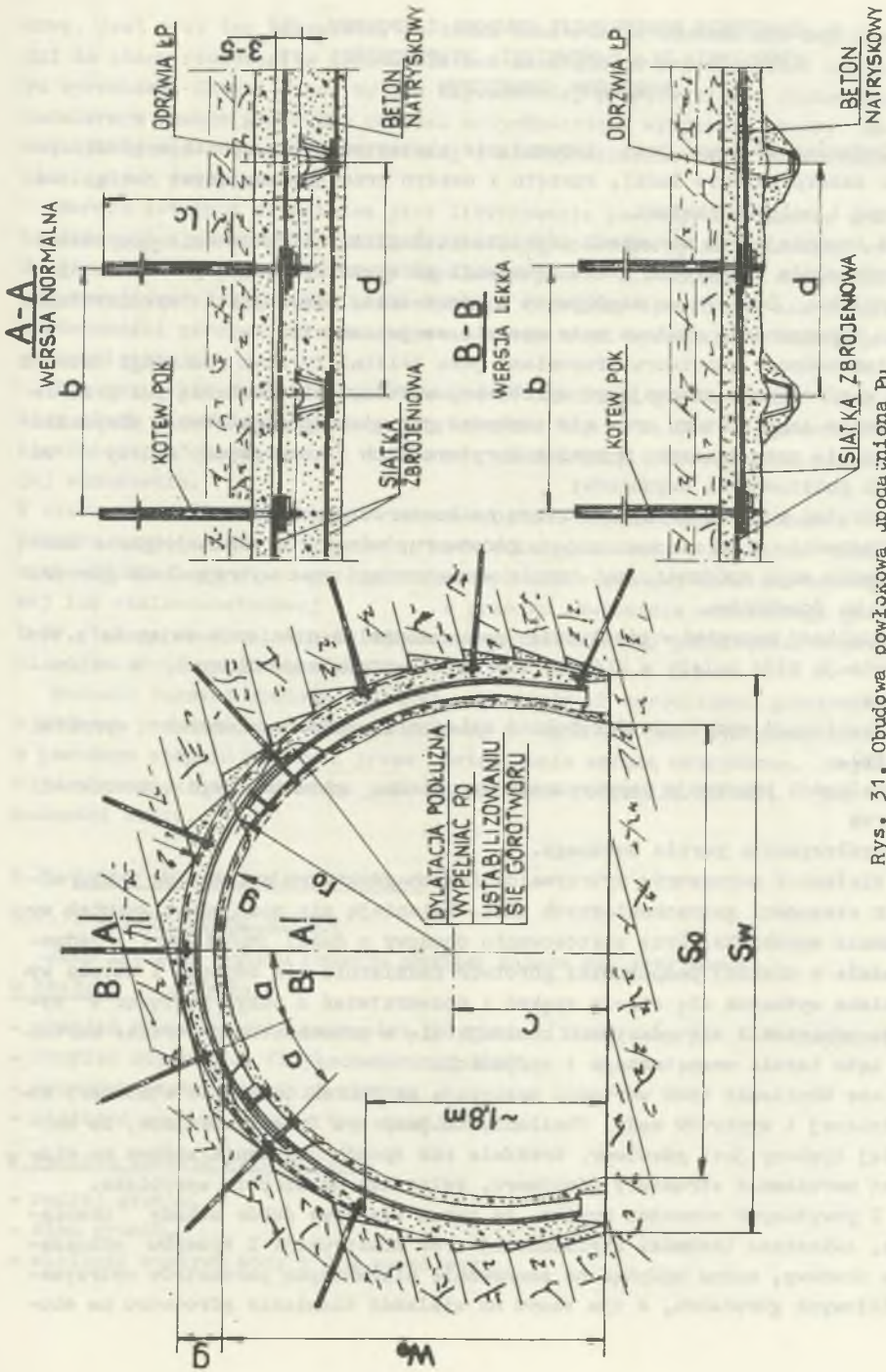
Rys. 28. Zabezpieczenie spodka wyrobiska - spagnica płaska



Rys. 29. Zabezpieczenie spodka wyrobiska - spęgnica łukowa



Rys. 30. Zabezpieczenie spodka sklepienia z elementów prefabrykowanych



Rys. 31. Obudowa powłokowa jpodłużna Pu

6. ZNACZENIE KONSTRUKCJI OBUDOWY I SPOSOBU JEJ WZNOSZENIA DLA ZAPEWNIENIA STATECZNOŚCI WY- ROBISKOM GÓRNICZYM

Zadaniem obudowy jest zapewnienie stateczności wyrobiskom górniczym oraz zabezpieczenie ludzi, sprzętu i maszyn przed obrywającymi się ze stropu i ociosów skałami.

W trudniejszych warunkach górniczo-geologicznych obudowa nie jest zdolna samodzielnie przywrócić stanu równowagi górotworu naruszonego wykonaniem wyrobiska. Dopiero we współpracy z górotworem, powodując i wykorzystując jego samonośność, obudowa może spełnić swoje zadanie.

Samonośność górotworu (rozumiana jako zaistniały stan równowagi wtórnej w górotworze otaczającym wyrobisko, w którym nie zachodzą już przemieszczenia jego konturu oraz nie zachodzi już niebezpieczeństwo obrywania się skał) przy drążeniu wyrobisk korytarzowych i komorowych zależy od dwóch podstawowych czynników:

- naprężeń w górotworze, zwłaszcza na konturze wyrobiska oraz
- własności fizykomechanicznych górotworu, wśród których największe znaczenie mają spójność, kąt tarcia wewnętrznego oraz wytrzymałość górotworu na ściskanie.

Wielkość naprężeń w górotworze nie narażonym na ciśnienie związane z eksploatacją złóż zależy w głównej mierze od warunków górniczych, a mianowicie:

- lokalizacji wyrobiska (głębokość zalegania, wpływ sąsiednich wyrobisk itp.),
- wielkości przekroju poprzecznego wyrobiska, głównie jego szerokości oraz
- współczynnika parcia bocznego.

Wielkości parametrów wytrzymałościowych górotworu zależą od naturalnych własności geomechanicznych skał. Zmieniają się one jednak wskutek wykonania wyrobiska. Przy zastosowaniu obudowy o dużej podatności i jednocześnie o niskiej podporności górotwór nadmiernie się odpręża i dokoła wyrobiska wytwarza się strefa spękań i rozwarstwień o dużym zasięgu. W wyniku odprężenia się górotworu obniżają się w przedmiotowej strefie wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności.

Dalsze obniżenie tych wartości następuje na skutek działania atmosfery kopalnianej i wpływów wody. Obniżenie to jest tym intensywniejsze, im bardziej spękany jest górotwór. Wreszcie sam sposób urabiania wpływa na stopień naruszenia struktury górotworu, zwłaszcza na obrysie wyrobiska.

Z powyższych rozważań wynika, że przez właściwy dobór metody urabiania, zwłaszcza techniki strzelniczej oraz konstrukcji i sposobu wznoszenia obudowy, można wpłynąć na zachowanie pierwotnych parametrów wytrzymałościowych górotworu, a tym samym na wielkość ciśnienia górotworu na obu-

dowę. Jest przy tym oczywiste, że żadna konstrukcja obudowy nie doprowadzi do stanu równowagi w górotworze bez niezbędnych przemieszczeń konturu wyrobiska. Chodzi o to, by jak najwcześniej przeciwdziałać skutecznie nadmiernym ruchom górotworu poprzez natychmiastowe wykonanie choćby nawet tylko części obudowy ostatecznej i niedopuszczenie do powstawania nieciągliwych przemieszczeń.

Bardzo istotnym czynnikiem jest likwidowanie powstałych w czasie urabiania spękań na obrysie wyrobiska. Izolując nieodporny na działanie wody górotwór od wpływu atmosfery kopalnianej oraz likwidując możliwości penetracji wody za obudowę można wpłynąć w istotny sposób na zachowanie stateczności górotworu i tym samym na stateczność wyrobiska w czasie jego eksploatacji.

Nie wszystkie zaobserwowane "wzmózone" ciśnienia górotworu są wynikiem złych warunków górniczo-geologicznych. Często są one spowodowane niewłaściwym doбором metody urabiania, konstrukcji obudowy oraz sposobu jej wznoszenia.

W wielu przypadkach już cienka warstwa betonu natryskowego nałożona w przodku bezpośrednio na górotwór, kotwienie górotworu, a w bardzo trudnych warunkach górniczo-geologicznych wykonanie obudowy kotwiowo-betonowej lub stalowo-betonowej w przodku skutecznie stabilizuje górotwór, tak że obudowa uzupełniająca o znacznie niższej podporności zapewni stateczność wyrobiskom kapitalnym.

Nośność łukowej obudowy podatnej w kapitalnych wyrobiskach górniczych, w których podatność konstrukcji obudowy na ogół nie jest wymagana, można w poważnym stopniu poprawić przez obetonowanie metodą natryskową. Uzyskuje się dzięki temu zarówno poprawę warunków podparcia odrzwi, jak i nośności złącz.

6.1. Zasady doboru rodzaju obudowy

6.1.1. Ogólne zasady doboru

Jako kryteria doboru rodzaju obudowy zaleca się przyjmować:
w skałach zwięzłych:

- stopień zaawansowania tektoniki górotworu (ilość zaburzeń tektonicznych)
- stopień odporności fizykochemicznej skał,
- wskaźnik stateczności górotworu,
- wielkość wypływu wody z 1 m wyrobiska,

w skałach luźnych (gruntowych)

- rodzaj gruntu,
- stan gruntu,
- wielkość wypływu wody z 1 m wyrobiska.

6.1.1.1. Skały zwięzłe

- W skałach zwięzłych o niezaawansowanej tektonice zaleca się stosować:
- przy zaleganiu wyrobiska na głębokości nie przekraczającej głębokość krytyczną ($H \leq H_{kr}$) obudowę z betonu natryskowego B_n lub obudowę kotwiczną K,
 - przy zaleganiu wyrobiska na głębokości $H > H_{kr}$ obudowy odrzwiowe ŁS, ŁP, odrzwiowe obetonowane OB, obudowę kotwico-betonowo-stalową KBS lub kotwico-betonową KB. Rodzaj obudowy należy dobierać w zależności od stopnia odporności fizykochemicznej skał oraz od wartości wskaźnika stateczności górotworu,

W skałach o niskiej odporności fizykochemicznej, zwłaszcza w przypadku zawodnienia górotworu, nie zaleca się stosować obudowy ŁP, ŁS lub KB, a jedynie obudowę OB lub KBS.

W skałach zwięzłych o zaawansowanej tektonice zaleca się stosować obudowę obetonowaną OB, stalowo-betonową SB lub kotwico-betonowo-stalową KBS. Rodzaj obudowy należy dobierać w zależności od wartości wskaźnika stateczności górotworu i stopnia odporności fizykomechanicznej skał.

W skałach o niskiej odporności fizykochemicznej, zwłaszcza w przypadku zawodnienia górotworu, zaleca się zamknięcie obudowy w korzystniejszych warunkach geologicznych spągnicą prostą lub płytą stalowo-betonową zaś w niekorzystniejszych - spągnicą łukową względnie sklepieniem stalowo-betonowym lub z elementów prefabrykowanych. Przy dopływie wody z 1 m wyrobiska, przekraczającym 25 l/min, zaleca się w obudowie OB, SB i KBS przeprowadzić iniekcję niskociśnieniową za obudową, aby nie dopuścić do wytworzenia się pustek za obudową i powstania obwałów.

Przy spodziewanych dużych ciśnieniach hydrostatycznych zaleca się drażyć wyrobisko we wstępnej obudowie stalowo-betonowej SB i uzupełnić ją obudową żelbetową Bz.

Zaleca się ograniczyć wielkość hydrostatycznego ciśnienia za obudową.

6.1.1.2. Skały luźne (grunty)

W gruntach spoistych zaleca się stosować obudowę SB ze sklepieniem zamknięciem spodku wyrobiska.

W gruntach sypkich, w przypadku gdy występują trudności w utrzymaniu czoła przodku, uznaje się za konieczne stosowanie wstępnej obudowy z betonu natryskowego B_n uzupełnionej natychmiast obudową stalowo-betonową SB z zabezpieczeniem spodku wyrobiska płytą stalowo-betonową lub sklepieniem stalowo-betonowym.

Przy spodziewanych dużych ciśnieniach hydrostatycznych zaleca się drażyć wyrobisko we wstępnej obudowie stalowo-betonowej SB i uzupełnić ją obudową żelbetową Bz.

6.1.1.3. Upodatnione obudowy

Przyjęta konstrukcja obudowy powinna zapewnić przejście wymuszonych przemieszczeń obudowy.

W przypadku gdy spodziewane przemieszczenia wymuszone przekraczają dopuszczalne odkształcenia obudowy (podatność radialną obudowy), można je zredukować poprzez zastosowanie wstępnej obudowy kotwiowej K, kotwiowo-betonowej KB lub odrzwiowej ŁP.

Jeżeli redukcja przemieszczeń przedmiotowymi obudowami jest niewystarczająca, zaleca się stosować w obudowach powłokowych dylatacje podłużne, tj. upodatnioną obudowę powłokową Pu, zaś w obudowach sklepionych wkładki upodatniające.

6.1.2. Zakres stosowania poszczególnych rodzajów obudów

6.1.2.1. Obudowa łukowa podatna ŁP

Obudowa łukowa podatna ŁP przeznaczona jest głównie do zabezpieczenia wyrobisk korytarzowych znajdujących się w zasięgu wpływu ciśnień eksploatacyjnych.

W przypadku stosowania łukowej obudowy podatnej do zabezpieczenia wyrobisk kapitałnych, zwłaszcza wyrobisk komorowych, należy kierować się następującymi zasadami:

- nośność odrzwi łukowej obudowy podatnej zależy zarówno od parametrów wytrzymałościowych kształtownika, jak i od nośności złącza;
 - nośność odrzwi z uwagi na parametry wytrzymałościowe kształtownika jest w warunkach dołowych tym lepiej wykorzystana, im wyższy jest moduł ścisłości E_w wykładki;
 - redukcja momentów zginających w wyniku działania oporu biernego prawidłowo wykonanej wykładki jest przy kształtownikach o dużej masie (V36 i V44) znacznie mniejsza aniżeli w odrzwiach wykonanych z kształtowników V21 i V25.
- Tym samym stosunek nośności odrzwi z uwagi na nośność kształtownika do jego masy jest dla lekkich kształtowników korzystniejszy niż dla ciężkich;
- redukcji momentów zginających towarzyszy wzrost siły osiowej, która musi być przenoszona przez złącza. Wartość jej nie jest w poszczególnych odcinkach odrzwi jednakowa, przy obciążeniach pionowych rośnie ona w miarę zbliżania się do stopy podporowej;
 - wykorzystanie nośności odrzwi z uwagi na parametry wytrzymałościowe kształtownika wymaga na ogół, zwłaszcza w wyrobiskach o dużym przekroju poprzecznym (powyżej ŁP 10), usztywnienia złącz.

Obudowę ŁP zaleca się stosować do zabezpieczania kapitałnych wyrobisk górniczych w przypadku, gdy:

- parametry geotechniczne górotworu otaczającego wyrobisko (R_{cg} , φ_g i

- c_g) nie ulegają istotnemu zmniejszeniu pod wpływem działania atmosfery kopalnianej,
- w skałach związanych o średnio zaawansowanej tektonice (klasa szczelności II i III) oraz jako obudowę wstępną, gdy wymuszone przemieszczenia obudowy przekraczają dopuszczalne odkształcenia (podatność radialną) innych konstrukcji obudów.

6.1.2.2. Obudowa łukowa sztywne LS

Obudowa łukowa sztywne LS przeznaczona jest głównie do zabezpieczenia długotrwałych wyrobisk korytarzowych. Obudowę LS można stosować w skałach o średniozaawansowanej tektonice (klasa szczelności II i III), gdy parametry geomechaniczne górotworu otaczającego wyrobisko (R_{cg} , ρ_g i c_g) nie ulegają istotnemu zmniejszeniu pod wpływem działania atmosfery kopalnianej.

Z uwagi na ograniczoną podatność obudowa ta może być stosowana jedynie przy występowaniu nieznacznych wartości wymuszonych przemieszczeń.

6.1.2.3. Obudowa kotwiona K

Obudowę kotwioną zaleca się stosować w długotrwałych wyrobiskach głównie jako obudowę wstępną lub uzupełniającą w celu redukcji ciśnień i przemieszczeń górotworu. W wyrobiskach krótkotrwałych może być stosowana również jako ostateczna. Dla uzyskania drogą systematycznego kotwienia nośnego pierścienia skalnego zaleca się stosować pewną ilość kotwi (co 3 ÷ 6) o długości całkowitej l_c , zapewniającej utwierdzenie kotwi poza zasięgiem strefy odprężonej r_L na odcinku długości co najmniej 0,6 m.

Obudowa K może być stosowana, gdy równocześnie spełnione są następujące warunki:

- skały otaczające wyrobisko odpowiadają kategorii I-VIIa wg zał. 1. do BN-79/0434-04,
- górotwór nie jest zawodniony, tj. gdy wyciek wody z otworu kotwionego odbywa się kroplami.

6.1.2.4. Obudowa odrzwiowo - obetonowana OB

Obetonowanie obudowy odrzwiowej zwiększa w poważnym stopniu jej podporność oraz częściowo izoluje górotwór od wpływu atmosfery kopalnianej. Obudowę OB można stosować w przypadku występowania znacznych ciśnień górotworu, pod warunkiem naniesienia betonu natryskowego przed zaistnieniem silnych deformacji obudowy odrzwiowej (np. wyprostowania lub przegięcia stropnicy).

6.1.2.5. Obudowa z betonu natryskowego B_n

Zaleca się stosować taką obudowę jako samodzielną wyłącznie w korzystnych warunkach górniczo-geologicznych. W trudnych warunkach górniczo-geologicznych obudowa B_n może być stosowana jako wstępna, w szczegól-

ności gdy zachodzi potrzeba scalenia i stabilizacji luźnego górotworu na obrysie wyrobiska i czoła przodku.

6.1.2.6. Obudowa kotwiono-betonowa KB

Zaleca się stosować ją jako obudowę ostateczną wyrobisk komorowych i korytarzowych o dużym przekroju poprzecznym (powyżej 20 m²) oraz jako obudowę wstępną wyrobisk korytarzowych i komorowych drążonych w trudnych warunkach górniczo-geologicznych. Obudowę KB można stosować, gdy równocześnie spełnione są następujące wymagania:

- skały otaczające wyrobisko odpowiadają kategorii I-VIa wg zał. 1 do BN-79/0434-04,
- górotwór nie jest zawodniony, tj. wyciek wody z otworu kotwionego odbywa się kroplami.

6.1.2.7. Obudowa stalowo-betonowa SB

Zaleca się stosować ją jako obudowę ostateczną wyrobisk korytarzowych i komorowych drążonych w trudnych warunkach górniczo-geologicznych. Może być stosowana ona również jako obudowa wstępna względnie uzupełniająca.

6.1.2.8. Obudowa kotwiono-betonowo-stalowa KBS

Zaleca się stosować taką obudowę w wyrobiskach korytarzowych i komorowych drążonych w trudnych warunkach górniczo-geologicznych, zwłaszcza gdy zachodzi konieczność redukcji ciśnień i przemieszczeń górotworu oraz zapobiegania powstaniu nieciągłych przemieszczeń górotworu natychmiast po jego odsłonięciu.

Obudowę KBS można stosować w przypadku, gdy równocześnie spełnione są następujące wymagania:

- skały otaczające wyrobisko odpowiadają kategorii I-VIa wg zał. 1 do BN-79/0434-04,
- górotwór nie jest zawodniony, tj. gdy wyciek z otworu kotwionego odbywa się kroplami.

6.1.2.9. Obudowa powłokowa upodatniona P_u

Zaleca się stosować ją przy drążeniu wyrobisk korytarzowych i komorowych w bardzo trudnych warunkach górniczo-geologicznych, gdy wymuszone ciśnieniem górotworu przemieszczenia konturu wyrobiska przekraczają dopuszczalne odkształcenia (podatność radialną) innych konstrukcji obudów.

6.1.2.10. Obudowa betonowa B

Obudowę betonową zaleca się stosować w długotrwałych wyrobiskach komorowych o skomplikowanym kształcie, zwłaszcza gdy względu użytkowe wymagają gładkości powierzchni i dużą dokładność wymiarów obudowy.

6.1.2.11. Obudowa żelbetowa B₂

Obudowę żelbetową zaleca się stosować w długotrwałych wyrobiskach korytarzowych i komorowych zlokalizowanych w szczególnie niekorzystnych warunkach górniczo-geologicznych (w skałach luźnych przy występowaniu znacznych ciśnień hydrostatycznych itp.).

6.1.2.12. Obudowa spodka wyrobiska

Spągnice stalowe zaleca się stosować w obudowach odrzwiowych w przypadku gdy nie zachodzi rozmakanie skał spągowych.

Płyte stalowo-betonową, płytę żelbetową, sklepienie stalowo-betonowe lub sklepienie z elementów prefabrykowanych zaleca się stosować, gdy skały zalegające w spodku wyrobiska odpowiadają kategorii VII-X wg. zał. 1 do BN-79/0434-04 oraz gdy skały ulegają rozmakaniu.

Sklepienie żelbetowe zaleca się stosować przy dużych ciśnieniach hydrostatycznych.

6.1.3. Wstępny dobór konstrukcji obudowy

W zależności od zakresu posiadanych informacji górniczo-geologicznych proponuje się dokonać doboru rodzaju obudowy bądź w oparciu o klasyfikację górotworu wg Lauffera (tablica 6, (rys. 32)) bądź też na podstawie wartości oszacowanych oddziaływań górotworu, Zakres nośności obudów podporowych podano na rys. 33.

6.1.3.1. Dobór konstrukcji obudowy na podstawie klasyfikacji Lauffera

Dla oceny warunków geologicznych dla potrzeb drążenia przyjęła się w światowym budownictwie tunelowym zaproponowana przez Lauffera klasyfikacja górotworu. Podstawą podziału górotworu na siedem klas od A do G są dwa parametry:

- czas istnienia samonośności górotworu T_L , tj. czas stateczności górotworu bez obudowy oraz
- długość (szerokość) niezabudowanego (nie podpartego) odcinka wyrobiska l.

Jako l należy przyjmować mniejszą wartość z długości zabioru i szerokości wyrobiska w wyłomie.

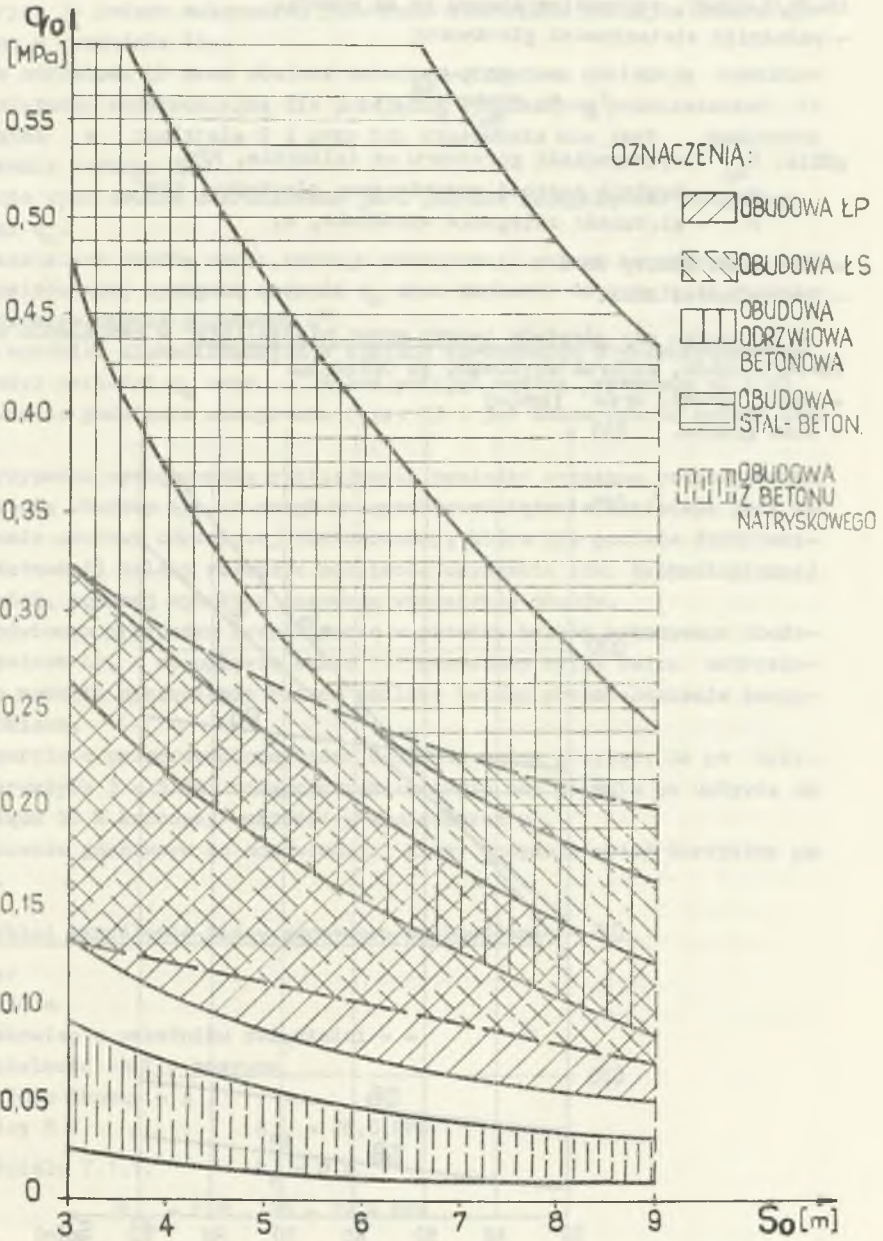
Obserwacje zachowania się górotworu w trakcie drążenia umożliwiają jego zaszeregowanie do odpowiedniej klasy.

Mając na uwadze trudności w ocenie klasy górotworu w fazie projektowania przyporządkowano poszczególnym klasom charakterystykę górotworu.

Klasyfikacja skał według Lauffera

Klasa górotworu	Charakterystyka górotworu			Parametry T_L i l wg Lauffera			Nazwa górotworu	Według oryginalu	Propozycja
	Grunt skalisty		Grunt nieskalisty	Lauffera		Normy SIA-139			
	wskaznik stateczności górotworu S_g	wskaznik Skutty		podzielność skał	T_L				
A	$> 1,3$	A, B	-	20 lat	4,0	-	-	stateczny	stateczny
B	$0,71 \pm 0,30$	A, B	-	6-mies.	4,0	-	-	stwierdzony	stwierdzony
C	$0,71 \pm 0,30$ $0,36 \pm 0,70$	C, F A, B	-	1 tydz.	3,0	1 tydzień 2 tygodnie 8 tygodni	5,0 3,0 1,0	stwierdzony	stwierdzony
D	$0,36 \pm 0,70$ $0,21 \pm 0,35$	C, F A, B	-	5 godz.	1,5	3 godz. 6 godz. 24 godz.	5,0 3,0 1,0	stwierdzony	stwierdzony
E	$0,21 \pm 0,35$ $\leq 0,20$	C, F	grunt spoisty	20 min.	0,8	5 min. 15 min. 45 min.	4,0 2,0 1,0	stwierdzony	stwierdzony
F	-	-	grunt spoisty grunt sypki	2 min.	0,8	-	-	stwierdzony	stwierdzony
G	-	-	grunt spoisty $0 < J_L \leq 1,0$ grunt sypki $S_r > 0,8$	10 sec.	0,15	-	-	stwierdzony	stwierdzony

JL - stopień plastyczności wg PN-74/B-02480, S_r - stopień wilgotności wg PN-74/B-02480, S_g - wskaźnik stateczności górotworu



Rys. 33. Zakres nośności obudów podporowych

W przypadku gdy górotwór tworzy grunt skalisty w rozumieniu normy PN-74/B-02480, scharakteryzowano go za pomocą:

- wskaźnika stateczności górotworu;

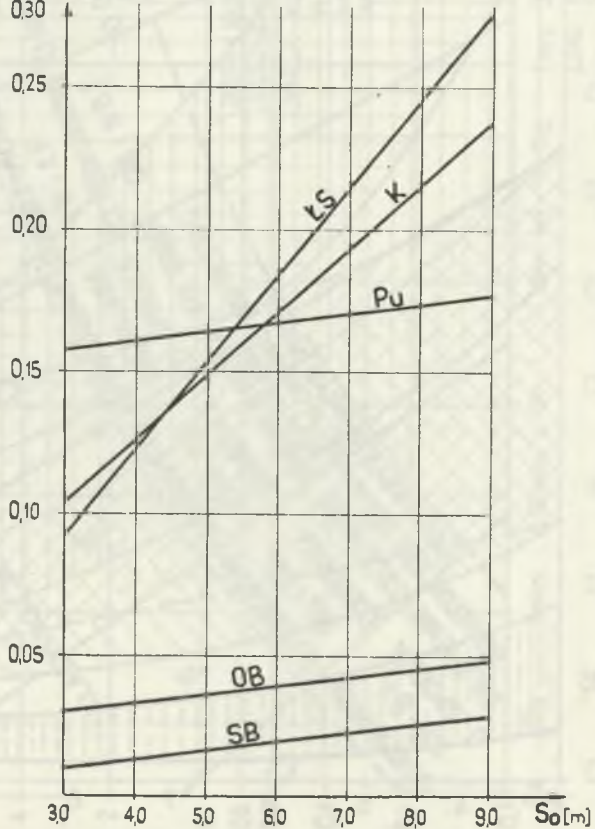
$$S_g = \frac{50 \cdot R_{CG}}{\gamma_o \cdot H},$$

gdzie: R_{CG} - wytrzymałość górotworu na ściskanie, MPa,
 γ_o - średnia gęstość przestrzenna górotworu, t/m^3 ,
 H - głębokość zalegania wyrobiska, m,

- wskaźnika Skutty oraz
- podzielności skał.

W przypadku gdy górotwór tworzy grunt nieskalisty w rozumieniu normy PN-74/B-02480, scharakteryzowano go opisując:

- rodzaj gruntu oraz $U_{ob}[m]$
- stan gruntu. 0,30



Rys. 34. Maksymalna podatność obudów

Na rys. 34 podano maksymalną podatność niektórych rodzajów obudów wyznaczoną w rozdziale 11.

Obudowa odrzwiowa ŁP oraz obudowa kotłowo-odrzwiowa posiadają dostateczną podatność konstrukcyjną dla przejścia wymuszonych przemieszczeń określonych w rozdziale 9 i przy ich stosowaniu nie jest konieczne sprawdzenie warunku (62).

Przyjęcie tych obudów uwarunkowane jest jedynie osiągnięciem pożądanej nośności q_0 .

Dla pozostałych obudów dobór rodzaju konstrukcji polega na przyjęciu obudowy posiadającej wymaganą nośność q_0 oraz zdolność do przejścia wymuszonego przemieszczenia górotworu u^w .

Dla wyrobisk zlokalizowanych w skałach karbońskich o przeciętnej podzielności wartości q_0 oraz u^w można przyjąć według rysunków 42 i 43 i wówczas na podstawie nomogramów (rys. 33 i 34) można dobrać rodzaj obudowy.

W przypadku występowania rozbieżności pomiędzy wymaganą podpornością i podatnością obudowy (np. z uwagi na wysokie obciążenia konieczne jest zastosowanie obudowy odrzwiowej obetonowanej, która nie posiada dostatecznej podatności) należy rozważyć możliwość uzyskania tzw. technologicznej podatności, będącej wynikiem fazowego wznoszenia obudów.

W omówionym przypadku bezpośrednio w przodku byłaby wykonywana obudowa odrzwiowa ŁP, a po upływie czasu "t" nanoszony byłby beton natryskowy. Do momentu naniesienia betonu możliwe byłoby przemieszczenie konturu wyrobiska.

W oparciu o przeprowadzone badania dołowe można przyjąć, że po upływie pierwszych 3 - 5 dni osiągniętych zostanie ok. 25 %, a po upływie ok 1 miesiąca 50 % końcowej wartości przemieszczeń u_w .

O zaliczeniu górotworu do odpowiedniej klasy decyduje mniej korzystny parametr.

Przykład określenia klasy górotworu wg Lauffera

D a n e:

H = 750 m

piaskowiec o wskaźniku zwięzłości = 4

podzielność skał - masywna

wskaźnik Skutty - A

Z tablicy 8 $R_{cs} = 28,0$ MPa

wg rozdziału 7.1.1. $k_0 = 0,8$

$$R_{cg} = 0,8 \cdot 28 = 22,4 \text{ MPa}$$

$$S_g = \frac{50 \cdot 22,4}{2,5 \cdot 750} = 0,6$$

Z tabl. 6 odczytujemy klasę górotworu "C".

Rodzaj konstrukcji obudowy zaleca się wstępnie dobierać z rys. 32 w zależności od klasy górotworu. Podane na osi rzędnych długości nieopartego odcinka l oraz na osi odciętych czas istnienia samonośności górotworu T_L dostarczają informacji dla technologii drążenia.

6.1.3.2. Dobór konstrukcji obudowy na podstawie oszacowanych oddziaływań górotworu na obudowę

W przypadku oszacowania obliczeniowej wartości obciążenia np. wg rozdziału 9, można dokonać doboru obudowy z rys. 33.

Na rys. 33 naniesiono minimalną i maksymalną nośność poszczególnych obudów, określoną wg rozdz. 11 przy następujących założeniach:

- obudowa ŁP

kształtowniki V21 + V29
odrzwia w rozstawie 1,0 + 0,5 m
złącza o nośności 200 + 300 kN

- obudowa ŁS

kształtowniki V21 + V29
odrzwia w rozstawie 1,0 + 0,5 m
połączenie elementów odrzwi - sztywne

- obudowa odrzwiowa z betonu natryskowego

kształtowniki V21 + V29
odrzwia z rozstawem 1,0 + 0,5 m
beton B100 + B200
grubość warstwy betonu 0,10 + 0,20 m

- obudowa stalowo-betonowa

kształtowniki V21 + V29
odrzwia w rozstawie 1,0 + 0,5 m
beton B100 + B200

- obudowa z betonu natryskowego

beton B75 + B200
grubość warstwy betonu 0,05 + 0,10 m.

7. PARAMETRY GEOTECHNICZNE GÓROTWORU

Dokładne określenie wartości parametrów geotechnicznych górotworu, w którym ma być zlokalizowane wyrobisko górnicze, umożliwia zaprojektowanie optymalnej konstrukcji obudowy oraz przyjęcie właściwej technologii drążenia. Z tego względu uznaje się za konieczne przeprowadzać szczególnie rozeznanie warunków geotechnicznych i hydrogeologicznych oraz badania cech geotechnicznych górotworu, przede wszystkim dla potrzeb projektowania długotrwałych wyrobisk górniczych.

Znajomość parametrów geotechnicznych górotworu jest konieczna dla oszacowania ciśnień górotworu, dla określenia sił wewnętrznych w obudowach współpracujących z górotworem, a także przy wymiarowaniu niektórych rodzajów obudów (np. kotwicznej).

Należy przy tym pamiętać, że parametry geotechniczne górotworu nie są wielkościami stałymi. Ulegają one, zwłaszcza na konturze wyrobiska, obniżeniu na skutek drążenia (urabiania MW), rozwarstwieniu górotworu, wpływu wody i upłynionego materiału skalnego, a także pod wpływem atmosfery kopalnianej. Zadaniem obudowy powinno być zatem między innymi niedopuszczenie do zbyt dużego obniżenia pierwotnych wartości parametrów geotechnicznych górotworu.

Dla potrzeb projektowania obudów wyrobisk korytarzowych i komorowych konieczna jest znajomość następujących parametrów geotechnicznych:

1. W przypadku gruntów skalistych w rozumieniu PN-74/B-02480:
 - wytrzymałość górotworu przy jednoosiowym ściskaniu R_{cg} ,
 - kąt tarcia wewnętrznego górotworu ρ_g ,
 - spójność górotworu c_g ,
 - współczynnik sprężystości wzdłużnej górotworu E_g ,
 - współczynnik Poissona górotworu ν_g ,
 - gęstość objętościowa górotworu γ_{cg} ,
 - graniczne jednostkowe odkształcenie podłużne górotworu ϵ_{ng} .
2. W przypadku gruntów nieskalistych mineralnych w rozumieniu PN-74/B-02480;
 - kąt tarcia wewnętrznego gruntu ρ_g ,
 - spójność gruntu c_g ,
 - moduł odkształcenia pierwotnego E_0 i wtórnego E gruntu,
 - współczynnik Poissona gruntu ν_g ,
 - gęstość objętościowa gruntu γ_{cg} .

Dla poszczególnych parametrów geotechnicznych wyznaczonych na podstawie badań laboratoryjnych lub "in situ" należy dla badanej warstwy geotechnicznej określić wartość normową:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

gdzie: x_i - wyniki oznaczenia danego parametru,

n - liczba oznaczeń parametru w danej warstwie geotechnicznej oraz wartość obliczeniową:

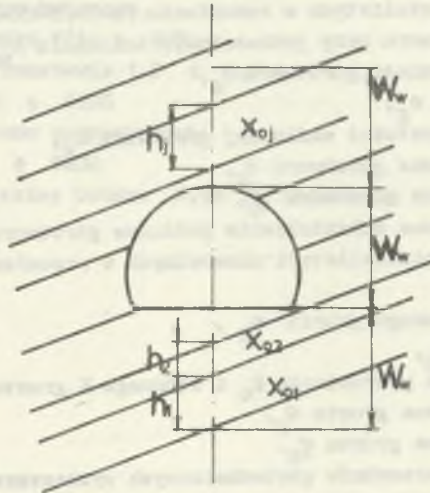
$$x_0 = k \cdot \bar{x} \quad (103)$$

Współczynnik niejednorodności należy przyjmować równy bardziej niekorzystnej z wartości obliczonej wg wzoru:

$$k = 1 \pm \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

przy czym nie należy stosować wartości k bliższych jedności niż $k = 0,9$ i $k = 1,1$.

Wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych należy wyznaczyć przy określeniu ciśnienia górotworu na obudowę sił wewnętrznych w obudowach współpracujących z górotworem oraz przy wymiarowaniu obudów kotwionych. W przypadku zalegania wokół wyrobiska różnych rodzajów skał (warstw geotechnicznych) zaleca się przy określeniu oddziaływań górotworu w ośrodku sprężysto-plastycznym i sprężysto-plastyczno-spekąnym parametry geotechniczne określać jako średnią ważoną, obliczoną dla skał występujących na odcinku $\geq 3 W_w$ (rys. 35)



Rys. 35. Obszar górotworu uwarstwionego objęty określeniem średniej ważonej parametrów geotechnicznych

$$\bar{x}_0 = \frac{\sum_{j=1}^p x_{0j} \cdot h_j}{\sum_{j=1}^p h_j}$$

gdzie: x_{0j} wartość obliczeniowa parametru w j-warstwie geotechnicznej.

7.1. Parametry geotechniczne gruntów skalistych określana są na podstawie badań laboratoryjnych próbek skalnych. Wpływ płaszczyzn osłabienia, spękań i rodzaju materiału wypełniającego szczeliny na wartość parametrów wytrzymałościowych i cech sprężystych górotworu uwzględnia się poprzez wprowadzenie współczynników zmniejszających odpowiednie wartości obliczeniowe parametrów dla próbek skalnych. W nielicznych przypadkach parametry geotechniczne gruntów skalistych określone są na podstawie badań "in situ".

7.1.1. Wytrzymałość obliczeniowa górotworu przy jednoosiowym ściskaniu

$$R_{CG}$$

Wytrzymałość ta określona jest wzorem:

$$R_{CG} = k_0 \cdot R_{CS}$$

gdzie: R_{CS} - wytrzymałość obliczeniowa przy jednoosiowym ściskaniu skał w stanie wilgotności naturalnej określona wg BN-75/8704-07.

k_0 - współczynnik strukturalnego osłabienia górotworu.

Zaleca się przyjęcie następujących wartości współczynnika:

- dla skał litych niespękanych $k_0 = 1,0$
- dla skał o podzielności masywnej $k_0 = 0,9$
- dla skał o podzielności blokowej $k_0 = 0,7$
- dla skał o podzielności płytowej $k_0 = 0,5$
- dla skał o podzielności kostkowej $k_0 = 0,3$

Dla skał karbońskich o przeciętnej podzielności zaleca się przyjmować:

- dla piaskowców $k_0 = 0,8$
- dla mułowców $k_0 = 0,6$
- dla ilowców $k_0 = 0,4$

Podział skał karbońskich ze względu na podzielność przytoczono w tabelicy 7.

Podział skał karbońskich ze względu na podzielność

Nazwa klasy	Symbol klasy	Cechy rozpoznawcze klasy: odstępy powierzchni spękań i warstwowania 1)
Masywna	M_w	2,0 m
Blokowa	BL	0,5 ÷ 2,0 m
Płytowa	Pł	0,1 ÷ 0,5 m
Kostkowa 2)	K	0,1 m

- 1) Przez odstępy warstwowania rozumie się odległość pomiędzy stropem a spągiem wydzielonych warstw poszczególnych odmian i klas litologicznych.
- 2) Podzielność kostkowa zgodnie z PN-74/B-02450 kwalifikuje skałę warstwy do kategorii skał małospoistych.

7.1.2. Obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego górotworu

Wartość ta określona jest wzorem:

$$\rho_g = \frac{\rho_s}{k_1}$$

gdzie: ρ_s - obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego określona na podstawie próby trójosiowego ściskania próbek skalnych z obwiedni kół Mohra dla naprężenia normalnego σ lub oszacowana wg rozdz. 7.3.

k_1 - współczynnik zmniejszający,

σ - naprężenie w przekroju zniszczeniowym.

W przypadku nieanalizowania naprężeń w przekroju zniszczeniowym zaleca się przyjmować następujące wartości:

- dla skał o $\mu \leq 2,5$ $\sigma = R_{CS}$
- dla skał o $2,5 < \mu \leq 3,5$ $\sigma = 0,75 R_{CS}$
- dla skał o $\mu > 3,5$ $\sigma = 0,5 \cdot R_{CS}$

Zaleca się przyjęcie następujących wartości współczynnika k_1 :

- dla skał litych niespękanych $k_1 = 1,0$
- dla skał o podzielności masywnej $k_1 = 1,05$
- dla skał o podzielności blokowej $k_1 = 1,10$
- dla skał o podzielności płytowej $k_1 = 1,15$
- dla skał o podzielności kostkowej $k_1 = 1,20$

7.1.3. Spójność obliczeniowa górotworu

Spójność ta określona jest wzorem:

$$c_g = k_o \cdot c_s ,$$

gdzie: c_s - spójność obliczeniowa określona na podstawie próby trójosiowego ściskania próbek skalnych z obwiedni kół Mohra dla naprężenia normalnego σ lub oszacowana wg rozdz. 7.3.

k_o - współczynnik wg rozdz. 7.1.1.

7.1.4. Obliczeniowa wartość współczynnika sprężystości wzdłużnej górotworu

Wartość ta określona jest wzorem:

$$E_g = \frac{1}{k_1} \cdot E_s ,$$

gdzie: E_s - obliczeniowa wartość współczynnika sprężystości wzdłużnej skał określona na podstawie próby jednoosiowego ściskania próbek skalnych przeprowadzonej zgodnie z wytycznymi,

k_1 - współczynnik wg rozdz. 7.1.1.

7.1.5. Obliczeniowa wartość współczynnika Poissona górotworu

$$\nu_g = \nu_s$$

ν_s - obliczeniowa wartość współczynnika Poissona określona na podstawie jednoosiowego ściskania próbek skalnych

7.1.6. Obliczeniowa wartość graniczna jednostkowego odkształcenia podłużnego górotworu

Wartość ta określona jest wzorem:

$$\xi_{ng} = 1,5 \cdot \xi_{ns} ,$$

gdzie: ξ_{ns} - obliczeniowa wartość granicznego jednostkowego odkształcenia podłużnego poprzedzającego zniszczenie próbki skalnej; wartość ξ_{ns} należy wyznaczyć po określeniu ν_s i E_s , podając próbkę dalszemu obciążeniu do ok. $0,95 R_{cs}$.

7.1.7. Obliczeniowa wartość gęstości objętościowej górotworu

Wartość tę należy określić wg PN-66/B-04100, wyznaczając wartość obliczeniową wg wzoru (103).

7.2. Parametry geotechniczne gruntów nieskalistych mineralnych

Obliczeniową wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntu należy określić na podstawie próby bezpośredniego ścinania próbek gruntu wg PN-75/B-04481, wyznaczając wartość obliczeniową wg wzoru (103).

Spójność obliczeniową gruntu należy określić na podstawie próby bezpośredniego ścinania gruntu wg PN-75/B-04481, wyznaczając wartość obliczeniową wg wzoru (103).

Obliczeniową wartość modułu odkształcenia pierwotnego E_0 i wtórnego E gruntu należy określić na podstawie badań laboratoryjnych próbek gruntu wg PB-75/B-04481 wyznaczając wartości obliczeniowe wg wzoru (103).

Obliczeniową wartość współczynnika Poissona gruntu ν_g zaleca się przyjmować wg tablic z normy PN-B-03020.

Obliczeniową wartość gęstości objętościowej gruntu należy określić wg PN-75/B-03381, wyznaczając wartość obliczeniową wg wzoru (103).

7.3. Oszacowanie obliczeniowej wartości kąta tarcia wewnętrznego skał ρ_s i spójności skał c_s

Na rys. 36 podano nomogram wartości kąta tarcia skał ρ_s i spójności względnej skał $\frac{c_s}{R_{rs}}$ jako funkcji $\delta = \frac{c_s}{R_{rs}}$,

gdzie: R_{cs} , R_{rs} - wartość wytrzymałości skał na ściskanie, rozciąganie.

Obliczeniowe wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności zaleca się określić mnożąc ich wartości normowe odpowiednio przez 0,9 i 0,7.

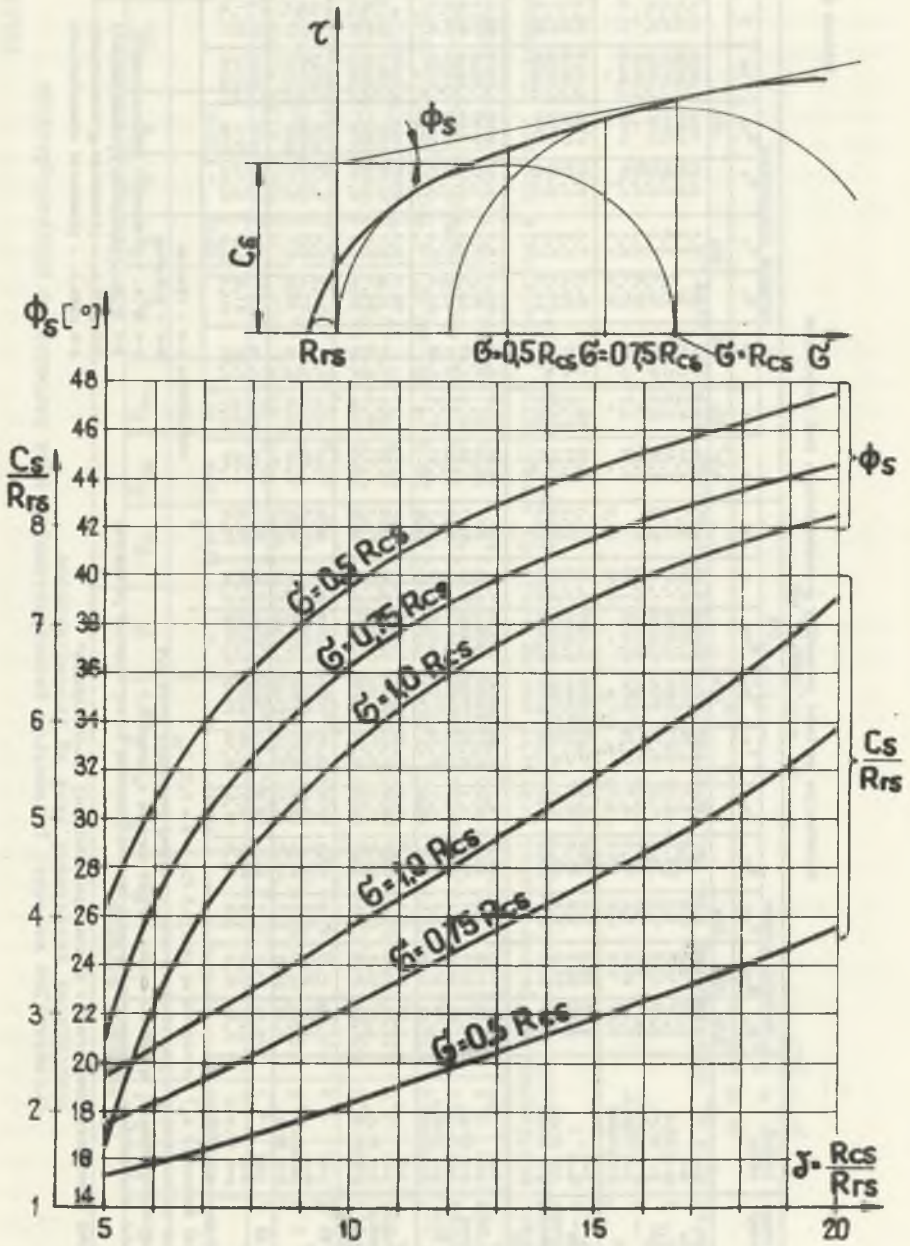
7.4. Orientacyjne wartości parametrów geotechnicznych skał karbońskich

Orientacyjne wartości parametrów geotechnicznych skał karbońskich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i Lubelskiego Zagłębia Węglowego zestawiono w tablicy 8.

7.5. Przyporządkowanie parametrów geotechnicznych skał karbońskich wartościom wskaźnika zwięzłości

W przypadku, gdy informacja o rodzaju skał ogranicza się do wartości wskaźnika zwięzłości wg Protodiakonowa;

$$\mu = \frac{R_{cs}}{10}$$



Rys. 36. Nomogram wartosci $\phi_s = f(\delta) \frac{C_s}{R_{rs}} = \varphi(\delta)$

Tablica 6

Orientacyjna wartość parametrów geomechanicznych skał karbońskich
GZW i LZN

Zgł. węgl.	Poziom strona-tygrajczony	Rodzaj skały	Wartości normowe										Wartości obliczeniowe									
			Po	R _{cs}	R _{rs}	σ _n	σ ₁	σ ₂	σ ₃	τ _{cs}	τ _{rs}	φ	Po	cz	K _{rs}	σ ₁	σ ₂	σ ₃	σ ₄	F _{ns}	γ	
GZW	Warstwy łazikowe i pokłady (201-218)	i-c	2,43	11,5	1,1	36,0	4,4	0,23	3700	0,0037	1,15	40°	2,49	6,6	0,54	31°	0,21	1340	0,0036	31,6		
		m-c	2,38	8,0	0,8	33,3	3,1	0,34	7000	0,0045	0,60	38,7	2,44	4,2	0,45	30	0,25	4140	0,0038	24,7		
		p-c dr.z.	2,27	14,5	1,0	39,2	5,0	0,27	4900	0,0038	1,45	55,4	2,39	5,0	0,35	35,3	0,20	2340	0,0030	34,5		
		p-c gr.z.	2,20	12,5	0,9	38,6	4,6	0,31	3000	0,0034	1,25	51,3	2,34	6,9	0,40	34,7	0,23	2070	0,0025	34,6		
		p-c różn.z.	2,21	9,0	0,6	39,6	3,3	0,31	3200	0,0033	0,90	42	2,35	5,9	0,37	33,6	0,27	3000	0,0026	34,6		
	Zapalnica	i-c	2,22	24,0	1,4	41,2	8,7	0,35	5000	0,0035	2,40	28,2	2,32	2,7	0,57	37,1	0,27	2160	0,0029	51,8		
		m-c	2,53	33,0	3,0	37,8	10,0	0,27	10700	0,0039	3,30	73,1	2,85	16,1	1,49	34,9	0,21	6180	0,0047	59,2		
		p-c dr.z.	2,59	52,5	3,9	43,8	10,7	0,25	3600	0,0038	5,25	79,2	2,71	31,4	2,17	39,4	0,19	8630	0,0058	65,3		
		p-c gr.z.	2,38	51,0	3,3	45,3	10,4	0,29	11500	0,0039	5,10	78,9	2,51	32,9	2,17	40,8	0,20	7700	0,0032	73,1		
		p-c różn.z.	2,27	38,0	2,1	46,6	7,5	0,32	9300	0,0036	3,80	75,3	2,37	23,0	-	41,5	0,24	4740	0,0031	65,5		
LZN	Warstwy dolneruczkie i siodłowe (pokłady 406-510 i 501-510)	i-c	2,52	10,0	2,7	44,8	8,1	0,24	11000	0,0039	4,0	76	2,61	24,6	1,56	40,3	0,12	6700	0,0027	68,0		
		m-c	2,53	51,5	3,6	44,5	10,4	0,23	11800	0,0042	5,15	79	2,64	28,1	1,77	40,1	0,13	6100	0,0028	70,1		
		p-c dr.z.	2,50	62,5	4,6	44,4	13,3	0,23	17700	0,0039	6,55	81,3	2,60	45,5	2,47	40,0	0,14	1480	0,0029	77,6		
		p-c gr.z.	2,43	56,0	3,1	46,6	11,2	0,26	15000	0,0040	6,60	79,9	2,52	41,6	1,71	41,9	0,18	8730	0,0030	76,5		
		p-c różn.z.	2,44	20,0	2,9	46,2	10,0	0,32	17700	0,0034	4,20	78,7	2,51	37,5	1,88	41,6	0,21	13960	0,0023	75,0		
	Warstwy wrodziczkie i pokłady (601-816)	i-c	2,53	38,5	3,1	42,8	8,0	0,25	10600	0,0034	3,85	73,4	2,61	24,6	1,56	38,5	0,17	5420	0,0040	69,3		
		m-c	2,48	39,0	3,4	43,7	8,2	0,22	6700	0,0033	3,90	75,6	2,55	26,3	1,67	37,5	0,18	3830	0,0041	69,3		
		p-c dr.z.	2,45	32,5	4,1	43,2	10,9	0,15	8900	0,0042	5,25	79,2	2,53	36,2	2,28	38,9	0,19	5280	0,0036	74,8		
		p-c gr.z.	2,38	34,5	3,6	43,2	10,8	0,18	7900	0,0037	3,45	73,8	2,45	19,4	1,66	32,1	0,12	4720	0,0032	75,0		
		p-c różn.z.	2,52	25,5	1,8	41,3	7,6	0,23	7000	0,0048	2,55	68,6	2,60	16,4	1,21	37,2	0,13	4630	0,0038	58,6		
Obzar K2 pokłady 388 -	i-c	2,54	33,0	1,7	44,4	9,9	0,22	7800	0,0044	3,30	73,1	2,65	18,2	1,10	40	0,15	5370	0,0035	61,1			
	m-c	2,57	42,0	2,5	46,2	8,5	0,24	8900	0,0050	4,30	76,9	2,62	26,2	1,50	41,6	0,14	5510	0,0042	69,1			
	p-c dr.z.	2,24	28,0	2,1	40,1	8,4	0,12	7100	0,0041	2,85	70,7	2,66	24,0	1,30	38,2	0,13	6680	0,0037	67,4			
	p-c gr.z.	2,54	33,0	1,7	44,4	9,9	0,22	7800	0,0044	3,30	73,1	2,65	18,2	1,10	40	0,15	5370	0,0035	61,1			
	p-c różn.z.	2,58	36,0	3,8	44,3	11,4	0,14	7500	0,0066	5,60	76,9	2,67	42,7	2,90	40,3	0,10	4710	0,0036	75,6			

UZMOWIENIA: i-c - liście
m-c - młotwiec
p-c dr.z. - płaskowiec drobnoziarnisty
p-c gr.z. - płaskowiec średnioziarnisty
p-c różn.z. - płaskowiec różnoziarnisty

UWAGA: 1. Wartość normową σ₁ c₁ wyznaczono wg pkt. 5.3 dla σ = 0,75 R_c
2. Wartość obliczeniową przyjęto równą wartości nominalnej pomniejszonej przez 0,9
3. Wartość obliczeniową c₂ wyznaczono mnożąc wartość normową c₁ przez 0,7
4. Wartości obliczeniowej nie wyznaczono z uwagi na niedostateczną liczbę oznaczeń parametru.

Wartości uwaga obrotowe zostały w pracowni geotechnicznej GBR-BG "BUDOKOP"

Tablica 9

Orientacyjne wartości parametrów geomechanicznych skał karbońskich przyporządkowane wskaźnikowi zwężności skał wg Protodiakonowa

Wartości normalne										Wartości obliczeniowe								
μ	γ_0	R_{cs}	R_{rs}	ρ_s	C_s	ν_s	E_s	ϵ_{ns}	φ	γ_0	R_{cs}	R_{rs}	ρ_s	C_s	ν_s	E_s	ϵ_{ns}	φ
-	t/m ³	MPa	MPa		MPa	-	MPa	-	o	t/m ³	MPa	MPa		MPa	-	MPa		o
1,5	2,5	15	1,2	37°	5,6	0,28	4500	0,0046	56,3°	2,75	10,5	0,72	33,3°	3,9	0,25	3150	0,0037	46,4
2,0	2,5	20	1,6	37,4°	7,5	0,27	5500	0,0045	63,4°	2,75	14,0	0,96	33,7°	5,3	0,24	3850	0,0036	54,5
2,5	2,5	25	1,9	37,8°	9,3	0,26	6500	0,0044	68,2°	2,75	17,5	1,14	34°	6,5	0,23	4550	0,0035	60,3
3,0	2,5	30	2,2	40,8°	9,0	0,25	7500	0,0043	71,6°	2,75	21,0	1,32	36,7°	6,3	0,22	5250	0,0034	64,5
3,5	2,5	35	2,5	41,2°	10,5	0,24	8500	0,0042	74,1°	2,75	24,5	1,50	37,1°	7,4	0,22	3950	0,0034	67,8
4,0	2,5	40	2,8	44,4°	8,1	0,23	9500	0,0041	76,0°	2,75	28,0	1,68	40,0°	5,7	0,21	6650	0,0033	70,3
4,5	2,5	45	3,0	44,8°	9,2	0,22	10500	0,0040	77,5°	2,75	31,5	1,80	40,3°	6,4	0,20	7350	0,0032	72,4
5,0	2,5	50	3,3	45,1°	10,1	0,21	11500	0,0039	78,7°	2,75	35,0	1,98	40,6°	7,1	0,19	8050	0,0031	74,1

Wartości współczynników jednorodności przyjęto analogicznie do określonych na podstawie analizy statycznej wyników badań parametrów geotechnicznych skał karbońskich GZW i LZW, a mianowicie:

- dla $\gamma \rightarrow k = 1,1$
- $R_{cs} \rightarrow k = 0,7$
- $R_{rs} \rightarrow k = 0,6$
- $\rho_s \rightarrow k = 0,9$

wartości ρ_s i C_s określono wg rys. 36, przyjmując następujący poziom naprężeń skał o:

- $\mu \leq 2,5$
- $2,5 < \mu \leq 3,5$
- $\mu > 3,5$

- $\sigma = R_{cs}$
- $\sigma = 0,75 R_{cs}$
- $\sigma = 0,50 R_{cs}$

- $C_s \rightarrow k = 0,7$
- $\nu_s \rightarrow k = 0,9$
- $E_s \rightarrow k = 0,7$
- $\epsilon_{ns} \rightarrow k = 0,8$

gdzie: R_{CS} - normowa wartość wytrzymałości skał na ściskanie (MPa),
można przyjąć orientacyjnie wartości pozostałych parametrów geotechnicznych skał wg tablicy 9. Wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych górotworu należy wówczas określić mnożąc podane w tablicy wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych skał przez współczynniki k_0 , k_1 zgodnie z rozdz. 7.1.

Wartości współczynników k_0 i k_1 należy przyjmować w oparciu o posiadane informacje o tektonice górotworu.

8. TOK POSTĘPOWANIA PRZY PROJEKTOWANIU OBUDÓW

Przy projektowaniu obudowy należy:

- określić dane wyjściowe,
- dobrać rodzaj konstrukcji,
- określić oddziaływania górotworu na obudowę,
- określić siły wewnętrzne w obudowie,
- zwymiarować obudowę oraz
- rozpracować konstrukcję obudowy.

W przypadku zlokalizowania wyrobiska w górotworze karbońskim o przeciętnej podzielności tok projektowania obudów odrzwilowych obetęgowanych można uprościć korzystając z opracowanych w niniejszej publikacji nomogramów.

8.1. Dane wyjściowe

Dla projektowania obudowy długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych potrzebne są następujące dane:

- górnicze:

rodzaj i przeznaczenie wyrobiska, wymagania użytkowe, lokalizacja wyrobiska, występowanie wpływów eksploatacyjnych, krawędzi, filarów oraz sąsiednich wyrobisk.

Do obliczeń statycznych konieczne są następujące parametry górnicze:

- szerokość wyrobiska w świetle i wyłomie, s_o, s_w [m]
- wysokość wyrobiska w wyłomie, w_w [m]
- promień konturu wyrobiska, r_w [m]
- głębokość zlokalizowania wyrobiska, H [m]

- geologiczne i hydrogeologiczne:

rodzaj i charakterystyka skał, zaburzenia tektoniczne, warunki wodne, parametry geotechniczne skał i górotworu.

Do obliczeń statycznych konieczna jest znajomość następujących parametrów geotechnicznych górotworu:

- wytrzymałość obliczeniowa górotworu na ściskanie R_{og} (MPa),
- obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego górotworu φ_g ($^\circ$),
- spójność obliczeniowa górotworu c_g (MPa),
- obliczeniowa wartość modułu sprężystości górotworu E_g (MPa),
- obliczeniowa wartość współczynnika Poissona górotworu ν_g ,
- obliczeniowa wartość graniczna odkształcenia górotworu przy ścisnieniu ϵ_{ng} ,
- obliczeniowa wartość gęstości pozornej górotworu, γ_o (t/m^3).

Wartości ww. parametrów należy określić na podstawie badań laboratoryjnych skał przeprowadzonych wg rozdz. 7 lub w przypadku skał karbońskich przyjąć dla poszczególnych poziomów stratygraficznych z tablicy 9,

W sytuacji gdy w fazie projektowania znana jest jedynie wartość wskaźnika zwięzłości skał wg Protodiakonowa, a wyrobisko zlokalizowane jest w przeciętnym górotworze karbońskim, można wartości pozostałych parametrów geotechnicznych orientacyjnie przyjąć wg tablicy 8.

8.2. Przyjęcie rodzaju konstrukcji

W zależności od ilości posiadanych w fazie projektowania informacji proponuje się dokonać doboru rodzaju obudowy według rysunków 32 i 33.

W przypadku gdy znane są następujące parametry:

- wskaźnik stateczności górotworu S_g ,
- wskaźnik odporności fizykomechanicznej skał wg Skutty oraz
- podzielność skał

rodzaj obudowy zaleca się określić na podstawie rys. 32.

W przypadku gdy znana jest wartość obliczeniowa obciążenia obudowy q_0 , rodzaj obudowy można określić na podstawie rys. 33.

8.3. Określenie oddziaływań górotworu na obudowę

Dla zadanych warunków górniczo-geologicznych należy określić:

- ciśnienie statyczne górotworu oraz
- wymuszone przemieszczenie obudowy.

Wielkość oddziaływań górotworu na obudowę należy wyznaczyć wg rozdz. 9.3. W przypadku gdy wyrobisko zalega na głębokości $H \leq 2 h_0$, gdzie h_0 - strzałka sklepienia ciśnien, oddziaływania należy wyznaczyć wg rozdz. 9.3.1.

W przypadku gdy $2 h_0 < H \leq H_{kr}$, oddziaływania należy wyznaczyć wg rozdz. 9.3.2.

W przypadku gdy $H > H_{kr}$ oraz $p_0 \leq p_a$, gdzie p_0 - naprężenie radialne na granicy strefy plastycznej i spękanej oraz p_a - podporność obudowy oddziaływania należy wyznaczyć wg pkt. 9.3.3.

W przypadku gdy $p_0 > p_a$, oddziaływania należy wyznaczyć wg rozdz. 9.3.4.

W przypadku zlokalizowania wyrobiska w górotworze karbońskim o przeciętnej podzielności obciążenia obliczeniowe obudowy q_0 można przyjąć z nomogramu na rys. 42, a wymuszone przemieszczenia u_v z rys. 43.

8.4. Określenie sił wewnętrznych

W celu określenia sił wewnętrznych w obudowie należy:

- wyznaczyć zastępczy moduł sprężystości podłużnej podłoża E_z wg rozdz. 10.1.2,
- wyznaczyć zasięg odporu biernego wg rozdz. 10.2.3,
- przyjąć schemat statyczny wg rozdz. 10.1.4,
- wyznaczyć siły wewnętrzne wg rozdz. 10.1.5.

Dla najczęściej stosowanych obudów, tj. dla obudów odrzwiowych oraz obudowy odrzwiowej-obetonowanej podano w rozdz. 10.3 na nomogramach wartości ekstremalnych sił wewnętrznych.

8.5. Wymiarowanie konstrukcji

Sposób wymiarowania podano dla poszczególnych rodzajów obudowy w rozdziale 11.

Należy wykazać, że przyjęta konstrukcja obudowy przenosi ekstremalne siły wewnętrzne od obciążenia obliczeniowego q_0 oraz że posiada dostateczną podatność radialną.

Dla obudów odrzwiowych podano w rozdz. 11.1.5 nomogramy umożliwiające określenie rozstawu odrzwi oraz rodzaj kształtownika w zależności od:

- szerokości odrzwi s_0 ,
- wartości obliczeniowego obciążenia obudowy q_0 oraz
- rodzaju wykładki E_z .

Dla obudów odrzwiowych obetonowanych podano w rozdz. 11.2.2, nomogramy umożliwiające dla danego kształtownika i rozstawu odrzwi określenie grubości warstwy betonowej i klasy betonu w zależności od:

- wartości siły osiowej N w przekroju ekstremalnego momentu zginającego,
- wartości mimośrodu e_0 w przekroju ekstremalnego momentu zginającego.

9. OBCIĄŻENIA OBUDOWY

9.1. Rodzaje obciążeń

W obliczeniach statycznych obudów wyrobisk korytarzowych i komorowych należy uwzględnić następujące oddziaływania:

- ciśnienie statyczne górotworu,
- wymuszone przemieszczenie obudowy,
- ciężar własny obudowy oraz
- ciśnienie iniekcyjne.

9.2. Przypadki obciążeń

Rozróżnia się trzy przypadki obciążeń:

- równoczesnego działania ciężaru własnego obudowy i ciśnienia statycznego górotworu,
- równoczesnego działania ciężaru własnego obudowy, ciśnienia statycznego górotworu i wymuszonych przemieszczeń,
- równoczesnego działania ciężaru własnego obudowy i ciśnienia iniekcyjnego.

9.3. Oddziaływanie górotworu na obudowę

Górotwór otaczający wyrobisko oddziałuje na obudowę wywierając:

- rozłożone lub skupione obciążenia,
- wymuszone przemieszczenia obudowy.

Wielkość tych oddziaływań zależy od głębokości zalegania wyrobiska, wartości parametrów geotechnicznych górotworu, wymiarów przekroju poprzecznego wyrobiska oraz od rodzaju obudowy i technologii jej wznoszenia.

Przy płytkim zaleganiu wyrobiska $H \leq 2 h_0$ nad pułapem wyrobiska nie wytwarza się sklepienie odciążające i wówczas obudowę obciążają warstwy górotworu zalegające aż do powierzchni terenu.

Przy głębokości zalegania wyrobiska $H > 2 h_0$ wokół wyrobiska wytwarza się w ogólności sklepienie odciążające.

Ciśnienie górotworu na obudowę i wielkość wymuszonego przemieszczenia obudowy uzależnione są wówczas od charakterystyki ośrodka skalnego otaczającego wyrobisko.

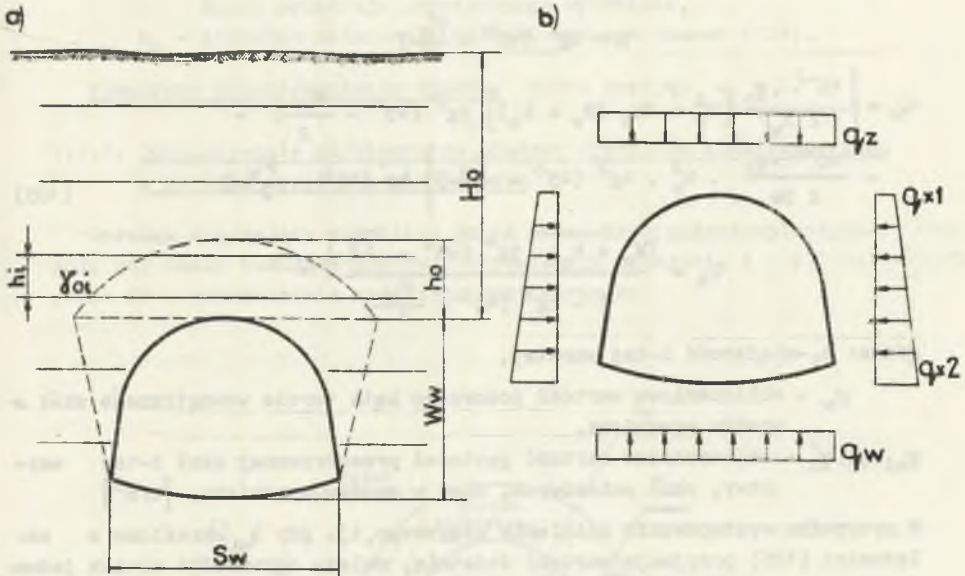
W zależności od wzajemnej reakcji czynników górniczo-geologicznych, a mianowicie:

- własności geotechnicznych górotworu,
- głębokości zalegania wyrobiska,
- wielkości przekroju poprzecznego wyrobiska,
- konstrukcji obudowy oraz
- technologii jej wznoszenia.

Górotwór otaczający wyrobisko może przyjmować cechy ośrodka:

- sypkiego,
- spoistego,
- sprężystego,
- sprężysto-plastycznego lub
- sprężysto-plastyczno-spełkanego.

9.3.1. Oddziaływanie górotworu na obudowę płytko zalegającego wyrobiska



Rys. 37. Płytkie zaleganie wyrobiska

a - usytuowanie wyrobiska, b - wykres obciążeń obudowy

Zaleganie wyrobiska uznaje się za płytkie (rys. 37) w przypadku, gdy miąższość górotworu zalegającego nad pułapem wyrobiska nie zapewnia wytworzenia się sklepienia odciażającego, tj. gdy:

$$H \leq 2 h_0$$

gdzie

$$h_0 = \frac{0,5 \cdot s_w + w_w \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\operatorname{tg} \varphi_s}, \quad (104)$$

gdzie: s_w, w_w - wymiary [m] wyrobiska w wyłomie,
 φ_s, φ_o - obliczeniowa wartość pozornego kąta tarcia
 wewnętrznych skał; stropowych, ociosowych.

Ciśnienie statyczne górotworu [MPa] wynosi:

$$q_z = 10^{-2} \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_{oi} \cdot h_i$$

$$q_{x1} = q_z \cdot \lambda$$

$$q_{x2} = (q_z + 10^{-2} \cdot \gamma_o \cdot w_w) \lambda$$

$$\lambda = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_o}{2} \right)$$

$$q_w = \left\{ \frac{10^{-2} \cdot \gamma_o}{2 s_w} [h_s^2 + 2h_s (w_w + h_o)] \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_w}{2} \right) - \frac{10^{-2} \cdot \gamma_o'}{2 s_w} \cdot h_s^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_w}{2} \right) \right\} \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_w}{2} \right) \quad (105)$$

$$h_s = \frac{(w_w + h_o) \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ - \frac{\varphi_w}{2} \right)}{1 - \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_w}{2} \right)},$$

gdzie: h_i - miąższość i-tej warstwy,

φ_w - obliczeniowa wartość pozornego kąta tarcia wewnętrznych skał w spodku wyrobiska,

$\gamma_{oi}, \gamma_o, \gamma_o'$ - obliczeniowa wartość gęstości przestrzennej skał i-tej warstwy, skał ociosowych, skał w spodku wyrobiska, [t/m³]

W przypadku występowania ciśnienia spągowego, tj. gdy q_w określone z zależności (105) przyjmuje wartość dodatnią, należy ograniczyć nacisk jednostkowy fundamentu obudowy na podłoże [MPa]

$$q_x \leq 10^{-2} \cdot \gamma_o \cdot (w_w + h_o)$$

Wymuszone przemieszczenia obudowy można przyjąć $u_w \approx 0$.

9.3.2. Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w ośrodku sprężystym

Górotwór otaczający wyrobisko można uznać za ośrodek sprężysty, gdy skały budujące górotwór odpowiadają kategorii I - VIa wg BN-79/0434-04, a głębokość zalegania wyrobiska jest mniejsza od głębokości krytycznej określonej wzorem:

$$H_{kr} = \frac{50 \cdot R_{cg}}{\gamma_o},$$

gdzie: R_{CG} - wytrzymałość obliczeniowa górotworu na ściskanie [MPa],
 γ_0 - średnia wartość obliczeniowa gęstości przestrzennej górotworu [t/m^3].

Ciśnienie statyczne górotworu [MPa] wynosi:

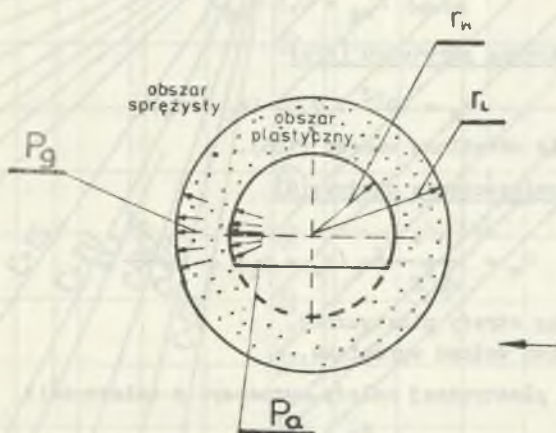
$$\sigma = \max \begin{cases} 10^{-6} \cdot h_B \cdot \gamma_0 \\ 10^{-2} \cdot h_0 \cdot \gamma_0 \end{cases} \quad (106)$$

gdzie: h_B - zasięg spękań powstałych w wyniku prowadzenia robót strzałowych. Zaleca się przyjmować $h_B = 1,0 \div 2,0$ m, zależnie od wielkości przekroju poprzecznego wyrobiska,
 h_0 - strzałka sklepienia ciśnien opisana wzorem (104).

Wymuszone przemieszczenie obudowy można przyjąć $u_w = 0$.

9.3.3. Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w o.rodku sprężysto-plastycznym

Ośrodek otaczający wyrobisko można uznać za sprężysto-plastyczny (rys. 38), gdy skały budujące górotwór odpowiadają kategorii I - VII wg EN-79/0434-04 i równocześnie spełniany jest warunek:



Rys. 38. Ośrodek sprężysto-plastyczny

$$p_o \leq p_a \leq p_g$$

$$p_g = \frac{2 \cdot p_z - R_{CG}}{2 + \beta_g}$$

$$p_o = \frac{p_g \cdot \beta_g + R'_{CG}}{\beta_g} \left[\frac{(1 + \nu_g) (p_z - p_g)}{\epsilon_{ng} \cdot E_g} \right] \frac{\beta_g}{2} - \frac{R'_{CG}}{\beta_g}$$

$$p_z = 10^{-2} \cdot \eta_o \cdot H$$

$$\beta_g = \frac{2 \cdot \sin \rho_g}{1 - \sin \rho_g}$$

gdzie: p_g - naprężenia radialne [MPa] występujące na granicy strefy sprężystej i plastycznej

p_o - naprężenia radialne [MPa] występujące na granicy strefy plastycznej i spękania,

p_a - podporność obudowy [MPa]

$\rho_g, \nu_g, E_g, \epsilon_{ng}, R_{CG}$ - obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych górotworu wg rozdz. 8.

R'_{CG} - wytrzymałość obliczeniowa górotworu na ściskanie [MPa] w obrębie strefy plastycznej. Zaleca się przyjąć mować $R'_{CG} = 0,5 R_{CG}$.

Ciśnienie statyczne górotworu [MPa]

$$q_z = 10^{-2} \cdot \eta_o \cdot (r_L - r_w),$$

lecz nie mniej niż określono wzorem (106).

Wymuszone przemieszczenia obudowy [m]

$$U_w = \frac{1 + \nu_g}{E_g} (p_z - p_g) \cdot \frac{r_L^2}{r_w}$$

gdzie: r_L - zasięg strefy plastycznej,

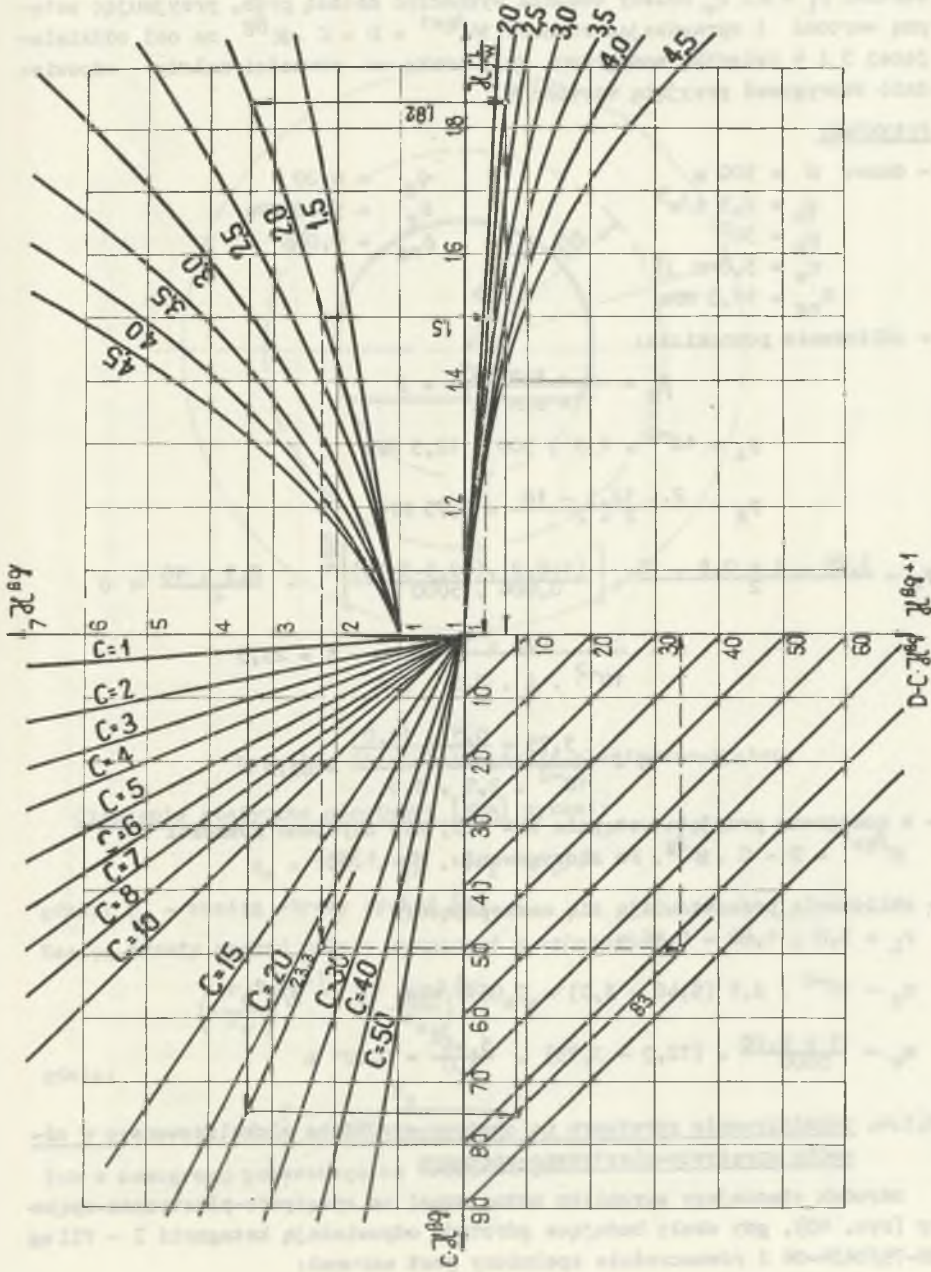
r_w - promień wyłomu wyrobiska.

Zasięg strefy plastycznej należy wyznaczyć z zależności:

$$\frac{r_L}{r_w}^{\beta_g + 1} + C \cdot \left(\frac{r_L}{r_w} \right)^{\beta_g} = D$$

$$C = \frac{0,5 \cdot R_{CG}}{10^{-2} \cdot \beta_g \cdot \eta_o \cdot r_w} - 1 \quad D = \frac{p_g + \frac{0,5 R_{CG}}{\beta_g}}{10^{-2} \cdot \eta_o \cdot r_w}$$

lub z nomogramu przedstawionego na rys. 39.



Rys. 39. Nomogram do wyznaczenia zasięgu strefy plastycznej

Wartość $r_L = \% \cdot r_w$ należy wówczas wyznaczyć metodą prób, przyjmując wstępną wartość i sprawdzając równość $\% \beta_{g+1} = D - C \cdot \% \beta_g$ na osi oddziałującej 3 i 4 ćwiartkę nomogramu. Przy braku ww. równości należy odpowiednio skorygować przyjętą wartość $\%$.

Przykład:

- dane: $H = 500 \text{ m}$ $\nu_g = 0,20$
 $\gamma_0 = 2,5 \text{ t/m}^3$ $E_g = 5000 \text{ MPa}$
 $\beta_g = 30^\circ$ $\epsilon_{ng} = 0,006$
 $r_w = 3,0 \text{ m}$
 $R_{cg} = 10,0 \text{ MPa}$

- obliczenia pomocnicze:

$$\beta_g = \frac{2 \cdot \sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} = 2$$

$$p_z = 10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 500 = 12,5 \text{ MPa}$$

$$p_g = \frac{2 \cdot 12,5 - 10}{2 + 2} = 3,75 \text{ MPa}$$

$$p_0 = \frac{3,75 \cdot 2 + 0,5 \cdot 10}{2} \cdot \left[\frac{(1+0,2) \cdot (12,5 - 3,75)}{0,006 \cdot 5000} \right]^2 - \frac{0,5 \cdot 10}{2} < 0$$

$$C = \frac{0,5 \cdot 10}{10^{-2} \cdot 2 \cdot 2,5 \cdot 3,0} - 1 = 23,3$$

$$D = \frac{3,75 + \frac{0,5 \cdot 10,0}{2}}{10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 3,0} = 83,3$$

- z nomogramu przyjęto wstępnie $\% = 1,5$, nie uzyskano równości $\% \beta_{g+1} = D - C \cdot \% \beta_g$. Po skorygowaniu $\% = 1,82$

- obliczenia przedstawiają się następująco:

$$r_L = 3,0 \cdot 1,82 = 5,46 \text{ m}$$

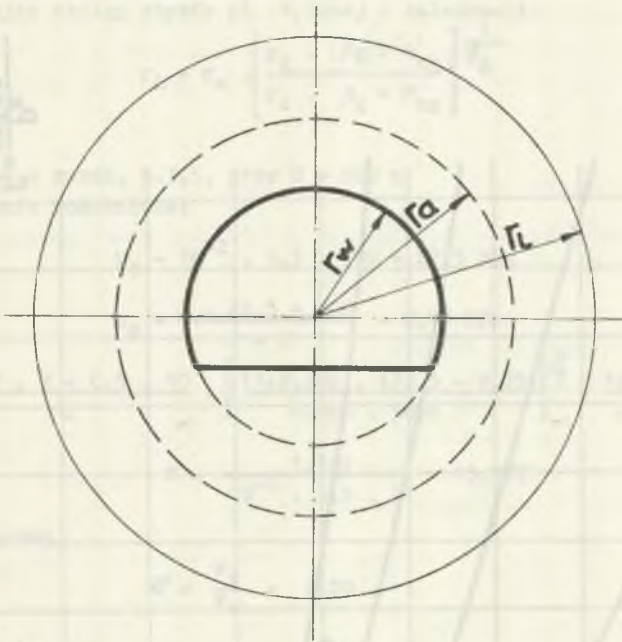
$$q_z = 10^{-2} \cdot 2,5 (5,46 - 3,0) = 0,0615 \text{ MPa} \quad (6,15 \text{ T/m}^2)$$

$$u_w = \frac{1 + 0,20}{5000} \cdot (12,5 - 3,75) \cdot \frac{5,46^2}{3,0} = 0,021 \text{ m}$$

9.3.4. Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w ośrodku sprężysto-plastyczno-spekąnym

Ośrodek otaczający wyrobisko można uznać za sprężysto-plastyczno-spekąny (rys. 40), gdy skały budujące górotwór odpowiadają kategorii I - VII wg BN-79/0434-04 i równocześnie spełniony jest warunek:

$$P_a < P_0 < P_g$$



Rys. 40. Ósrodek sprężysto-plastyczno-spekany

Ciśnienie statyczne górotworu [MPa] wynosi:

$$q_z = 10^{-2} \cdot \sigma_0 \cdot (r_a - r_w);$$

gdzie: r_a - zasięg strefy spękań [m].

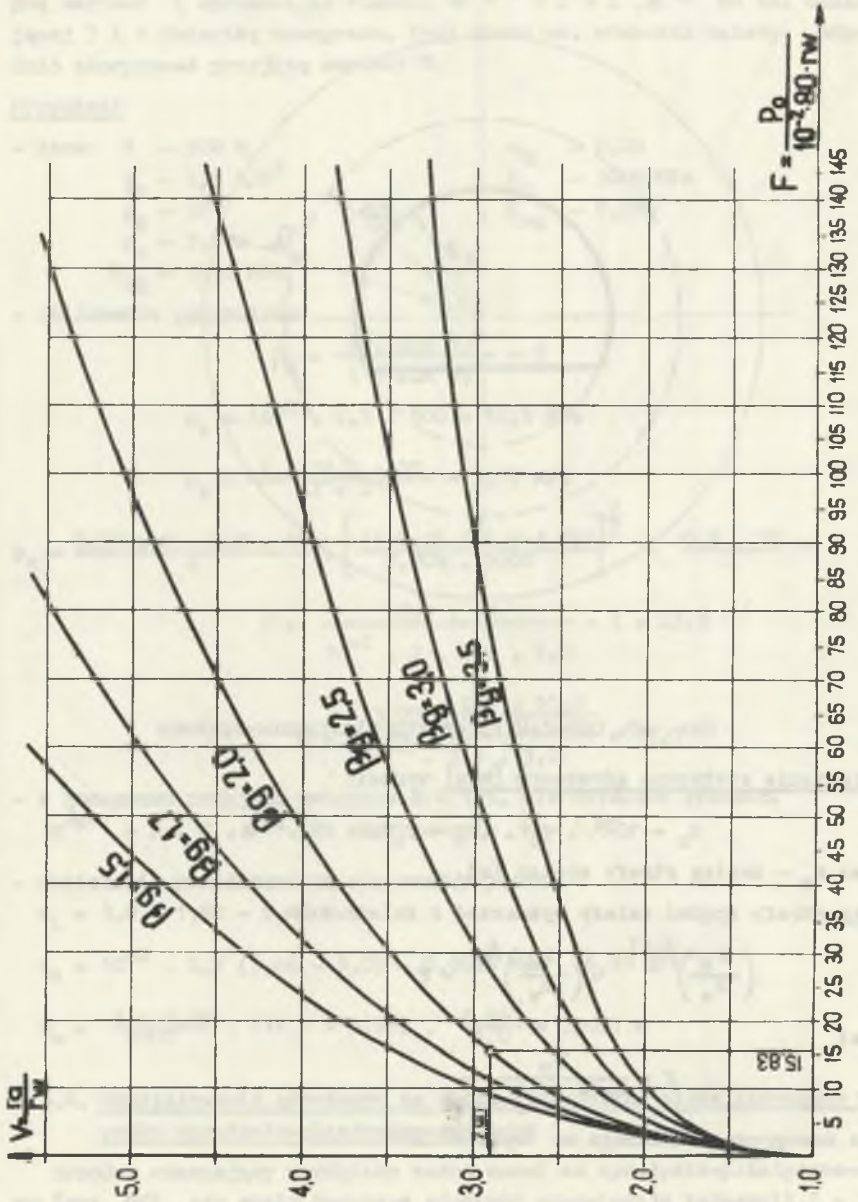
Zasięg strefy spękań należy wyznaczyć z zależności:

$$\left(\frac{r_a}{r_w}\right)^{\beta g + 1} - \left(\frac{r_a}{r_w}\right)^{\beta g} = F$$

gdzie:

$$F = \frac{P_0}{10^{-2} \cdot \sigma_0 \cdot r_w}$$

lub z nomogramu pokazanego na rys. 41.



Rys. 41. Nomogram do wyznaczenia zasięgu strefy spełkań

Wymuszone przemieszczenie obudowy [m] należy wyznaczyć wg wzoru (105), podstawiając zasięg strefy plastycznej z zależności;

$$r_L = r_a \cdot \left[\frac{p_g \cdot \beta_g + R'_{cg}}{p_o \cdot \beta_g + R_{cg}} \right]^{\frac{1}{\beta_g}}$$

Przykład:

- dane jak w rozdz. 9.3.5, przy H = 900 m
- obliczenia pomocnicze:

$$p_z = 10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 900 = 22,5 \text{ MPa}$$

$$p_g = \frac{2 \cdot 22,5 - 100}{2 + 2} = 8,75 \text{ MPa}$$

$$p_o = \frac{8,75 \cdot 2 + 0,5 \cdot 10}{2} \cdot \left[\frac{(1+0,20) \cdot (22,5 - 8,75)}{0,006 \cdot 5000} \right]^{\frac{2}{2}} - \frac{10}{2} = 1,187 \text{ MPa}$$

$$F = \frac{1,187}{10^{-2} \cdot 2,5 \cdot 3} = 15,827$$

- z nomogramu

$$r^* = \frac{r_a}{F} = 2,20$$

- obliczenia

$$r_a = 3,0 \cdot 2,20 = 6,60 \text{ m}$$

$$r_L = 6,60 \cdot \left(\frac{8,75 \cdot 2 + 0,5 \cdot 10}{1,1875 \cdot 2 + 0,5 \cdot 10} \right)^{\frac{1}{2}} = 11,53 \text{ m}$$

$$q_z = 10^{-2} \cdot 2,5 \cdot (6,6 - 3,0) = 0,08 \text{ MPa} \quad 9,0 \text{ T/m}^2$$

$$u_w = \frac{1 + 0,20}{5000} \cdot (12,5 - 8,75) \cdot \frac{11,53^2}{3,0} = 0,146 \text{ m}$$

9.3.5. Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska zlokalizowanego w gruncie nieskalistym oraz w strefie zaburzeń tektonicznych

W przypadku zlokalizowania wyrobiska w gruncie nieskalistym, jak np. w nadkładzie trzecio- i czwartorzędowym w strefie zaburzeń tektonicznych, a także przy stromym zaleganiu warstw ($> 30^\circ$ do poziomu) zaleca się oddziaływanie górotworu na obudowę określić indywidualnie.

9.4. Ciążar własny obudowy

Ciążar własny obudowy należy określać dla projektowanych wymiarów obudów przy przyjęciu gęstości przestrzennej materiałów zgodnie z PB-74/B-02009, przy czym zaleca się go jedynie uwzględnić przy obliczeniu obudów sklepieniowych.

9.5. Ciśnienie iniekcyjne

Wielkość normową ciśnienia iniekcyjnego należy przyjmować według ustaleń technologicznych.

9.6. Obciążenie obliczeniowe obudowy

Obciążenie obliczeniowe obudowy należy określić wg wzoru:

$$q_0 = q \cdot n,$$

gdzie: q - normowa wartość obciążenia określana wg rozdz. 9.3, 9.4 i 9.5.
 n - współczynnik obciążenia wg tablicy 10.

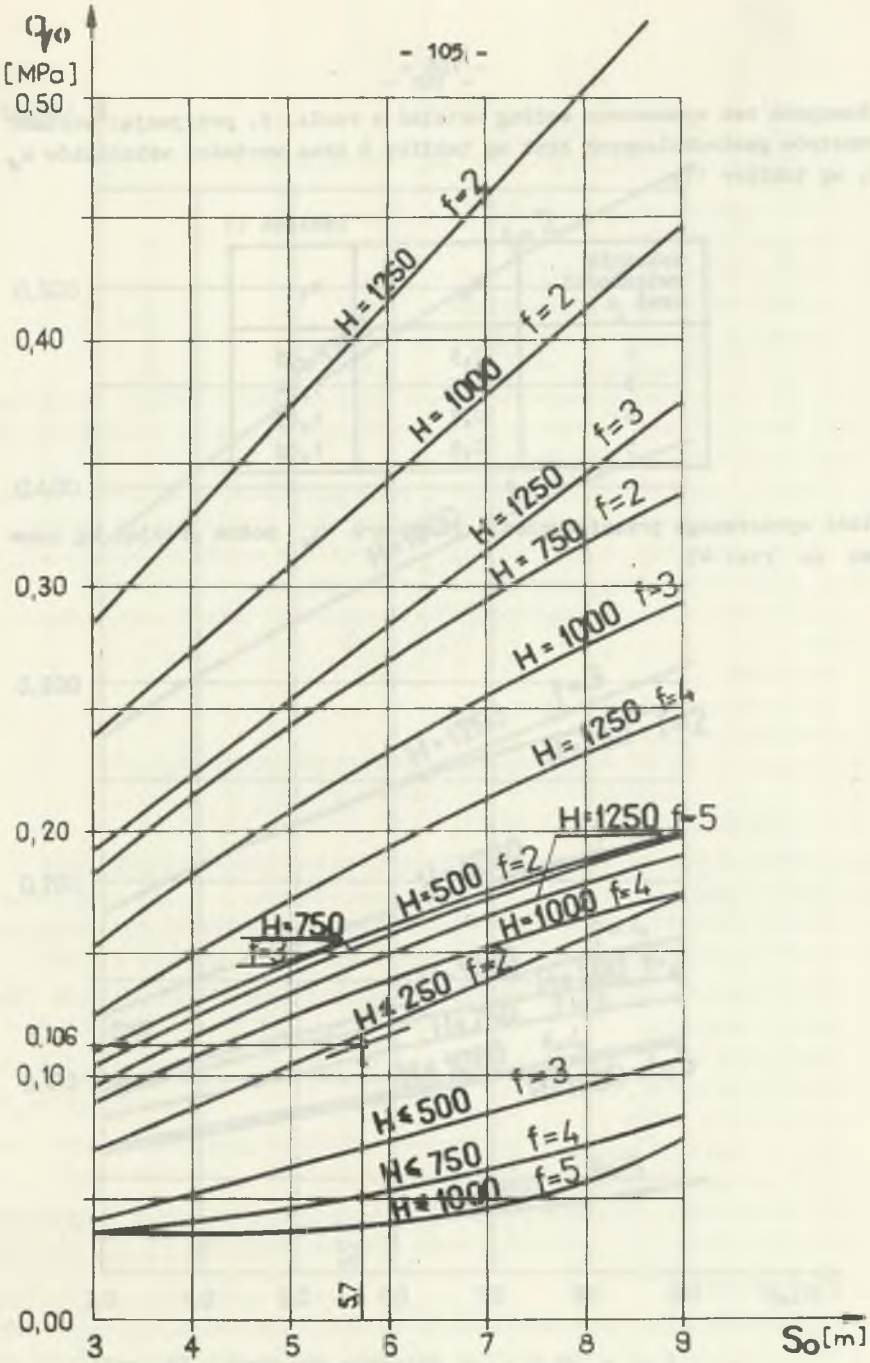
Tablica 10

Lp.	Rodzaj obciążenia obudowy	n
1	Ciśnienie górotworu na płytce zalegające wyrobiska	1,1
2	Ciśnienie górotworu w ośrodku sprężystym	1,3
3	Ciśnienie górotworu w ośrodku sprężysto-plastycznym	1,3
4	Ciśnienie górotworu w ośrodku sprężysto-plastyczno-spekany	1,3
5	Ciśnienie górotworu w strefach zaburzeń tektonicznych	1,4
6	Ciążar własny obudowy	1,1

9.7. Oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobisk zlokalizowanych w skałach karbońskich o przeciętnej podzielności

Dla wyrobisk zlokalizowanych w skałach karbońskich o przeciętnej podzielności można obciążenie obliczeniowe obudowy wynikające z ciśnienia statycznego górotworu przyjąć według nomogramu na rys. 42, w zależności od:

- szerokości obudowy s_0 (m),
- głębokości zalegania wyrobiska H (m),
- wartości wskaźnika zwięzłości skał według Protodiakonowa.



Rys. 42. Nomogram wartości q_0 (H, f, S_0)

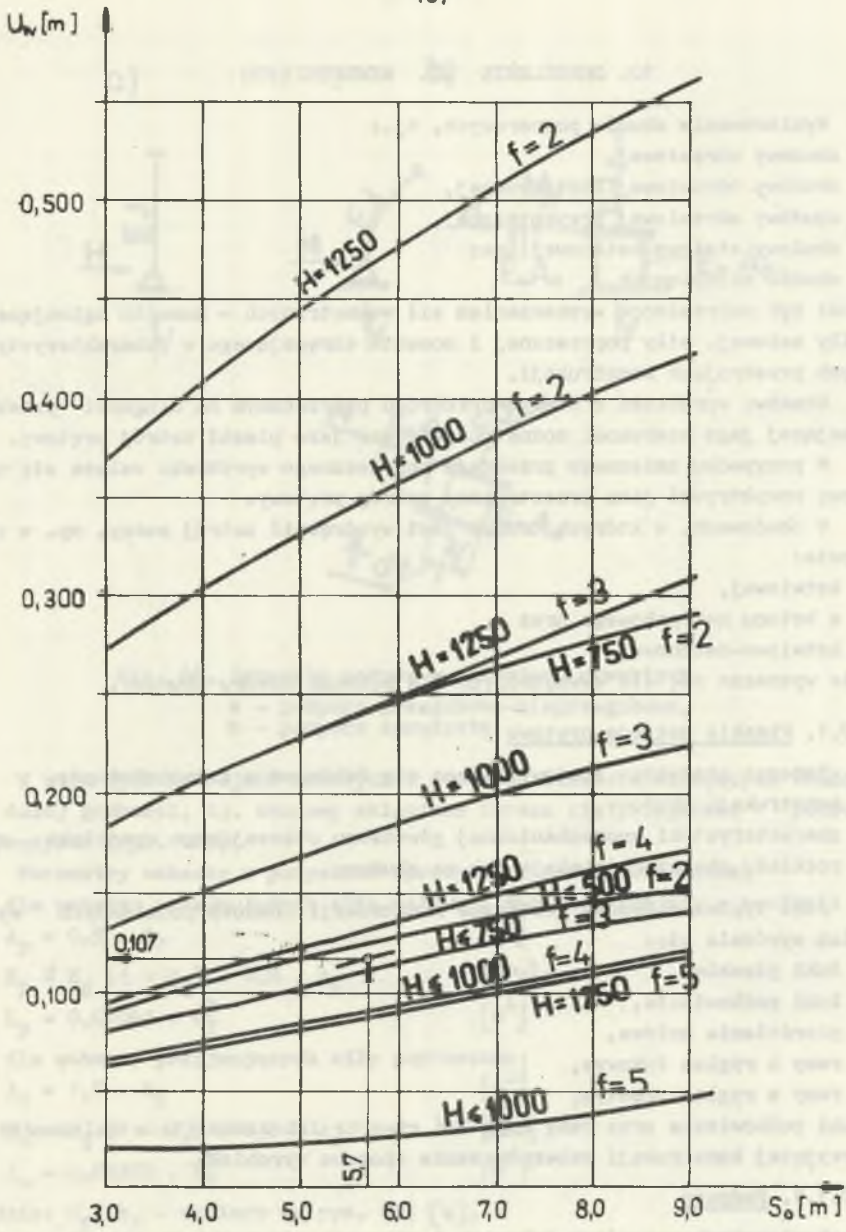
Nomogram ten wyznaczono według ustaleń w rozdz. 9, przyjmując wartość parametrów geotechnicznych skał wg tablicy 9 oraz wartości wskaźników k_0 i k_1 wg tablicy 11.

Tablica 11

Wskaźnik zwięzłości skał μ	k_0	k_1
2	0,5	1,05
3	0,6	1,04
4	0,7	1,03
5	0,8	1,02

Wartość wymuszonego przemieszczenia górotworu u_w można przyjąć wg nomogramu na rys. 43.





Rys. 43. Nomogram wartości $u_w = \varphi(H, f, S_0)$

10. OKREŚLENIE SIŁ WEWNĘTRZNYCH

Wymiarowanie obudów podporowych, tj.:

- obudowy odrzwiowej,
- obudowy odrzwiowej obetonowanej,
- obudowy odrzwiowej przykotwionej,
- obudowy stalowo-betonowej oraz
- obudów sklepionych.

musi być poprzedzone wyznaczeniem sił wewnętrznych - momentu zginającego, siły osiowej, siły poprzecznej i momentu skręcającego w charakterystycznych przekrojach konstrukcji.

Obudowę wyrobiska o stałym przekroju poprzecznym na długości przekraczającej jego szerokość można rozpatrywać jako płaski ustrój prętowy.

W przypadku zmiennego przekroju poprzecznego wyrobiska zaleca się obudowę rozpatrywać jako przestrzenny ustrój prętowy.

W obudowach, w których trudno jest wyodrębnić ustrój nośny, np. w obudowie:

- kotwiowej,
- z betonu natryskowego oraz
- kotwiowo-betonowej

nie wyznacza się sił wewnętrznych dla potrzeb doboru obudowy.

10.1. Płaskie ustroje prętowe

Schemat statyczny obudowy zaleca się dobierać w zależności od:

- konstrukcji obudowy,
- charakterystyki geomechanicznej górotworu otaczającego wyrobisko oraz
- rozkładu obciążeń działających na obudowę.

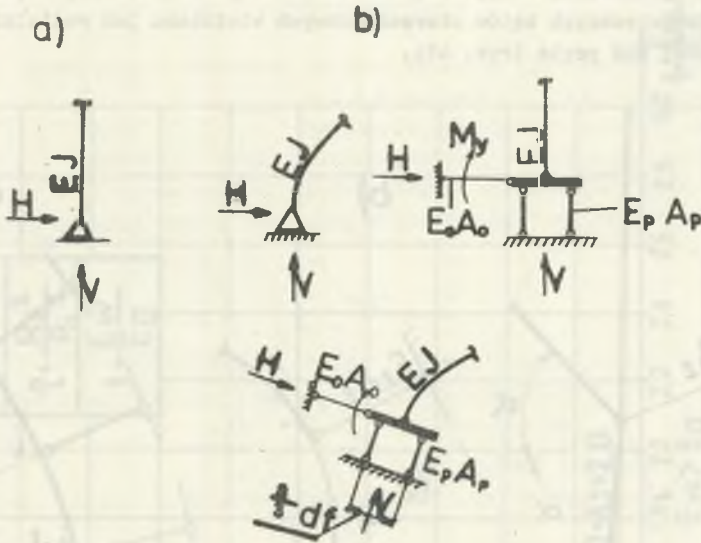
Jako typowe schematy statyczne konstrukcji obudowy podziemnych wyrobisk wyróżnia się:

- łuki płaskie,
- łuki podkowiaste,
- pierścienie kołowe,
- ramy z rygłem łukowym,
- ramy z rygłem prostym.

Łuki podkowiaste oraz ramy mogą być otwarte lub zamknięte w zależności od przyjętej konstrukcji zabezpieczenia sposobu wyrobiska.

10.1.1. Podpory

W otwartych ustrojach łukowych i ramowych odzwierciedlających obudowy o małej grubości, jak np. odrzwia stalowe, obudowę odrzwiową-obetonowaną, odrzwiową przykotwioną, stalowo-betonową itp. podpory należy przyjmować jako przegubowe (rys. 44a).



Rys. 44. Schematy podpór w ustrojach otwartych
 a - podpora przegubowo-nieprzegubowa,
 b - podpora sprężysta

W otwartych ustrojach łukowych i ramowych odzwierciedlających obudowy o dużej grubości, tj. obudowy sklepione zwraca się przyjmować podpory sprężyste (rys. 44b).

Parametry wahaczy w podporach sprężystych przyjmować równe;

- dla wahaczy przyjmujących siłę osiową i moment zginający w postaci:

$$A_p = 0,5 \cdot d_f^2 \quad [m^2]$$

$$E_p = E_g (1 - \nu_g) \cdot 8,8 \cdot A_p \quad [MPa]$$

$$L_p = 0,01042 \cdot d_f^3 \quad [m^4]$$

- dla wahaczy przyjmujących siły poprzeczne;

$$A_o = 1,0 \cdot h_f^2 \quad [m^2]$$

$$E_o = E_g (1 - \nu_g) \cdot 8,8 \cdot A_o \quad [MPa]$$

$$I_o = 0,08333 \cdot h_f^3 \quad [m^4]$$

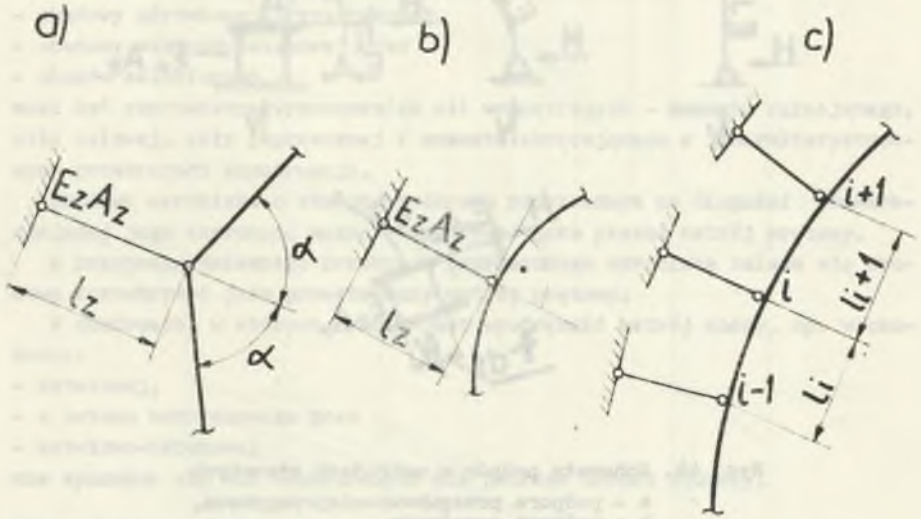
gdzie: d_f , h_f - wymiary wg rys. 49, [m],

E_g , ν_g - stałe sprężyste górotworu w miejscu posadowienia obudowy.

10.1.2. Odpór górotworu

Odpór górotworu rozumiemy jako dodatkowe reakcje występujące na odcinkach ustroju, przemieszczających się pod wpływem działającego obciążenia

w stronę górotworu, zaleca się modelować za pomocą wahaczy usytuowanych wzdłuż dwusiecznych kątów wierzchołkowych wieloboku lub radialnie do zakrzywionej osi pręta (rys. 45).



Rys. 45. Usytuowanie wahaczy imitujących odpor górotworu

Charakterystyka wahaczy uzależniona jest od:

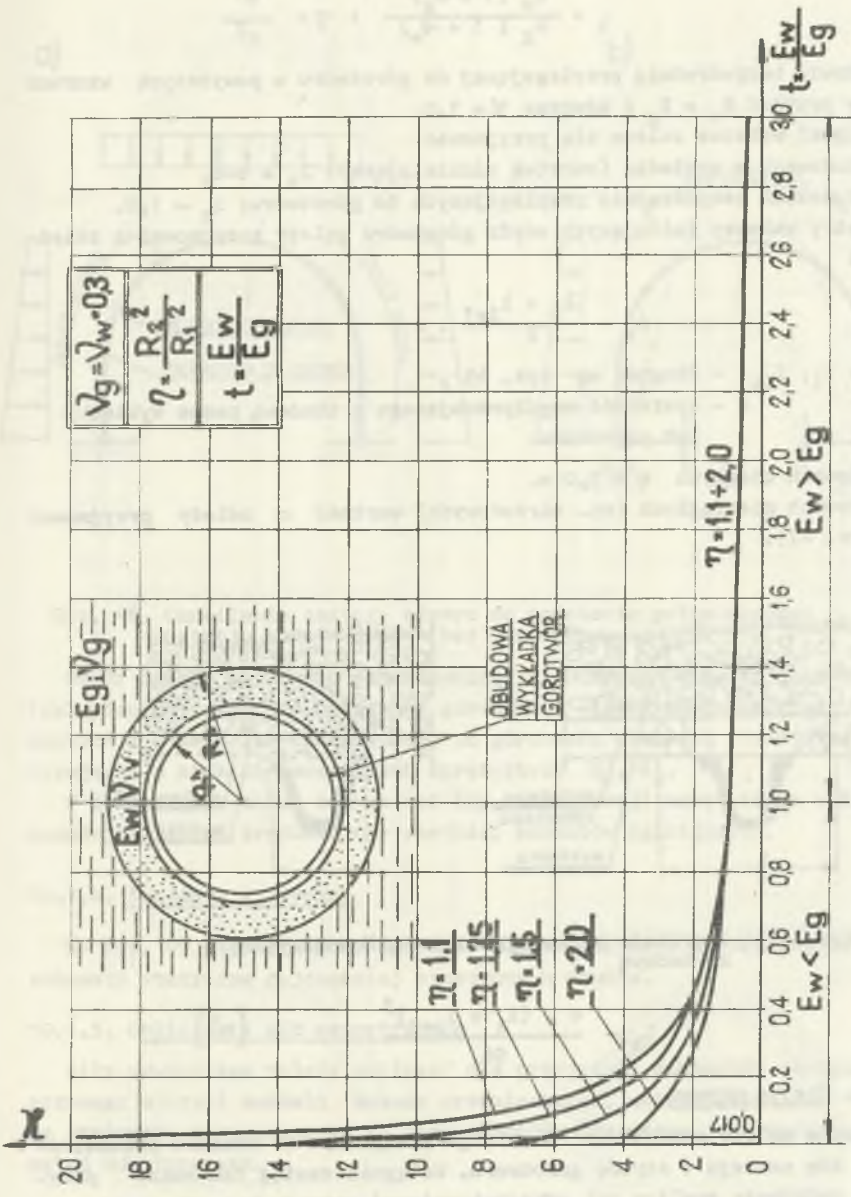
- stałych sprężystych E_w , ν_w wykładki (warstwy oddzielającej obudowę od górotworu),
- stałych sprężystych górotworu E_g , ν_g , otaczających wyrobisko,
- wymiarów wyrobiska a , b i grubości wykładki $E_w = b - a$.

Zastępczy moduł sprężystości podłużnej E_z przypisywany materiałowi wahacza zaleca się przyjmować z zależności:

$$E_z = \frac{E_w \cdot l_z}{(1 + \nu_w) \cdot a} \cdot \mathcal{K}$$

$$\mathcal{K} = \frac{b^2 (1 - 2\nu_w) + a^2 + \frac{E_w (1 + \nu_g)}{E_g (1 + \nu_w)} (b^2 - a^2)}{\frac{E_w (1 + \nu_g)}{E_g (1 + \nu_w)} [b^2 + a^2 (1 - 2\nu_w)] + (b^2 - a^2) (1 - 2\nu_w)}$$

Wartość \mathcal{K} dla $\nu_g = \nu_w = 0,3$ przedstawiono w postaci nomogramu (rys. 46) jako funkcję:



Rys. 46. Nomogram wartości $\alpha = f(t, \eta)$

$$t = \frac{E_w (1 + \nu_g)}{E_g (1 + \nu_w)} \quad \text{i} \quad \eta = \frac{b^2}{a^2}$$

W obudowie bezpośrednio przylegającej do górotworu w powyższych wzorach należy przyjąć $E_w = E_g$ i wówczas $\eta = 1,0$.

Długość wahacza zaleca się przyjmować:

- w obudowach z wykładką (warstwą oddzielającą): $l_z = b-a$,
- w obudowach bezpośrednio przylegających do górotworu: $l_z = 1,0$.

Parametry wahaczy imitujących odpór górotworu należy przyjmować z zależności:

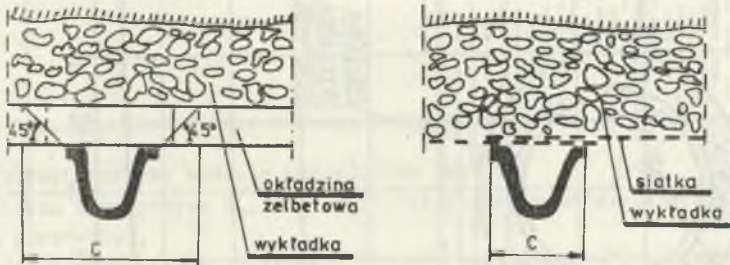
$$A_z = \frac{l_1 + l_{i+1}}{2} \cdot c,$$

gdzie: l_1, l_{i+1} - długość wg rys. 45,

c - szerokość współpracującego z obudową pasma wykładki lub górotworu.

W obudowach ciągłych $c = 1,0$ m.

W obudowach nieciągłych (np. odrzwiowych) wartość c należy przyjmować wg (rys. 47).

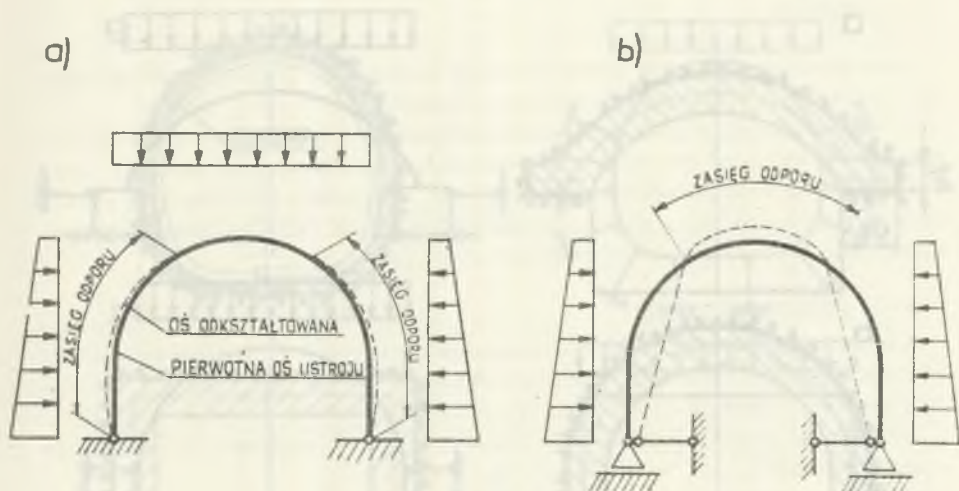


Rys. 47. Szerokość pasma wykładki współpracującego z obudową

$$I_z = \frac{c \cdot (l_1 + l_{i+1})^3}{96} \quad [m^4]$$

10.1.3. Zasięg odporu

Wahacze należy zamodelować w ustroju statycznym na odcinku przemieszczenia się ustroju w stronę górotworu. Wstępnie zasięg ten można przyjąć na podstawie analizy osi odkształceniowej ustroju bez odporu biernego (rys. 48).



Rys. 48. Określenie zasięgu odporu na podstawie przemieszczeń ustroju podstawowego (bez odporu)

Odpór bierny górotworu można pominąć w obudowach o dużej sztywności (sklepionych), zlokalizowanych w górotworze o niskich parametrach sprężystych E_g, ν_g lub oddzielonych od górotworu wykładką (warstwą amortyzującą) o niskich parametrach sprężystych E_w, ν_w .

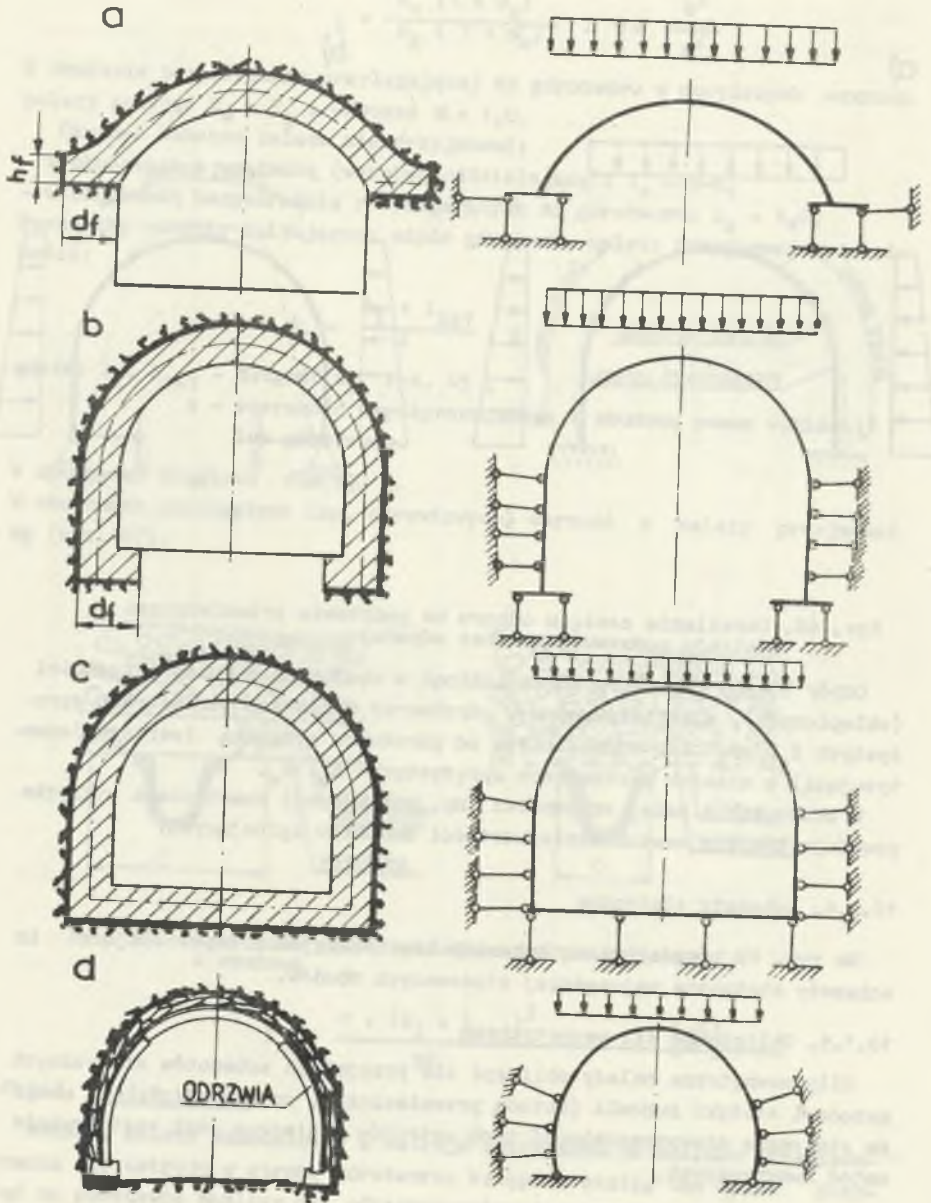
W obudowach o małej sztywności (np. odrzwiowej) nawet słaba wykładka powoduje znaczne zredukowanie wartości momentów zginających.

10.1.4. Schematy statyczne

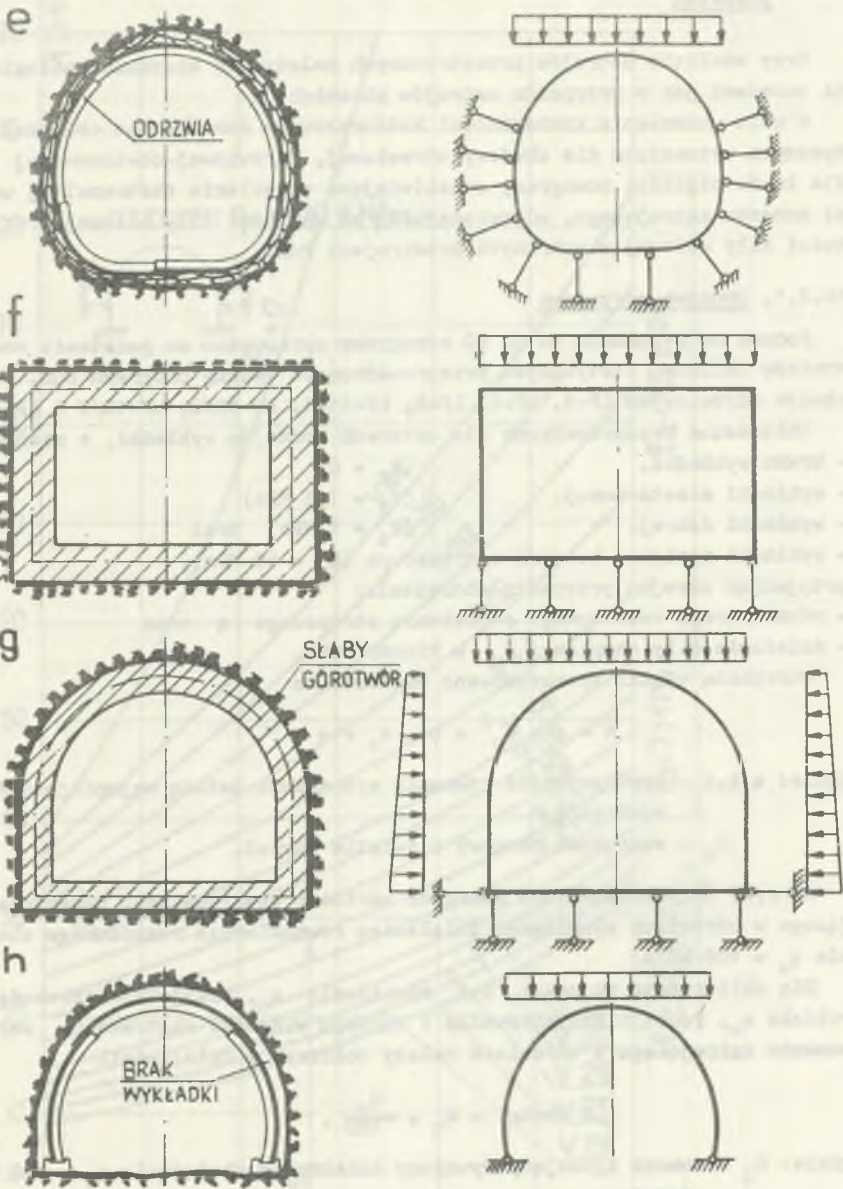
Na rys. 49 przedstawiono schematy konstrukcyjne i odpowiadające im schematy statyczne najczęściej stosowanych obudów.

10.1.5. Obliczanie sił wewnętrznych

Siły wewnętrzne należy obliczyć dla przyjętych schematów statycznych metodami statyki budowli (metodą przemieszczeń, metodą siły). Z uwagi na statyczną niewyznaczalność tych ustrojów konieczne jest zastosowanie metod numerycznych.



Rys. 49. Schematy konstrukcyjne obudów i odpowiadające im schematy statyczne (a, b, c, d)



Rys. 49. Schematy konstrukcyjne obudów i odpowiadające im schematy statyczne (e, f, g, h)

10.2. Ekstremalne wartości sił wewnętrznych w niektórych ustrojach płaskich

Przy analizie ustrojów przestrzennych należy się kierować analogicznymi zasadami jak w przypadku ustrojów płaskich.

W celu uniknięcia konieczności każdorazowego dokonywania obliczeń statycznych wyznaczono dla obudowy odrzwiowej, odrzwiowej-obetonowanej oraz dla łuków płaskich nomogramy umożliwiające określenie ekstremalnej wartości momentu zginającego, odpowiadającej mu wartości siły osiowej oraz wartości siły osiowej w wybranych przekrojach łuku.

10.2.1. Obudowa odrzwiowa

Podane na rysunkach 50 do 60 nomogramy opracowano na podstawie analizy wyników obliczeń statycznych przeprowadzonych według programu Bud. 57 dla obudów odrzwiowych ŁP-3, ŁP-6, ŁP-8, ŁP-11/1, ŁP-15/2, ŁP-18/2 i ŁP-22/2.

Obliczenia przeprowadzono dla czterech rodzajów wykładki, a mianowicie:

- braku wykładki, ($E_z = 0$)
- wykładki niestarannej, ($E_z = 1,5$ MPa)
- wykładki dobrej, ($E_z = 7$ MPa) oraz
- wykładki scalonej betonem natryskowym ($E_z = 40$ MPa),

przyjmując skrajne przypadki obciążenia:

- równomiernie rozłożonego obciążenia stropowego q oraz
- działania siły skupionej P_w w kluczu łuku.

Otrzymane wyniki aproksymowano wielomianem

$$W = a \cdot s_0^2 + b \cdot s_0 + c,$$

gdzie: a, b, c - współczynniki równania wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów,

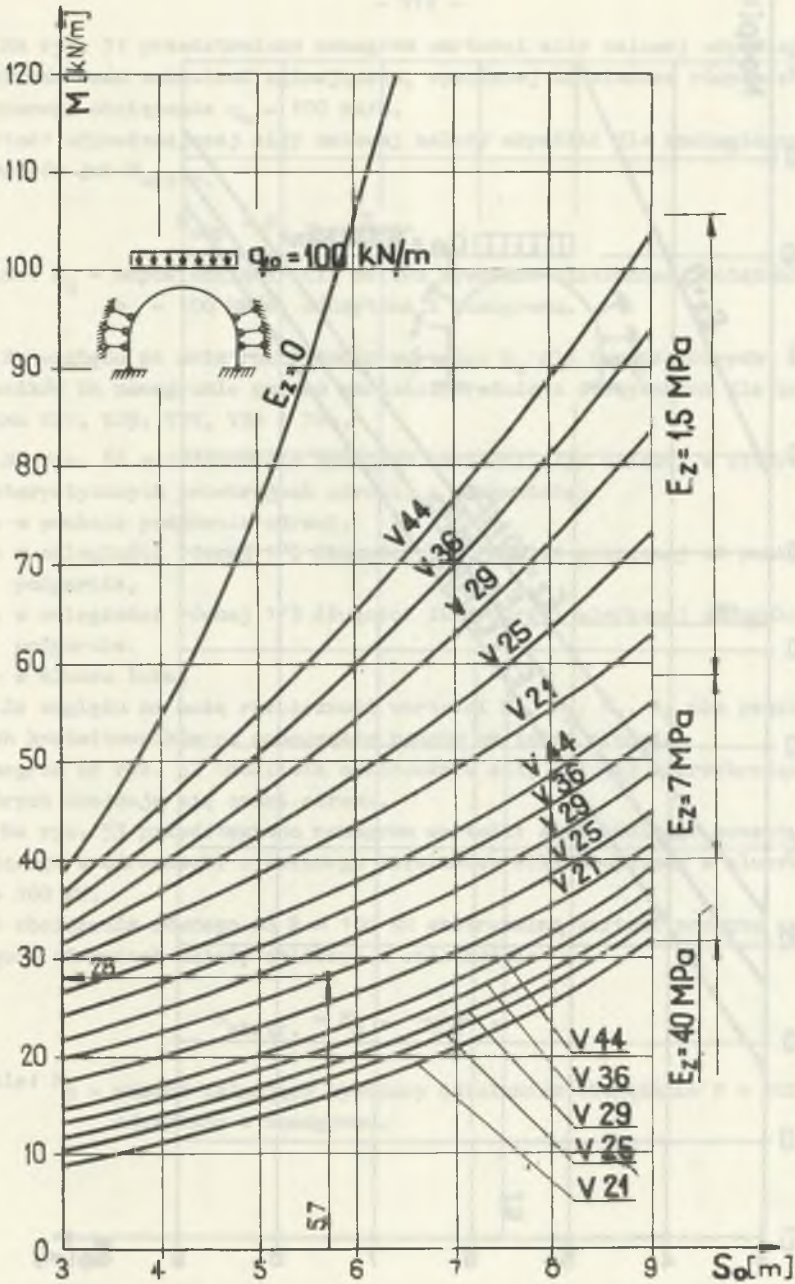
s_0 - szerokość obudowy w świetle odrzwi.

Na rys. 50 przedstawiono nomogram wartości ekstremalnego momentu zginającego w odrzwiach wywołanego działaniem równomiernie rozłożonego obciążenia $q_0 = 100$ kN/m.

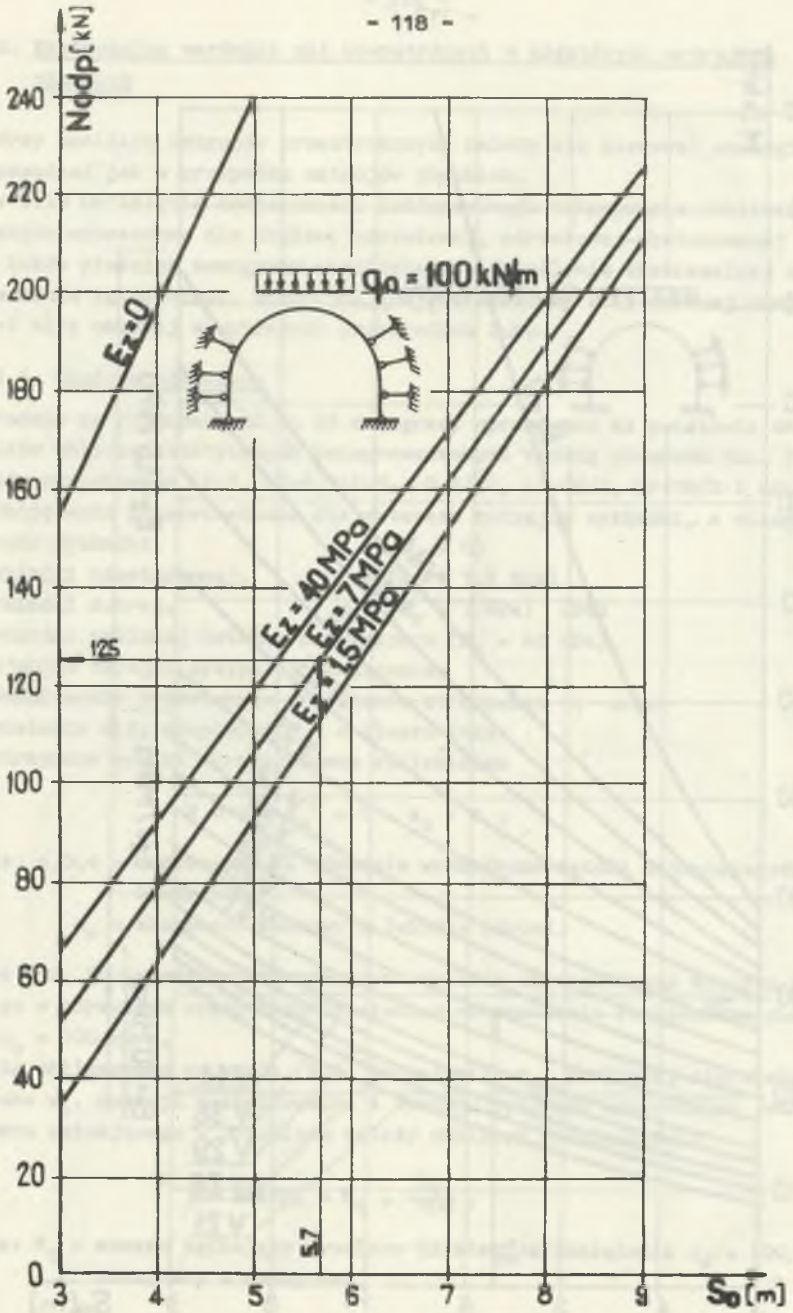
Dla obliczonego wg rozdz. 9.3 obciążenia q_0 , przyjętej szerokości wyrobiska w_0 , rodzaju kształtownika i rodzaju wykładki ekstremalną wartość momentu zginającego w odrzwiach należy obliczyć z zależności:

$$M_{\text{ekstr.}} = M_q \cdot \frac{q_0}{100},$$

gdzie: M_q - moment zginający wywołany działaniem obciążenia $q_0 = 100$ kN/m, odczytany z nomogramu



Rys. 50. Nomogram wartości ekstremalnego momentu zginającego w obudowie łukowej



Rys. 51. Nomogram wartości siły osiowej odpowiadającej ekstremalnemu momentowi zginającemu w obudowie łukowej

Na rys. 51 przedstawiono nomogram wartości siły osiowej odpowiadającej ekstremalnemu momentowi zginającemu, wywołanej działaniem równomiernie rozłożonego obciążenia $q_0 = 100 \text{ kN/m}$.

Wartość odpowiadającej siły osiowej należy określić dla analogicznych parametrów jak M_{ekstr} .

$$N_{\text{odp}} = N_q \cdot \frac{q_0}{100},$$

gdzie: N_q - odpowiadająca siła osiowa wywołana działaniem obciążenia $q_0 = 100 \text{ kN/m}$, odczytana z nomogramu.

Ze względu na małą rozbieżność wartości N_z dla poszczególnych kształtowników na nomogramie podano wartości średnie z otrzymanych dla kształtownika V21, V25, V29, V36 i V44.

Na rys. 52 przedstawiono nomogram wartości siły osiowej w czterech charakterystycznych przekrojach odrzwi, a mianowicie:

- 1 - w punkcie podparcia odrzwi,
- 2 - w odległości równej $1/6$ długości łuku odrzwi mierzonej od punktu podparcia,
- 3 - w odległości równej $1/3$ długości łuku odrzwi mierzonej od punktu podparcia,
- 4 - w kluczu łuku.

Ze względu na małą rozbieżność wartości N_1, N_2, N_3, N_4 dla poszczególnych kształtowników na nomogramie podano wartości średnie.

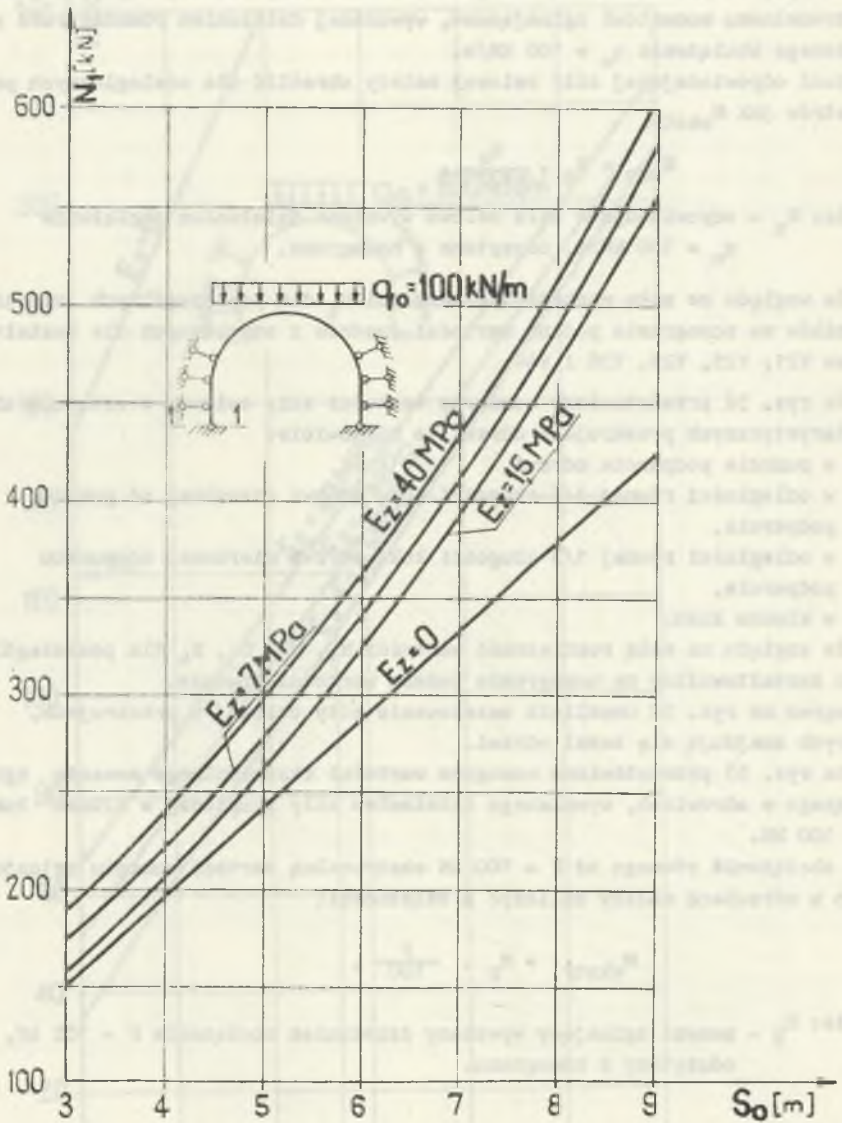
Nomogram na rys. 52 umożliwia oszacowanie siły osiowej w przekrojach, w których znajdują się zamki odrzwi.

Na rys. 53 przedstawiono nomogram wartości ekstremalnego momentu zginającego w odrzwiach, wywołanego działaniem siły skupionej w kluczu łuku $P = 100 \text{ kN}$.

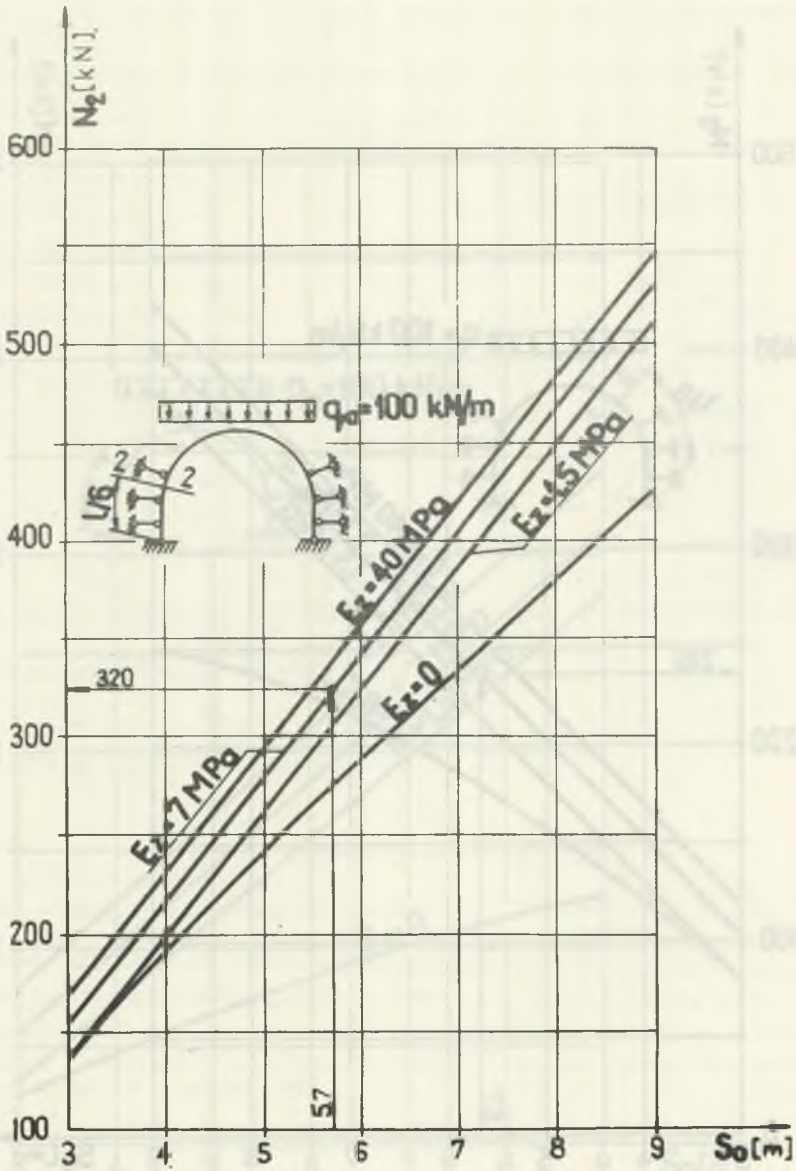
Dla obciążenia równego od $P = 100 \text{ kN}$ ekstremalną wartość momentu zginającego w odrzwiach należy obliczyć z zależności:

$$M_{\text{ekstr.}} = M_p \cdot \frac{P}{100},$$

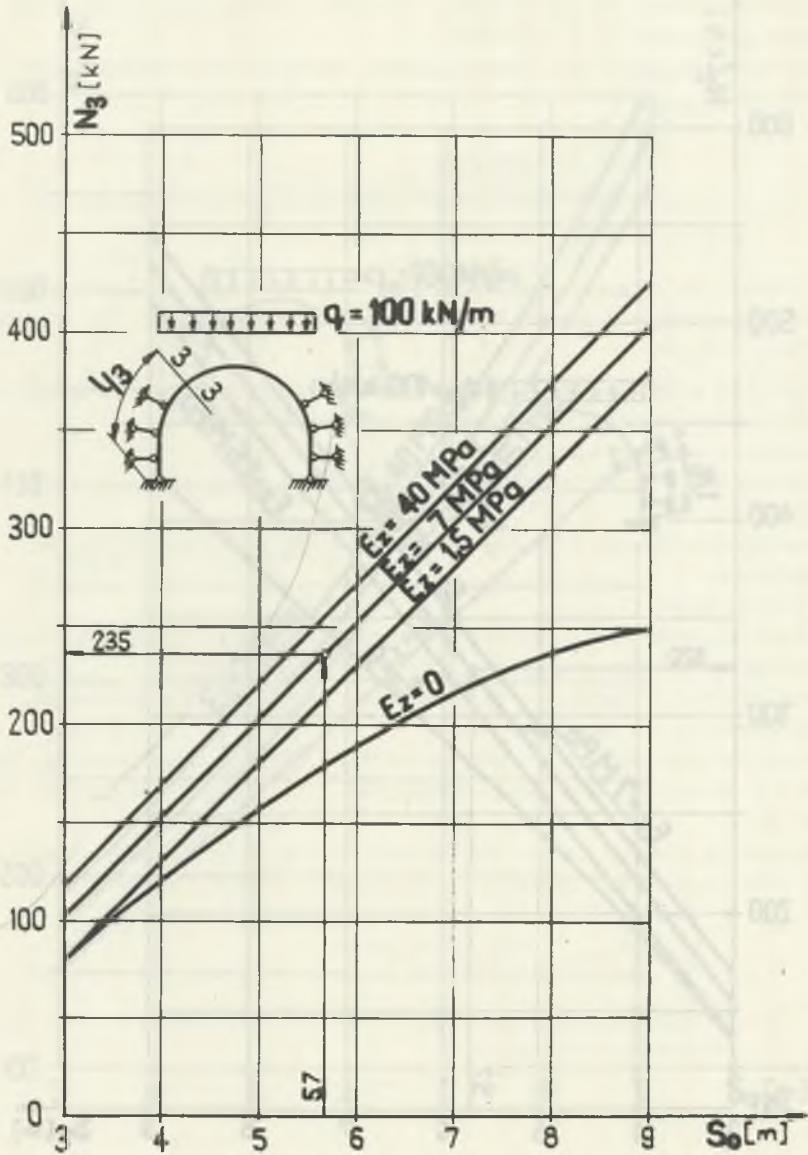
gdzie: M_p - moment zginający wywołany działaniem obciążenia $P = 100 \text{ kN}$, odczytany z nomogramu.



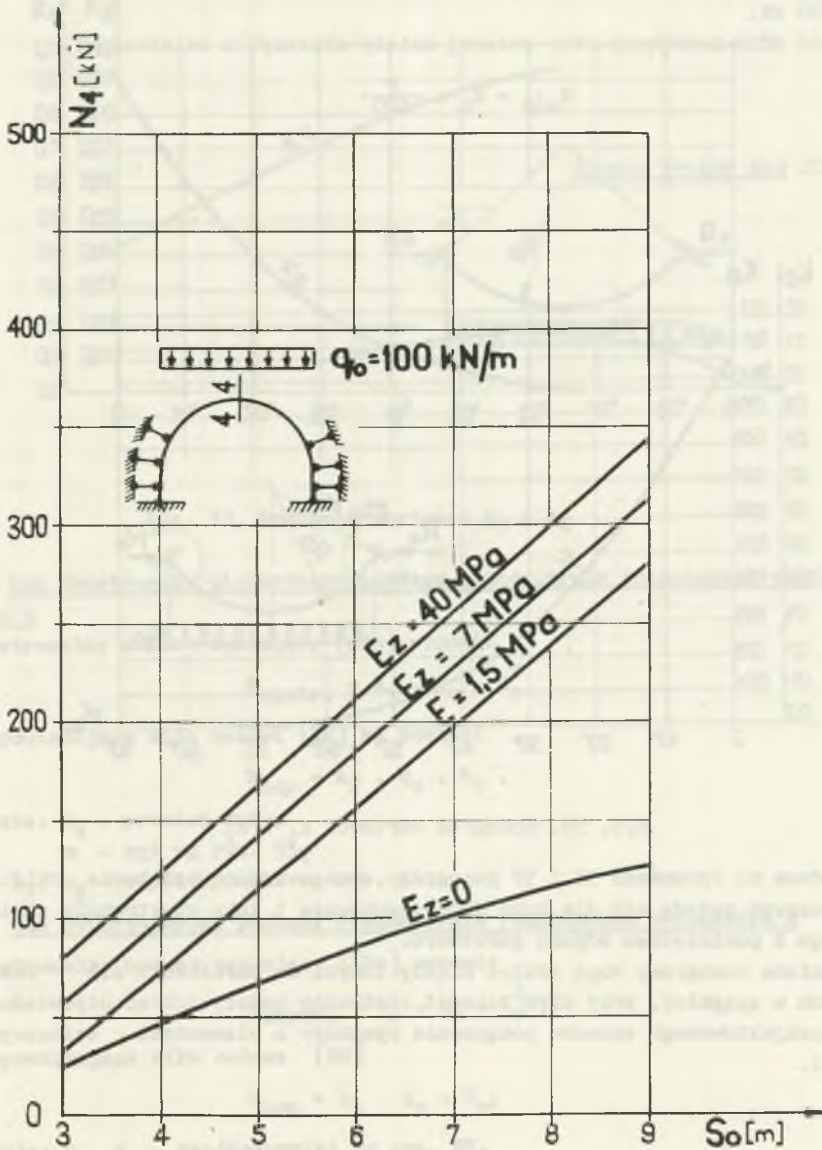
Rys. 52. Nomogram wartości siły osiowej w przekroju 1-1 od obciążenia $q_0 = 100 \text{ kN/m}$



Rys. 53. Nomogram wartości siły osiowej w przekroju 2-2 od obciążenia $q_0 = 100$ kN/m



Rys. 54. Nomogram wartości siły osiowej w przekroju 3-3 od obciążenia $q_0 = 100 \text{ kN/m}$



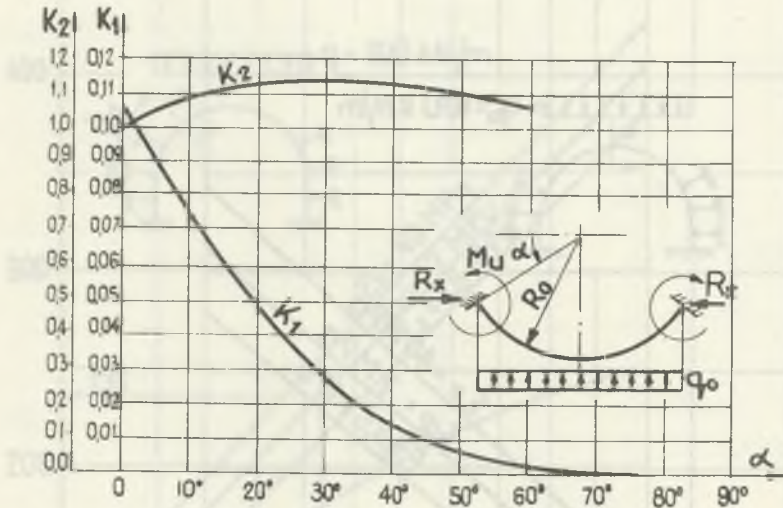
Rys. 55. Nomogram wartości siły osiowej w przekroju 4-4 od obciążenia $q_0 = 100 \text{ kN/m}$

Na rys. 54, 55 przedstawiono nomogram wartości siły osiowej odpowiadającej ekstremalnemu momentowi zginającemu, wywołanej działaniem siły skupionej $P = 100 \text{ kN}$.

Wartość odpowiadającej siły osiowej należy obliczyć z zależności:

$$N_{\text{odp}} = N_p \cdot \frac{P}{100}$$

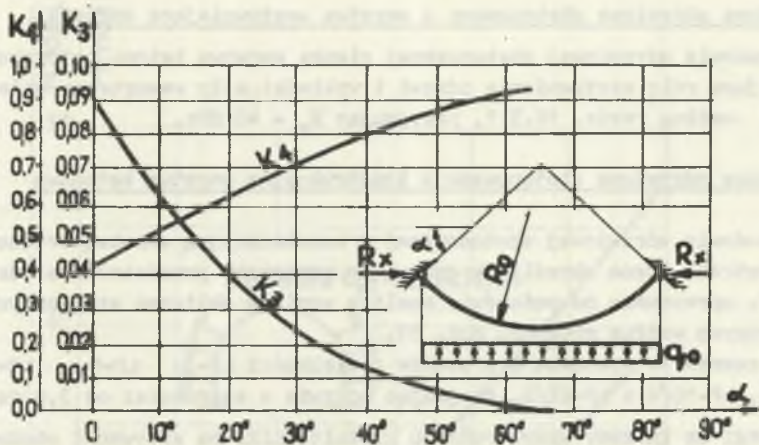
10.2.2. Łuk kołowy płaski



Rys. 56. Nomogram wartości k_1 i k_2

Podane na rysunkach 56 i 57 nomogramy opracowano na podstawie obliczeń statycznych metodą sił dla łuku dwuprzegubowego i łuku obustronnie utwierdzonego z pominięciem odporu górotworu.

Wymienione nomogramy mogą służyć między innymi do określenia sił wewnętrznych w spągnicy, przy czym schemat statyczny należy dobrać odpowiednio do zaprojektowanego sposobu połączenia spągnicy z elementami ociosowymi odrzwi.



Rys. 57. Nomogram wartości k_3 i k_4

Łuk obustronnie utwierdzony poddany równomiernie rozłożonemu obciążeniu q

Ekstremalny moment zginający [kNm] wynosi:

$$M_{\text{ekstr.}} = k_1 \cdot q_0 \cdot R_0^2$$

Odpowiadająca siła osiowa [kN] ma postać:

$$N_{\text{odp}} = k_2 \cdot q_0 \cdot R_0,$$

gdzie: R_0 - promień łuku,

α - kąt wg rys. 55,

k_1, k_2 - współczynniki wg rys. 54.

Łuk dwuprzegubowy poddany równomiernie rozłożonemu obciążeniu q

Ekstremalny moment zginający [kNm] wynosi:

$$M_{\text{ekstr.}} = k_3 \cdot q_0 \cdot R_0^2$$

Odpowiadająca siła osiowa [kN]

$$N_{\text{odp}} = k_4 \cdot q_0 \cdot R_0,$$

gdzie: k_1, k_2 - współczynniki wg rys. 57.

10.2.3. Obudowa odrzwiowa obetonowana

Obudowa odrzwiowa obetonowana z warstwą usztywniającą odrzwia

W obudowie odrzwiowej obetonowanej cienką warstwą betonu natryskowego, spełniającą rolę usztywnienia odrzwi i wykładki, siły wewnętrzne należy wyznaczyć według rozdz. 10.3.1, przyjmując $E_z = 40$ MPa.

Obudowa odrzwiowa obetonowana z konstrukcyjną warstwą betonową

W obudowie odrzwiowej obetonowanej z konstrukcyjną warstwą betonową siły wewnętrzne można określić w oparciu o nomogramy przedstawione na rys. 58 i 59, opracowane na podstawie analizy wyników obliczeń statycznych przeprowadzonych według programu Bud. 57.

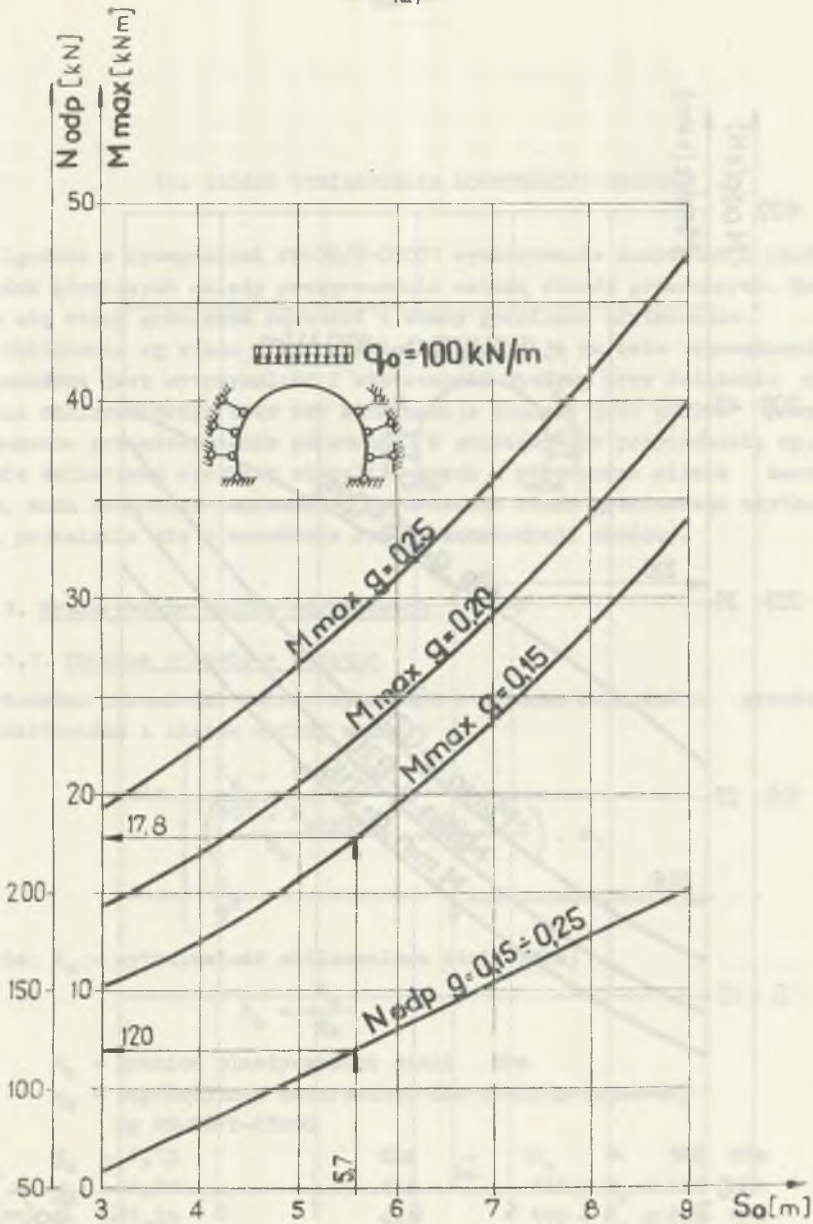
Obliczenia te wykonano dla obudów o wielkości ŁP-3, ŁP-6, ŁP-11/1, ŁP-15/2, ŁP-18/2 i ŁP-22/2, obejmując odrzwia o szerokości od 3,0 do 9,0m.

Z uwagi na znikomy wpływ rodzaju kształtownika na sztywność obudowy obliczenia przeprowadzono dla przekroju betonowego z pominięciem wpływu kształtownika, przyjmując trzy grubości warstwy betonowej, a mianowicie 15, 20 i 25 cm.

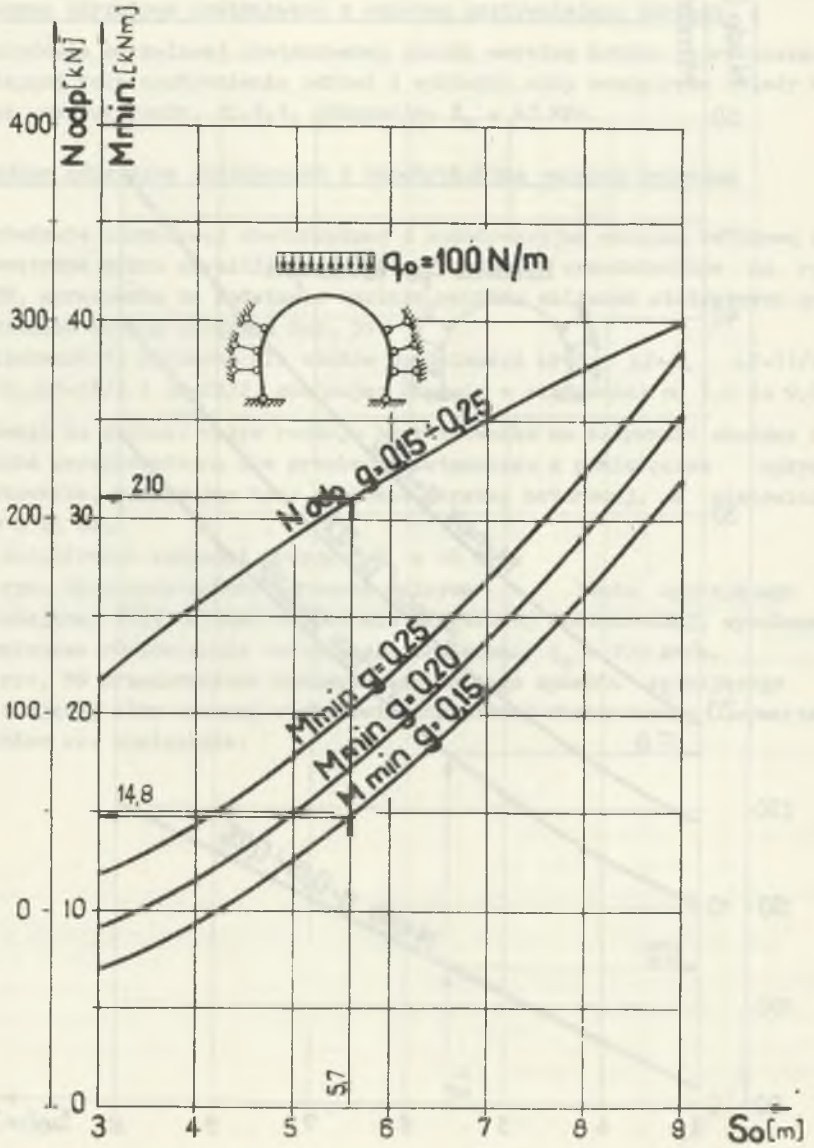
Moduł ściśliwości wykładki przyjęto $E_z = 40$ MPa.

Na rys. 58 przedstawiono nomogram maksymalnego momentu zginającego i odpowiadającej siły osiowej w obudowie odrzwiowej obetonowanej, wywołanego działaniem równomiernie rozłożonego obciążenia $q_0 = 100$ kN/m.

Na rys. 59 przedstawiono nomogram minimalnego momentu zginającego i odpowiadającej siły osiowej w obudowie odrzwiowej obetonowanej wywołanej działaniem ww. obciążenia.



Rys. 58. Nomogram maksymalnego momentu zginającego i odpowiadającej siły osiowej w obudowie łukowej obetonowanej od obciążenia $q_0 = 100$ kN/m



Rys. 59. Nomogram minimalnego momentu zginającego i odpowiadającej siły osiowej w obudowie łukowej obetonowanej od obciążenia $q_0 = 100 \text{ kN/m}$

11. ZASADY WYMIAROWANIA KONSTRUKCJI OBUDOWY

Zgodnie z wymaganiami PN-76/B-03001 wymiarowanie konstrukcji obudów wyrobisk górniczych należy przeprowadzić metodą stanów granicznych. Rozróżnia się stany graniczne nośności i stany graniczne użytkowania.

Obliczenia wg stanu granicznego nośności mają na celu sprawdzenie czy zapewniona jest wytrzymałość i stateczność obudowy przy działaniu obciążenia obliczeniowego oraz czy konstrukcja obudowy jest zdolna przynieść wymuszone przemieszczenie górotworu. W szczególnych przypadkach, np. w obudowie żelbetowej wyrobisk zlokalizowanych w górotworze silnie zawodnionym, może zachodzić konieczność sprawdzenia stanu granicznego użytkowania, np. pojawienia się i rozwarcia rys, w konstrukcji obudowy.

11.1. Wymiarowanie obudów odrzwiowych

11.1.1. Obudowa odrzwiowa podatna

Rozstaw odrzwi (m) należy wyznaczyć z warunku nośności granicznej kształtownika i złącza według wzoru:

$$d = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{R_a \cdot (m + n_1)}{\left(\frac{10^{-2} \cdot M_{ekstr}}{W_x} + \frac{N_{odp} \cdot m_w}{A} \right) \cdot m_1} \\ \frac{N_z}{N} \end{array} \right. \quad (107)$$

gdzie: R_a - wytrzymałość obliczeniowa stali [MPa]

$$R_a = \frac{R_e}{\gamma_s}$$

R_e - granica plastyczności stali MPa

γ_s - współczynnik materiałowy dla stali przyjmowany wg PN-76/B-03200

$\gamma_s = 1,15$ dla $R_e \leq 360$ MPa

$\gamma_s = 1,20$ dla $360 < R_e \leq 470$ MPa

$\gamma_s = 1,25$ dla $470 < R_e \leq 600$ MPa

$M_{ekstr.}$ - ekstremalna wartość momentu zginającego w odrzwiach [kNm] określona wg rozdz. 9

N_{odp} - odpowiadająca wartość siły osiowej kN określona wg rozdz. 9

N - siła osiowa w złączu odrzwi kN określona wg rozdz. 9.

Przy większej liczbie złącz niż 2 należy przyjąć siłę osiową w najbardziej wyciążonym złączu.

- W_x - wskaźnik wytrzymałości przekroju kształtownika [cm^3]
 A - pole przekroju poprzecznego kształtownika [cm^2]
 N_z - nośność złącza odrzwi [kN]. W zależności od rodzaju zastosowanych strzemion i wartości momentu dokręcającego śruby zaleca się przyjmować;
- dla strzemion kabłąkowych wg PN-73/G-15011 oraz strzemion typu "K" $N_z = 100 \div 150$ [kN]
- dla strzemion z importu (np. G-405) oraz strzemion typu ZS1, 2L $N_z = 150 \div 200$ [kN]
 m_w - współczynnik wybooczeniowy wg PN-76/B-03200 zależny od stosunku
 λ - smukłość odrzwi. Zaleca się przyjmować

$$\lambda = \frac{50 \cdot l}{i_x}$$

- i_x - promień bezwładności kształtownika [cm]
 l - długość osi niepodpartej części odrzwi [m]

Wartości "l" i "r₀" zestawiono w tabelicy 12 (rys. 60)

- m - współczynnik wynoszący:
- dla kształtownika KS, KO, V $m = 1,40$
- dla kształtownika G $m = 1,22$

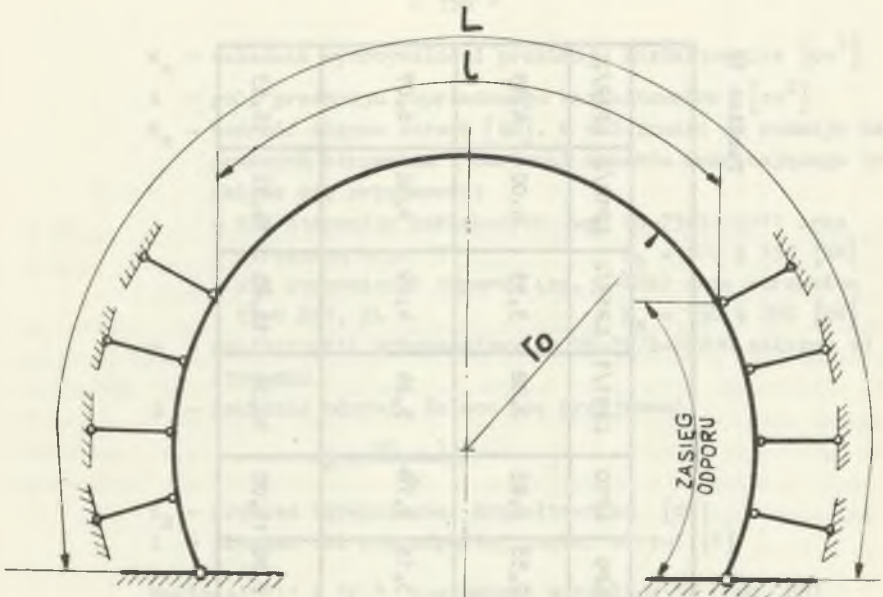
$$n_1 = \frac{R_m - R_e}{R_e}$$

- R_m - wytrzymałość stali na rozciąganie [MPa]
 m_1 - współczynnik warunków pracy obudowy. Zaleca się przyjmować $m_1 = 1,5$.

W obudowie odrzwiowej podatnej można pominąć sprawdzenie warunku (108), tj. zdolności obudowy do przejęcia przemieszczeń wymuszonych przez górotwór.

Tablica 12

Wielkość odrzwi	O d r z w i a											
	ŁP3	ŁP4	ŁP5	ŁP6	ŁP7	ŁP8	ŁP9	ŁP10	ŁP11/1	ŁP15/2	ŁP18/2	ŁP22/2
Wymiar												
Promień zastępczy r_0 (m)	1,59	1,67	1,80	1,94	2,16	2,38	2,53	2,85	2,88	3,53	4,00	4,55
Długość swobodnego odcinka obudowy l (m)	1,96	2,20	2,25	2,83	2,96	3,07	3,15	3,70	3,24	4,09	4,92	6,07
Obwód odrzwi L (m)	7,20	7,60	8,00	8,10	8,80	9,30	9,90	11,00	10,34	12,45	14,72	16,53



Rys. 60. Schemat przyjętych parametrów odrzwi - długość wyboeczeniowa odrzwi

11.1.2. Obudowa odrzwiowa sztywna

Rozstaw odrzwi (m) należy wyznaczyć ze wzoru (107), Ponadto należy wykazać, że:

$$u^{ob} \geq 0,9 \cdot u, \quad (108)$$

gdzie: u^{ob} - podatność radialna obudowy [m],

u - wymuszone przemieszczenie obudowy [m] określone wg rozdz. 9,

$$u^{ob} = 0,03 \cdot s_0 \quad (109)$$

s_0 - szerokość wyrobiska w świetle obudowy [m]

11.1.3. Obudowa odrzwiowa wzmocniona cienką warstwą betonu natryskowego

Rozstaw odrzwi (m) należy wyznaczyć ze wzoru (107) przyjmując $m_w = 1,0$. Wartość sił wewnętrznych M_{ekstr} , N_{odp} należy wyznaczyć według rozdz. 10, przyjmując $E_z = 40$ MPa.

Ponadto należy wykazać spełnienie warunku (108). Podatność radialną obudowy zaleca się określać wg wzoru (109).

11.1.4. Przykład określania parametrów obudowy podatnej

D a n e:

Wyrobisko ŁP-8

$$r_0 = 2,38 \text{ m}$$

$$l = 3,07 \text{ m}$$

Kształtownik V25 ze stali ST.5

$$A = 31,8 \text{ cm}^2$$

$$W_x = 80 \text{ cm}^3$$

$$e_x = 3,89 \text{ cm}$$

$$m = 1,40$$

$$R_m = 500 \text{ MPa}$$

$$R_e = 290 \text{ MPa}$$

Strzemię G-405

$$N_z = 200 \text{ kN}$$

obciążenie obliczeniowe

$$q_0 = 0,15 \text{ MPa} = 150 \text{ kN/m}^2$$

Z nomogramu (rys. 50 i 51) dla dobrej wykładki kamiennej, tj.

($E_z = 0,7 \text{ MPa}$) wynoszą:

$$M_q = 20,69 \text{ kNm}$$

$$N_q = 130 \text{ kN}$$

$$N_1 = 206,2 \text{ kN}$$

Obliczenia:

$$M_{\text{ekstr.}} = 20,69 \cdot \frac{150}{100} = 31,04 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{odp}} = 130,0 \cdot \frac{150}{100} = 195 \text{ kN}$$

$$N = 206,2 \cdot \frac{150}{100} = 309,3 \text{ kN}$$

$$\lambda = \frac{50 \cdot 3,07}{3,89} = 39,47$$

$$\text{z PN-76/B-03200 dla } R_a = \frac{290}{1,15} = 252 \rightarrow \lambda_p = 105$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_p} = \frac{39,47}{105} = 0,38 \rightarrow m_w = 1,12$$

$$n_1 = \frac{500 - 290}{290} = 0,724$$

$$d = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{290 \cdot (0,724 + 1,40)}{1,15 \cdot \left(\frac{10^3 \cdot 31,04}{80} + \frac{10 \cdot 195 \cdot 1,12}{31,8} \right) \cdot 1,5} = 0,78 \text{ m} \\ \frac{200}{309,3} = 0,65 \text{ m} \end{array} \right.$$

11.1.5. Nomogramy nośności obudowy odrzwiowej

Na rysunkach 61 do 63 zestawiono nomogramy nośności obudowy odrzwiowej dla różnych rodzajów wykładki, a mianowicie:

- wykładki niestarannej $E_z = 1,5$ MPa (rys. 61)
- wykładki dobrej $E_z = 7$ MPa (rys. 62)
- wykładki scalonej betonem natryskowym $E_z = 40$ MPa (rys. 63)

Dla obudowy podatnej nośność odrzwi uwarunkowana jest nośnością kształtownika q_k i nośnością złącza q_z .

Przy znanej wartości q_0 , s_0 oraz przyjętym rodzaju kształtownika należy dobrać rozstaw odrzwi oraz wymaganą nośność złącza N_z .

Dla obudowy odrzwiowej z łuków sztywnych i obudowy odrzwiowej wzmocnionej cienką warstwą betonu natryskowego o nośności decyduje wyłącznie nośność kształtownika q_k .

Przykład:

Dane jak w rozdz. 11.1.4.

Z nomogramu na (rys. 62) dla $q_0 = 0,15$ MPa, $s_0 = 4,7$ m i przyjętego kształtownika V25 otrzymano:

- rozstaw odrzwi z uwagi na nośność kształtownika $d = 0,80$ m,
- rozstaw odrzwi z uwagi na nośność złącz $N_z = 200$ kN, $d = 0,60$ m.

11.2. Wymiarowanie obudów powłokowych

11.2.1. Obudowa z betonu natryskowego

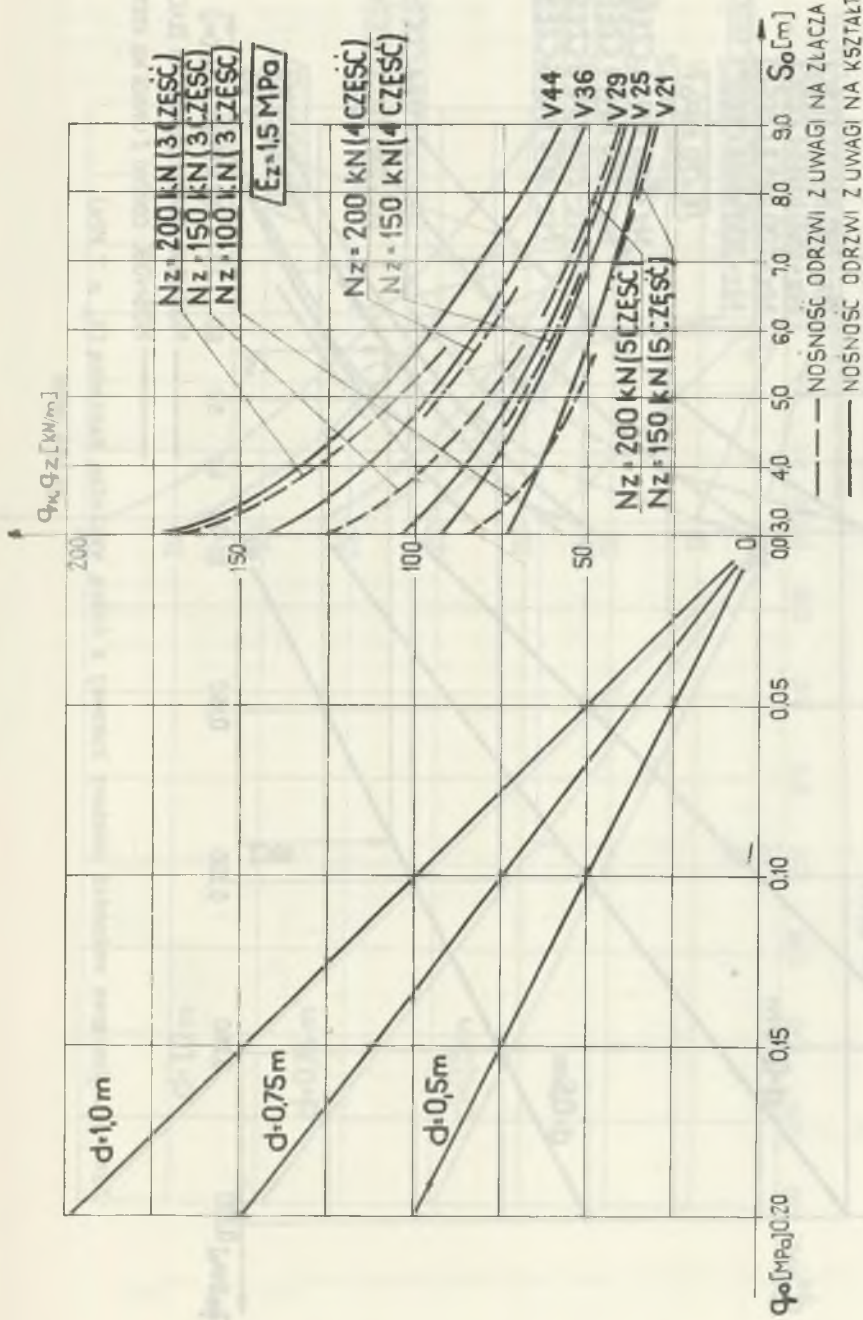
Wymiarowanie obudowy sprowadza się do obliczenia grubości warstwy betonowej dla przyjętej klasy betonu.

Grubość powłoki [cm] można określić ze wzoru:

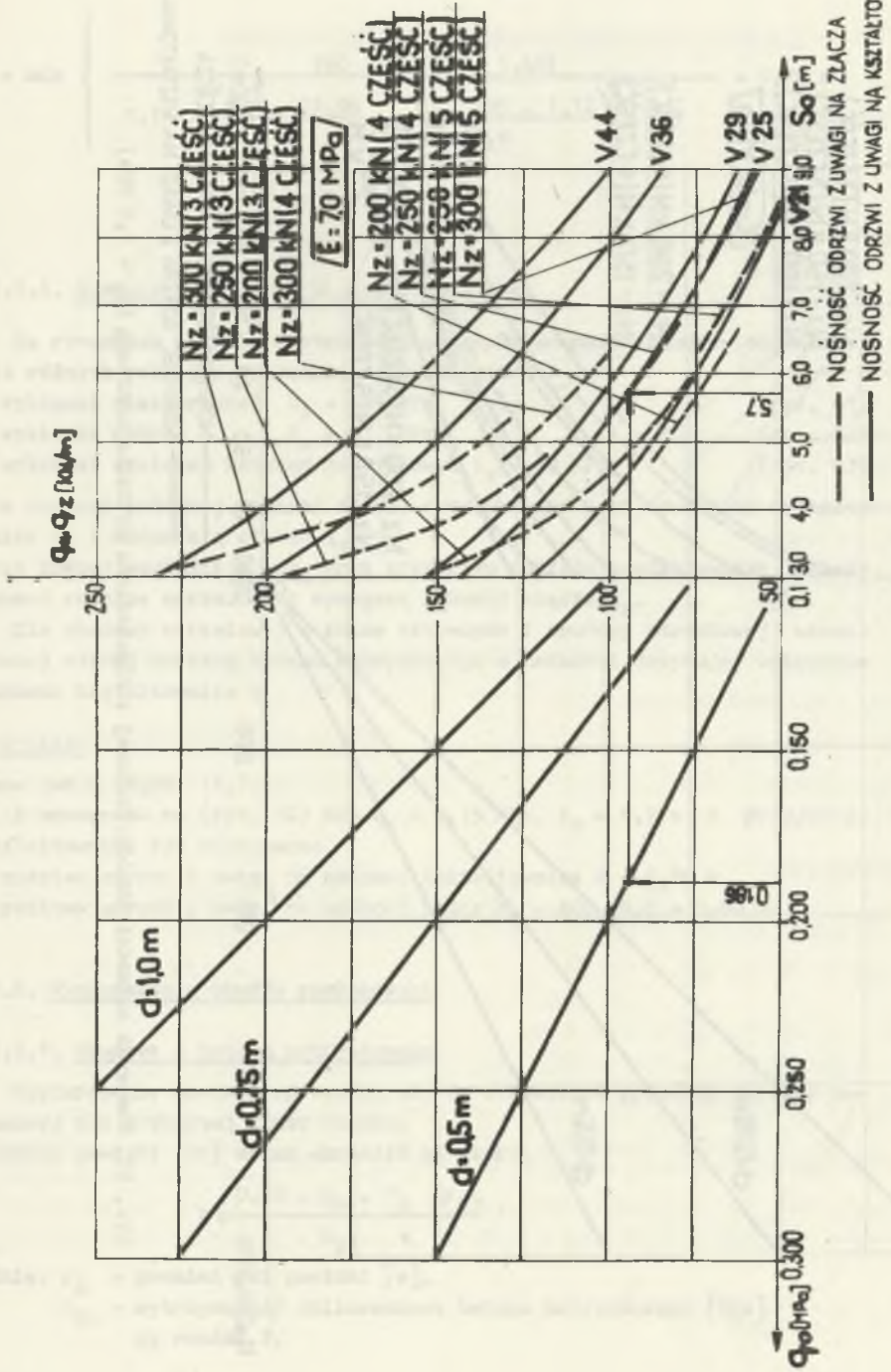
$$g \geq \frac{0,50 \cdot q_0 \cdot r_0 \cdot \sqrt[3]{b_3}}{R_{bz}}$$

gdzie: r_0 - promień osi powłoki [m],

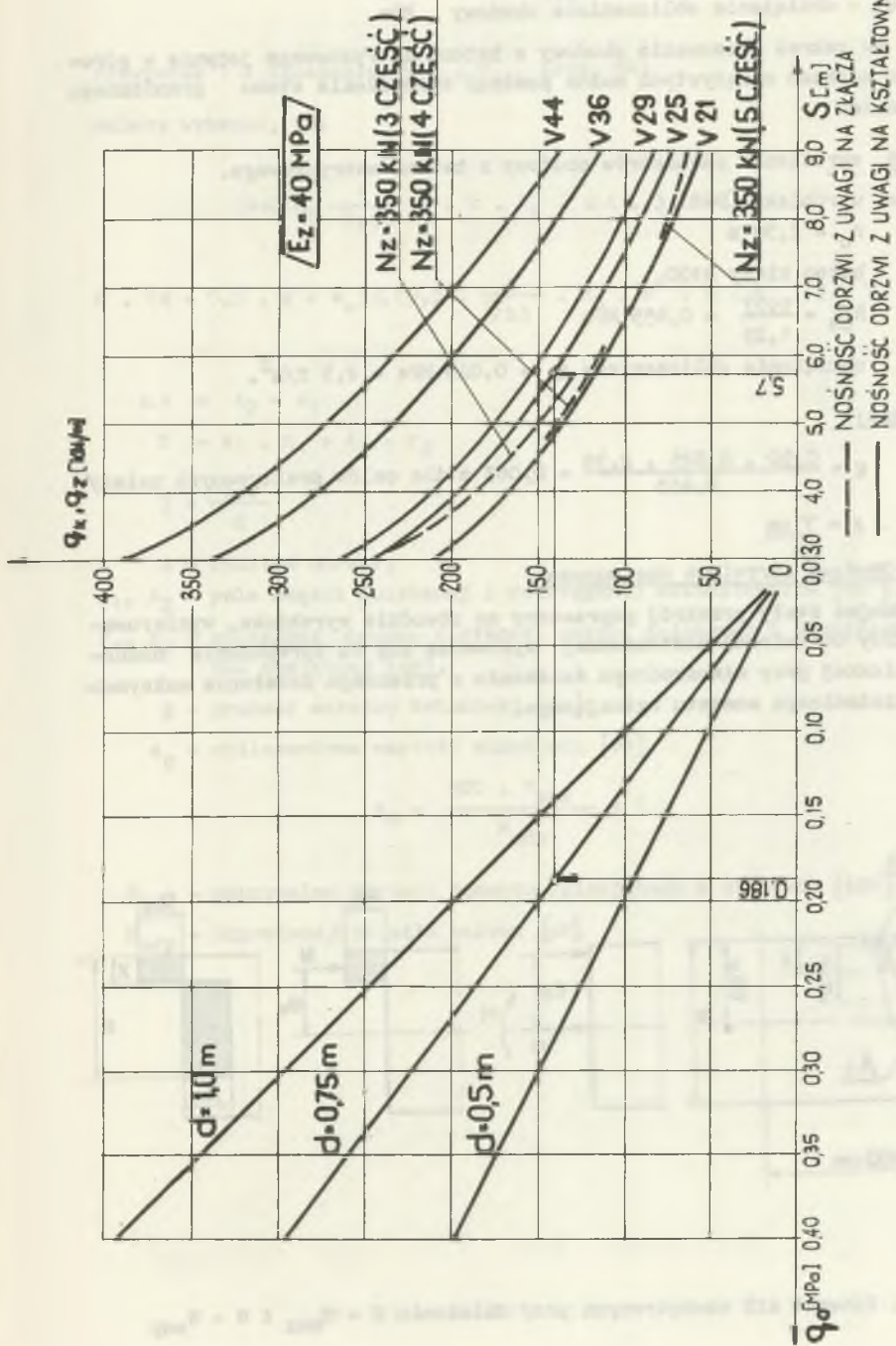
R_{bz} - wytrzymałość obliczeniowa betonu natryskowego [MPa]
wg rozdz. 2,



Rys. 61. Nomogram nośności obwodowej rękowej z niestartą wykładką kamienną ($E_z = 1,5\text{ MPa}$)



Rys. 62. Nomogram nośności obudowy łukowej z dobrą wykładką kamienną ($E_z = 7 \text{ MPa}$)



Rys. 63. Nomogram nośności obudowy łukowej z wykładką scaloną ($E_z = 40 \text{ MPa}$)

q_0 - obciążenie obliczeniowe obudowy MPa

Z uwagi na zakres stosowania obudowy z betonu natryskowego jedynie w górotworze o cechach sprężystych można pominąć sprawdzenia stanu granicznego użytkowania.

Przykład określenia parametrów obudowy z betonu natryskowego.

D a n e: wyrobisko ŁP-8

$$r_0 = 2,38 \text{ m}$$

beton klasy B100

$$R_{bz} = \frac{0,57}{1,25} = 0,455 \text{ MPa}$$

$$\text{obciążenie obliczeniowe } q_0 = 0,025 \text{ MPa} = 2,5 \text{ T/m}^2.$$

Obliczenia:

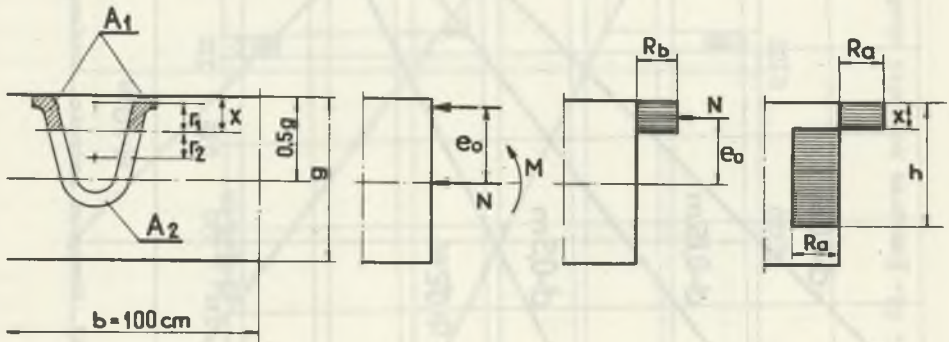
$$g = \frac{0,50 \cdot 0,025 \cdot 2,38}{0,455} = 0,065 \text{ m}$$

dla celów praktycznych należy

przyjąć $g = 7 \text{ cm}$

11.2.2. Obudowa odrzwiowa obetonowana

Przyjmując stały przekrój poprzeczny na obwodzie wyrobiska, wymiarowanie obudowy odrzwiowej-obetonowanej sprowadza się do sprawdzenia nośności granicznej przy mimośrodowym ściskaniu w przekroju działania maksymalnego i minimalnego momentu zginającego.



Rys. 64. Schemat sił wewnętrznych przy działaniu $M = M_{\max}$ i $N = N_{\text{odp}}$

Przypadek 1 - działanie M_{\max} , N_{odp} (rys. 64)

Należy wykazać, że:

$$N \leq R_b \frac{1}{\gamma_{b3}} b \cdot x \cdot R_a \cdot \Delta A \cdot j \cdot 10^{-1}$$

$$N \cdot (x - 0,5 \cdot g + e_o) \leq (0,5 \cdot \frac{1}{\gamma_{b3}} \cdot R_b \cdot x^2 \cdot b \cdot R_a \cdot j \cdot T) \cdot 10^{-1}$$

$$\Delta A = A_2 - A_1$$

$$T = A_1 \cdot r_1 + A_2 \cdot r_2$$

$$j = \frac{1,0}{d}$$

d - rozstaw odrzwi,

A_1, A_2 - pole części ściskanej i rozciąganej kształtownika [cm^2],

r_1, r_2 - odległość środka ciężkości części ściskanej i rozciąganej od osi obojętnej [cm],

g - grubość warstwy betonowej [cm],

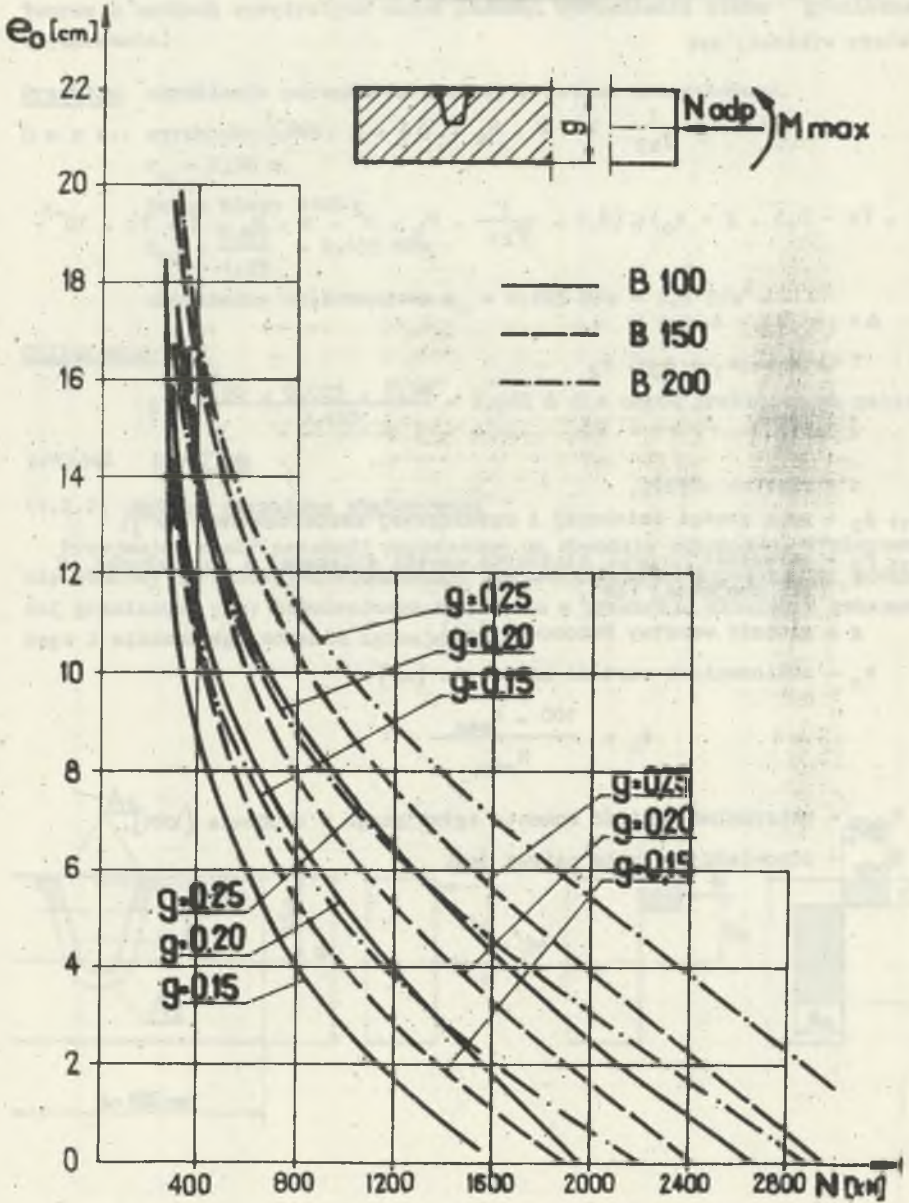
e_o - obliczeniowa wartość mimośrodru [cm]

$$e_o = \frac{100 \cdot M_{\max}}{N_{\text{odp}}} + 1,$$

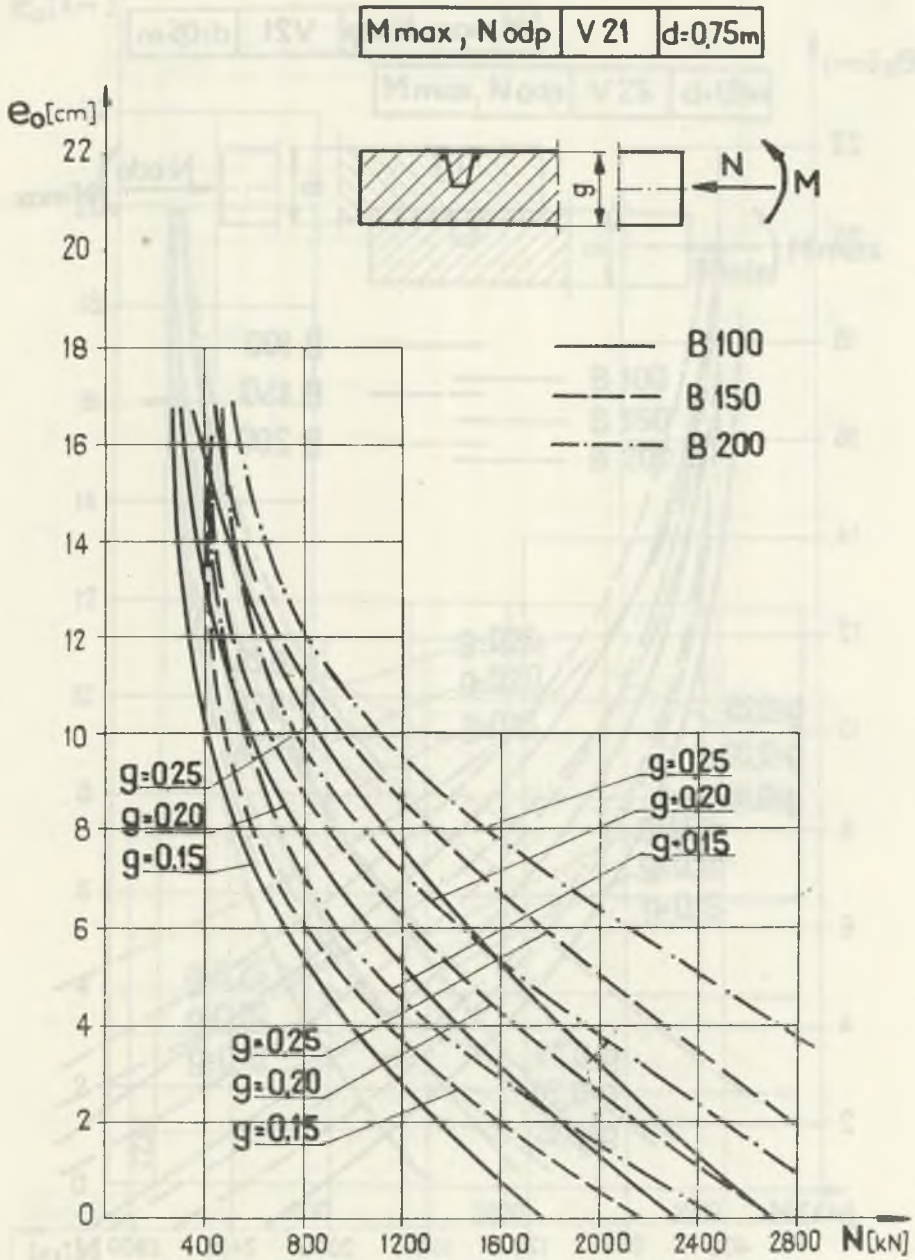
M_{\max} - maksymalna wartość momentu zginającego w obudowie [kNm],

N_{odp} - odpowiadająca siła osiowa [kN].

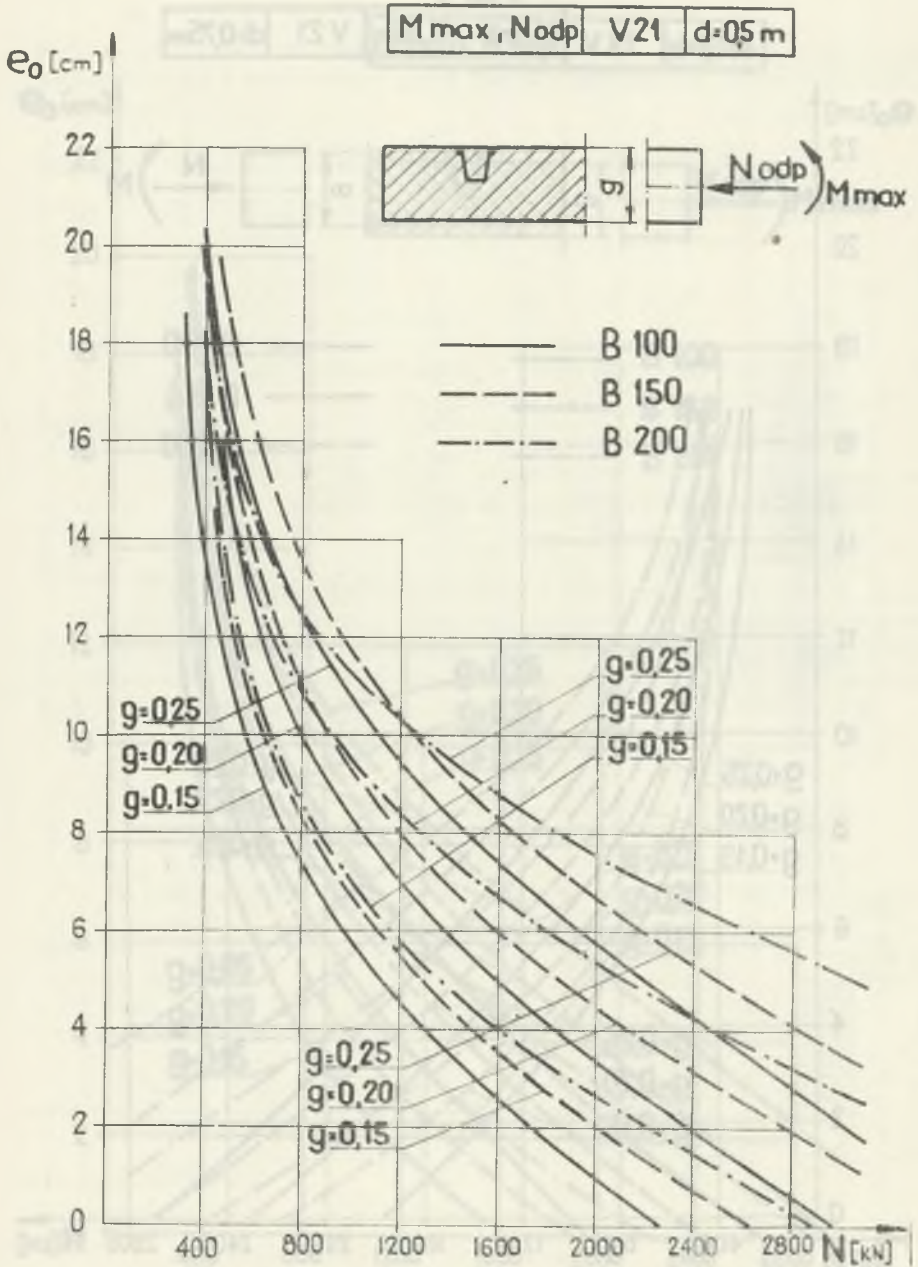
M_{max}, N_{odp} V 21 $d=1,0m$



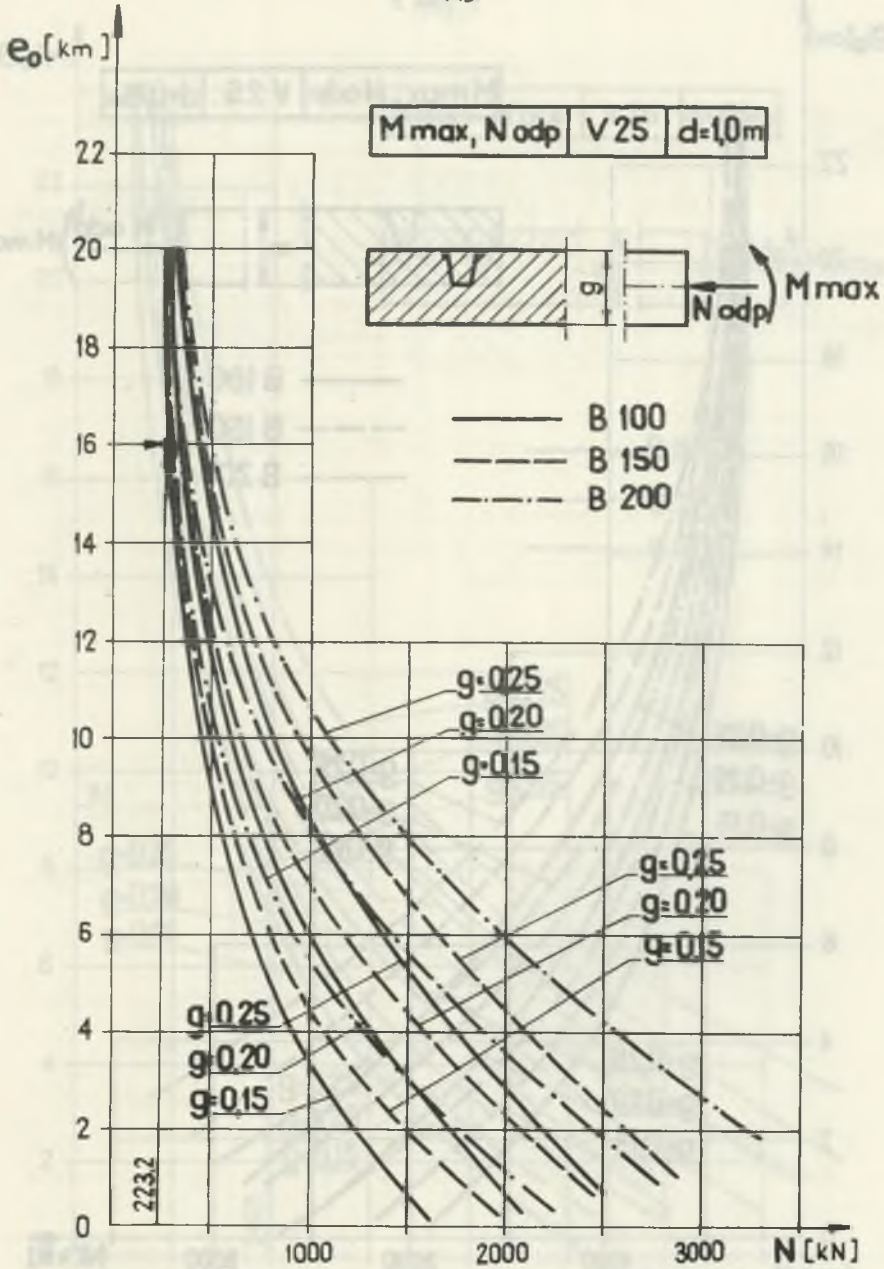
Rys. 65. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V21; $d = 1,0 m$; M_{max})



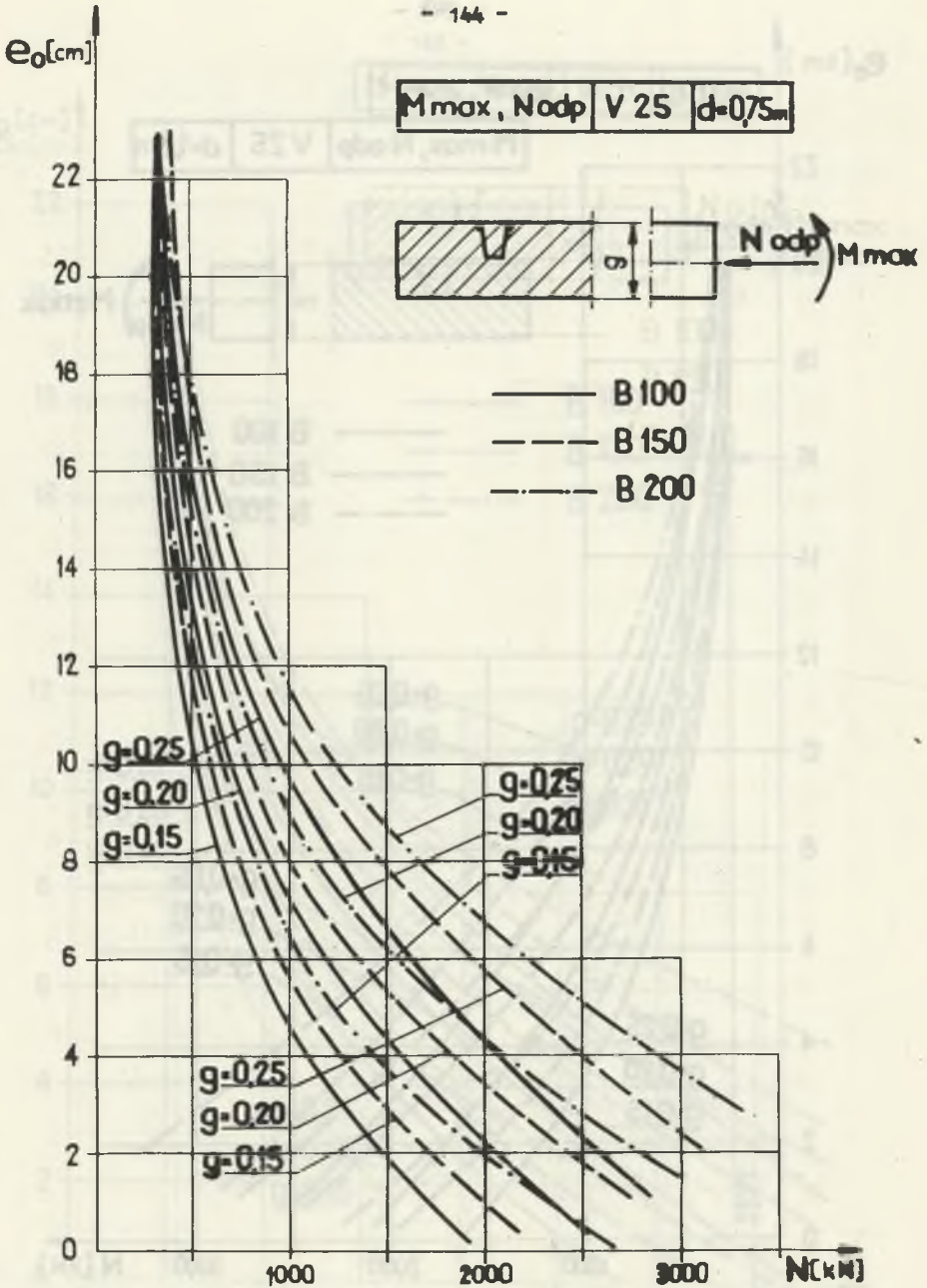
Rys. 66. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V21; $d = 0,75 m$; M_{max})



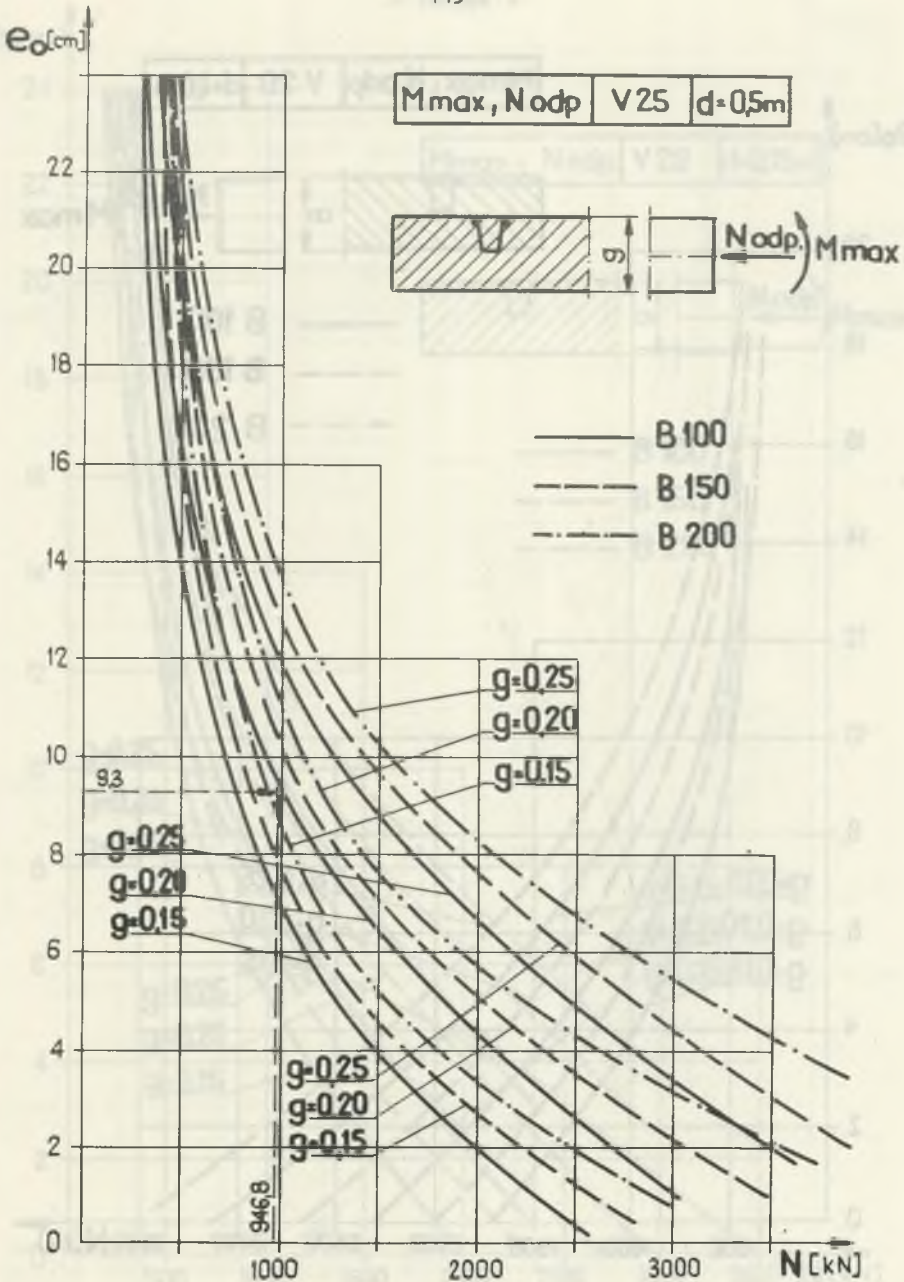
Rys. 67. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V21; $d = 0,5\text{ m}$; M_{max})



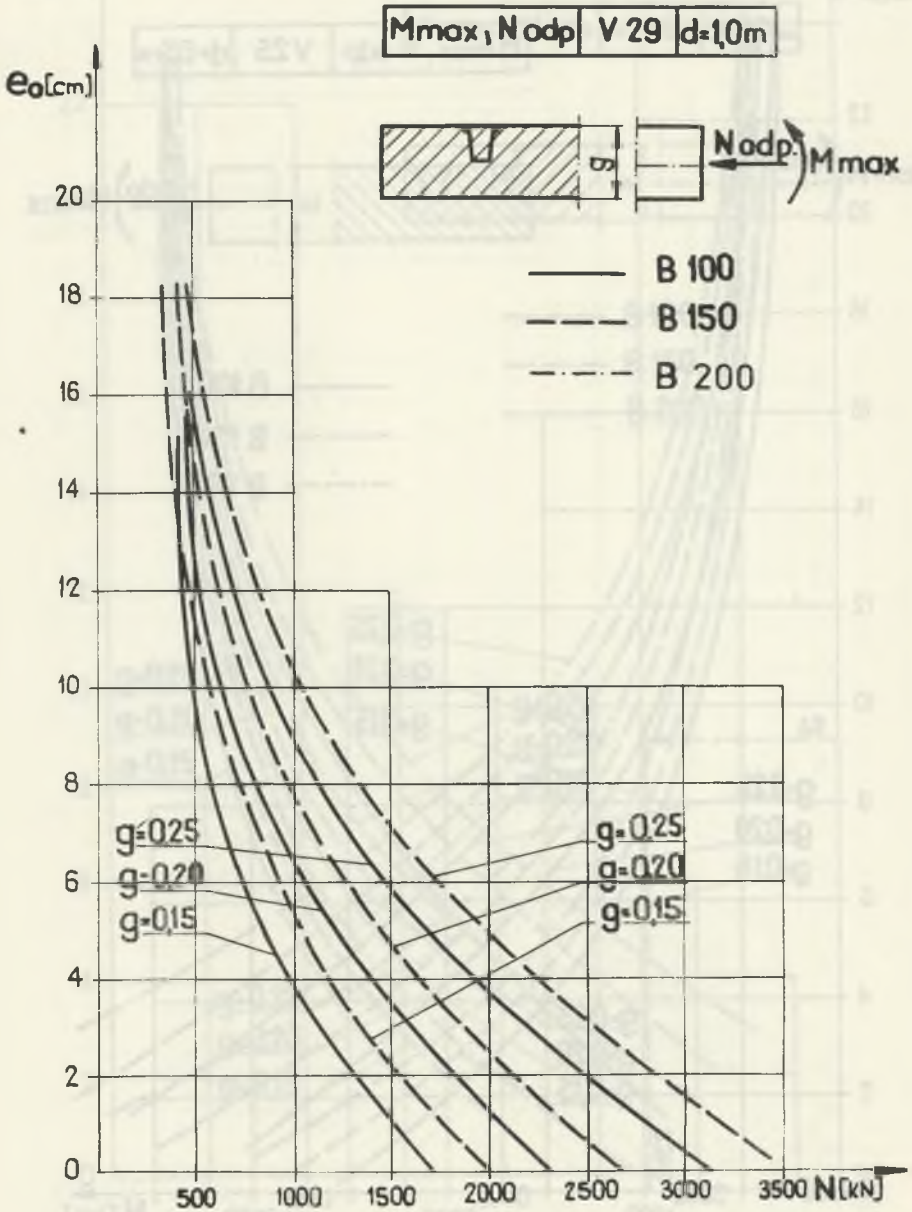
Rys. 68. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V25; $d = 1,0 m$; M_{max})



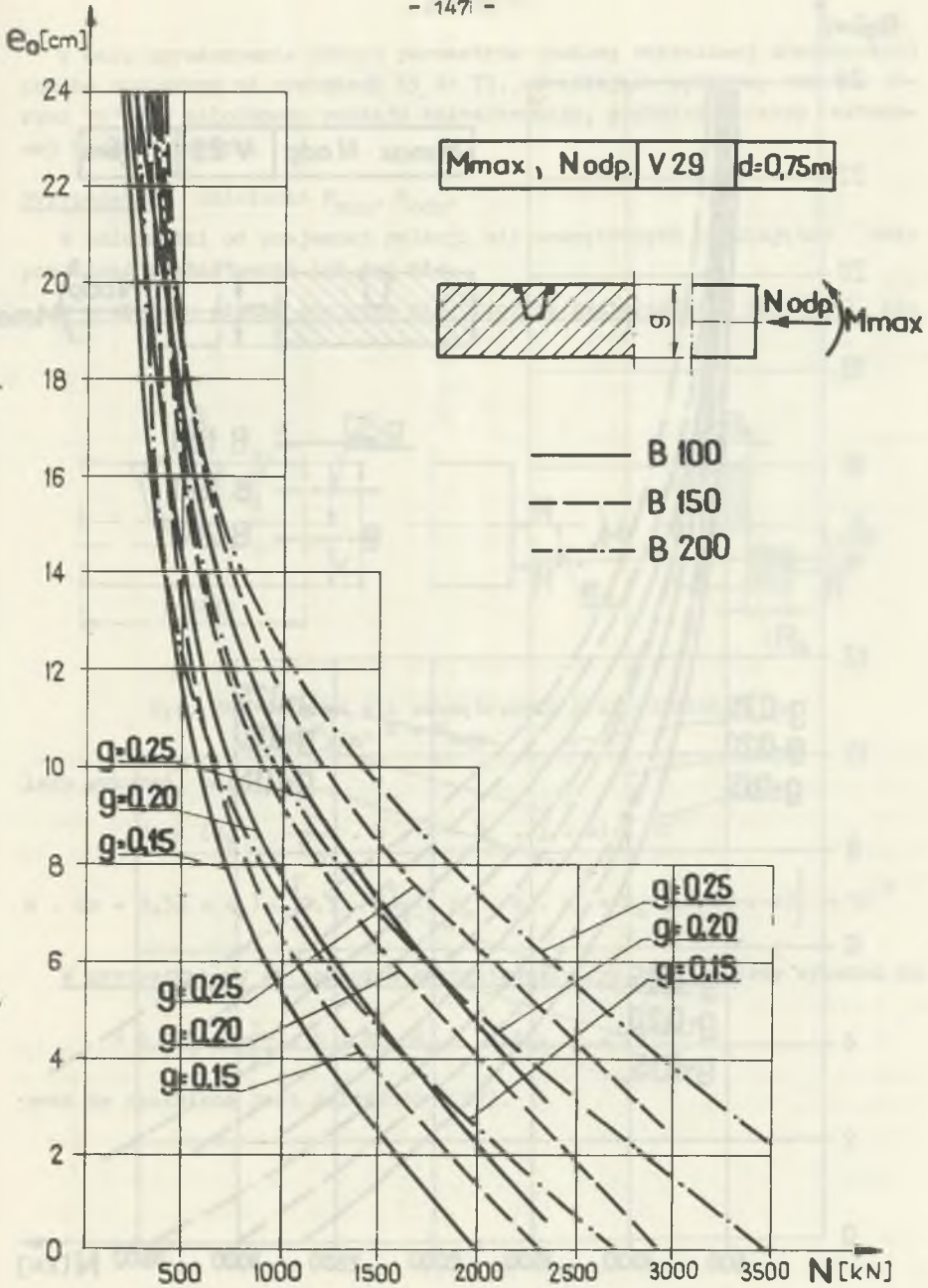
Rys. 69. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V25; $d = 0,75$ m; M_{max})



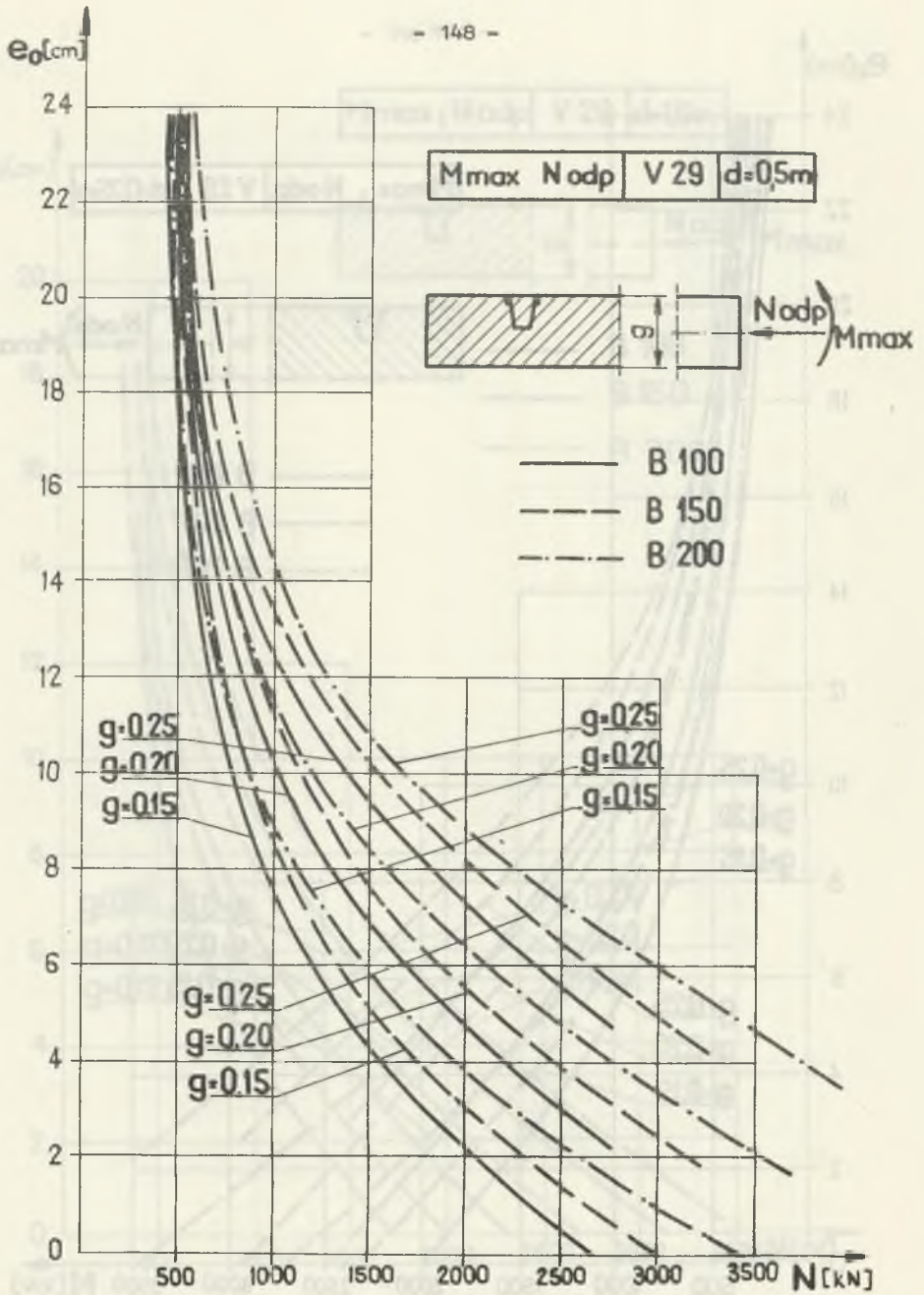
Rys. 70. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V25; $d = 0,5 m$; M_{max})



Rys. 71. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V29; $d = 1,0 m$; M_{max})



Rys. 72. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V29; $d = 0,75$ m; M_{max})



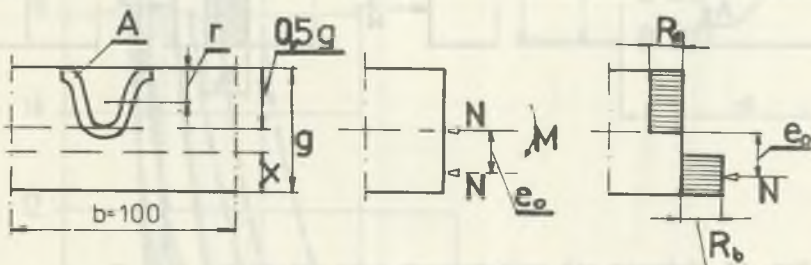
Rys. 73. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V29; $d = 0,5 m$; M_{max})

W celu uproszczenia doboru parametrów obudowy odrzwiowej obetonowanej podano nomogramy na rysunkach 65 do 73, określające wymagany rozstaw odrzwi "d" dla założonego rodzaju kształtownika, grubości warstwy betonowej i klasy betonu.

Przypadek 2° działania M_{\min} , N_{odp} .

W zależności od wzajemnej relacji sił wewnętrznych oś obojętna może przecinać kształtownik lub też nie.

W przypadku gdy oś obojętna nie przecina kształtownika (rys. 74), na-



Rys. 74. Schemat sił wewnętrznych przy działaniu $M = M_{\min}$, $N = N_{\text{odp}}$

leży wykazać, że:

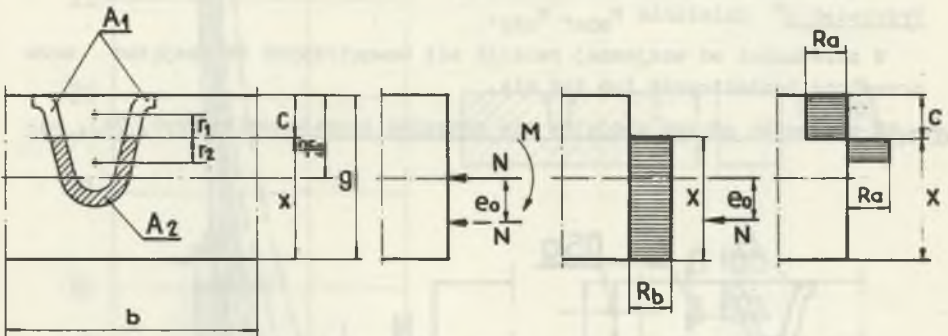
$$N \leq (R_b \cdot \frac{1}{\eta_{b3}} \cdot b \cdot x - R_a \cdot j \cdot A) \cdot 10^{-1}$$

$$N \cdot (x - 0,5g + e_o) \leq \left[0,5 \cdot \frac{1}{\eta_{b3}} \cdot r_b \cdot b \cdot x^2 + R_a \cdot j \cdot A (g-r-x) \right] \cdot 10^{-1}$$

W przypadku gdy oś przecina kształtownik (rys. 75), należy wykazać, że:

$$N \leq (R_b \cdot \frac{1}{\eta_{b3}} \cdot b \cdot x \cdot R_a \cdot \Delta A \cdot j) \cdot 10^{-1}$$

oraz że spełniona jest zależność (109).



Rys. 75. Schemat sił wewnętrznych przy działaniu $M = M_{\min}$,
 $N = N_{\text{odp}}$ (oś obojętna przecina kształtownik)

Nomogramy dla przypadku 2^o zestawiono na rysunkach 76 do 84. Dla przyjętych parametrów konstrukcji obudowy należy wykazać, że zachodzi warunek (108). Podatność radialną [m] obudowy odrzwiowej obetonowanej przy naniesieniu betonu natryskowego w strefie przodkowej zaleca się określić wg wzoru:

$$u^{\text{ob}} = 0,0030 \cdot r_o + 0,02 ,$$

gdzie:

r_o - promień osi obudowy [m].

W przypadku gdy podatność radialna obudowy jest niewystarczająca, a ze względu na zachowanie stateczności górotworu zachodzi potrzeba wykonania betonu natryskowego w strefie przodkowej, zaleca się wykonać dylatacje poprzeczne w miejscu złącz odrzwi podatnych, obliczając podatność wg wzoru:

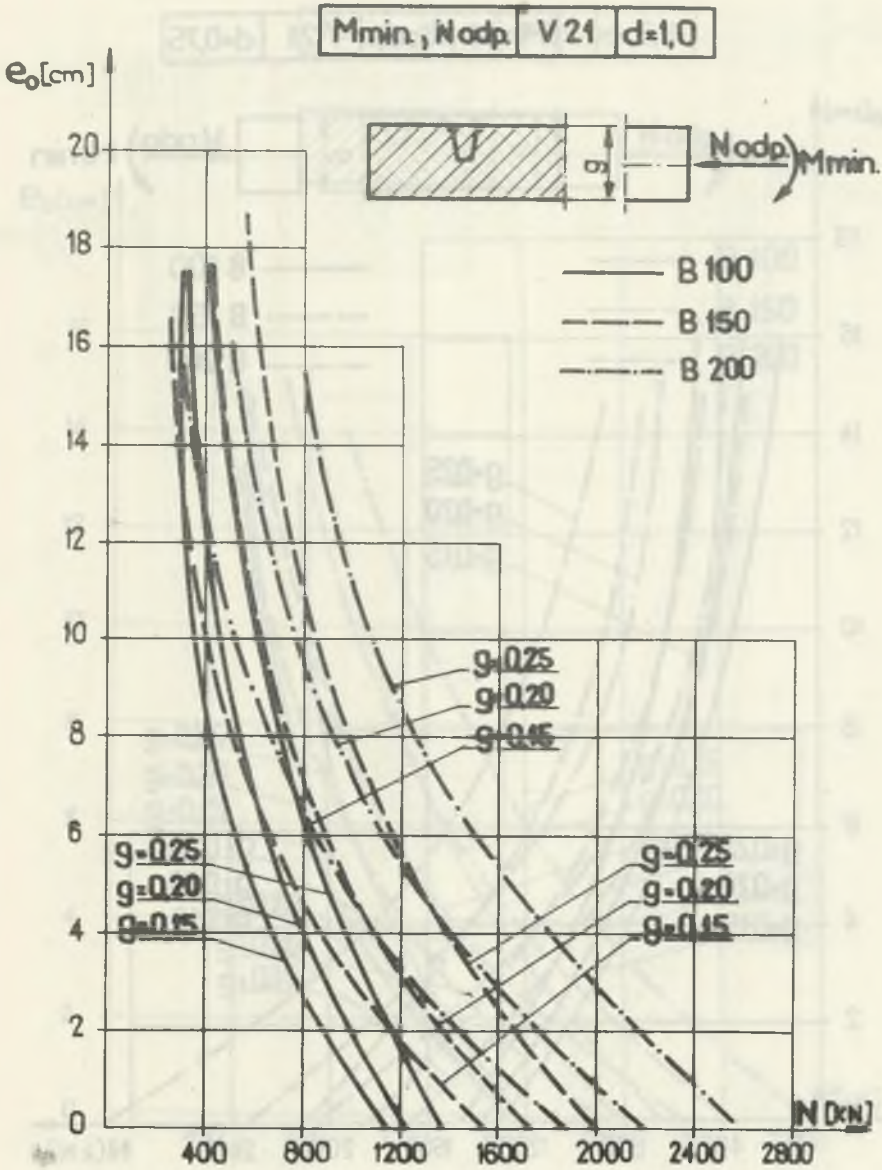
$$u^{\text{ob}} = 0,0030 \cdot r_o + 0,02 + \frac{d_p \cdot t}{\pi} ,$$

gdzie:

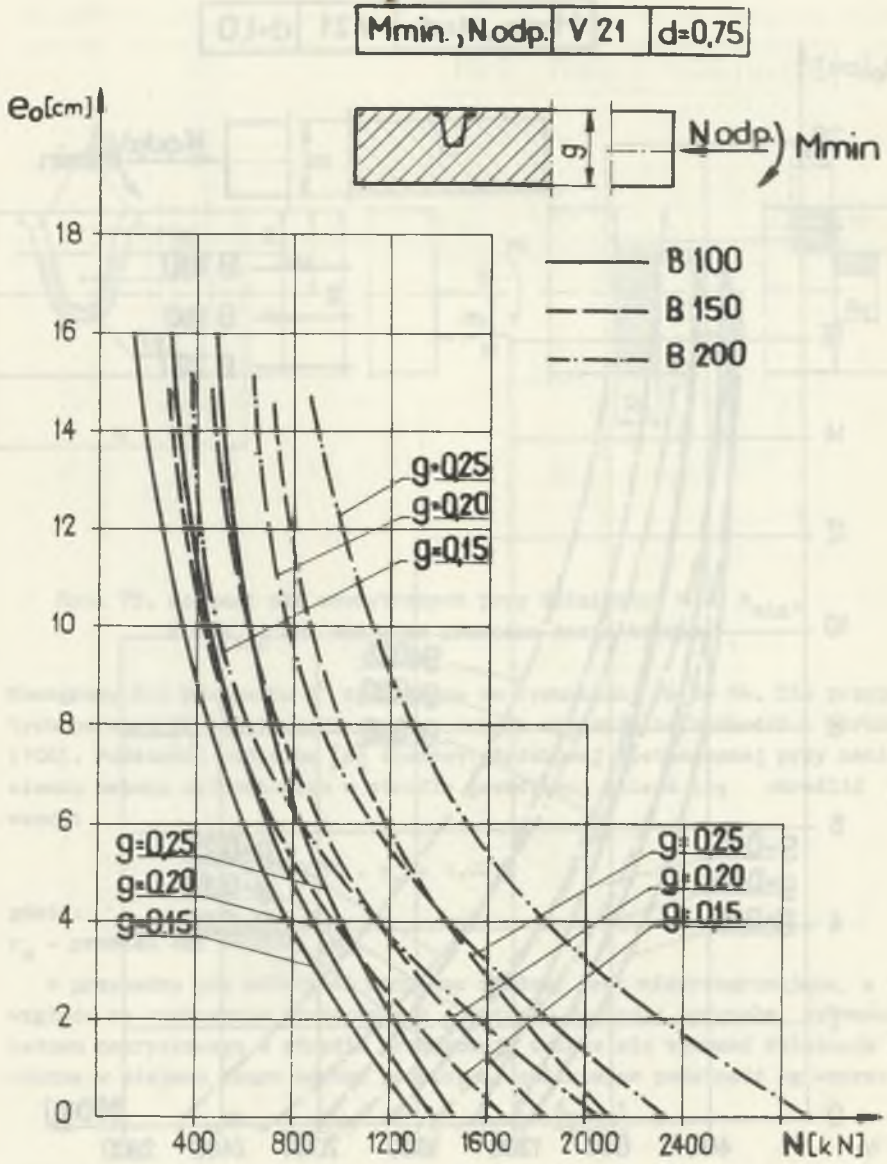
t - ilość dylatacji na obwodzie obudowy,

d_p - zsuw obudowy na dylatacji [m]

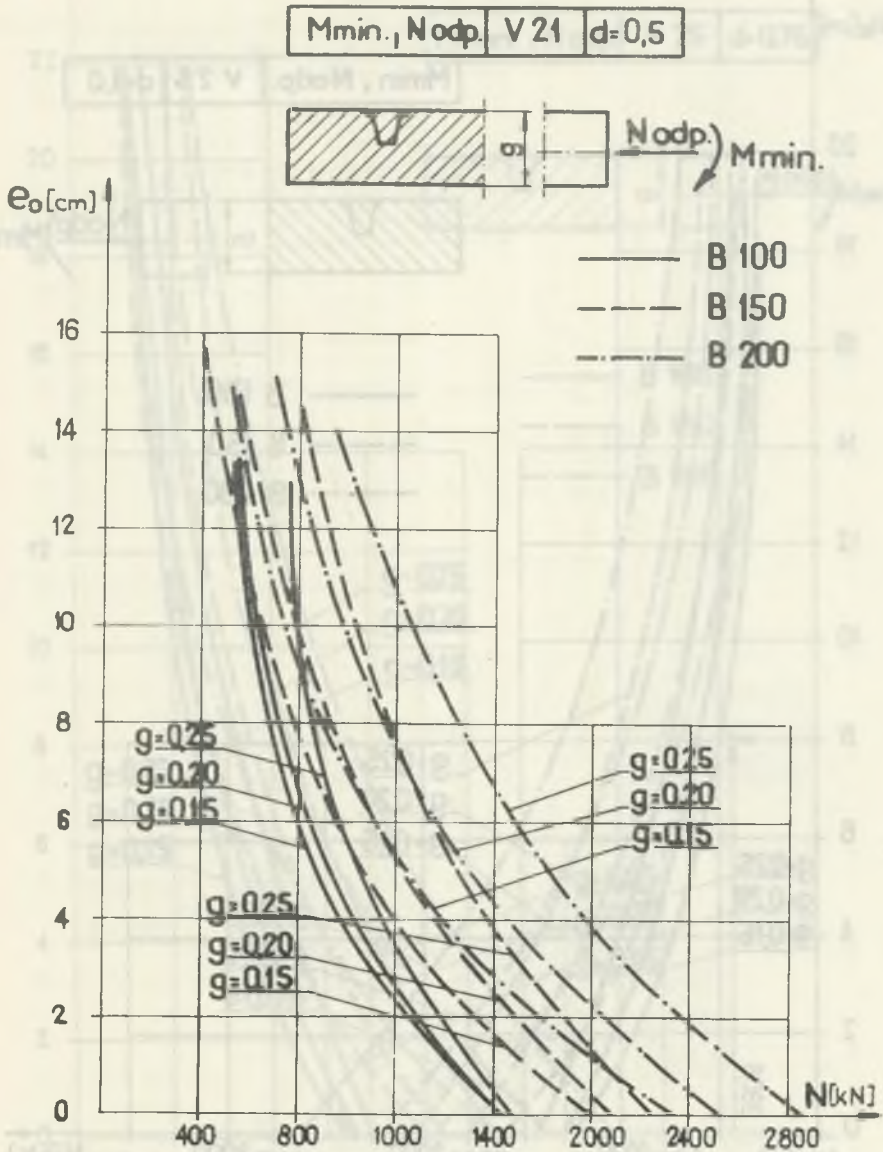
$$d_p = 0,1 \div 0,2 \text{ m.}$$



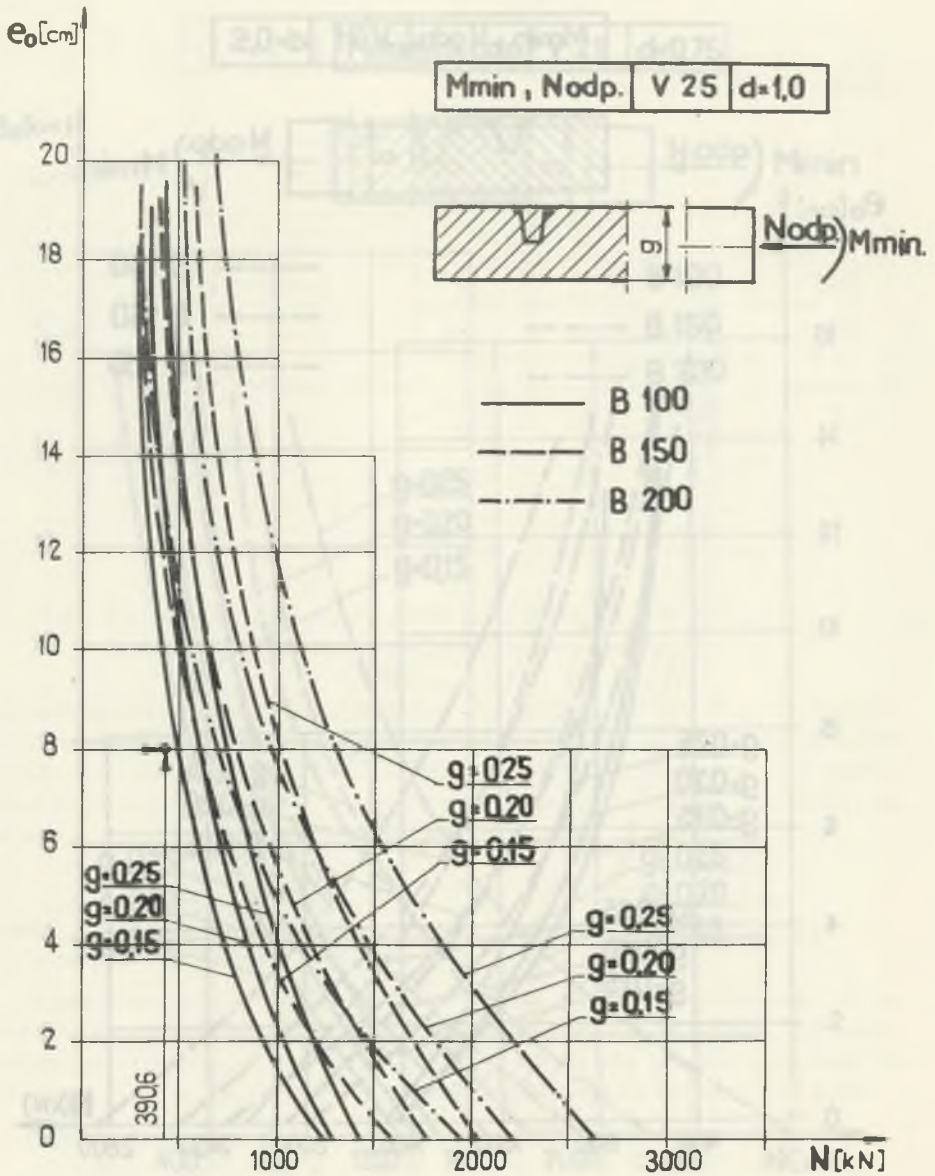
Rys. 76, Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V21; $d = 1,0$ m; M_{min})



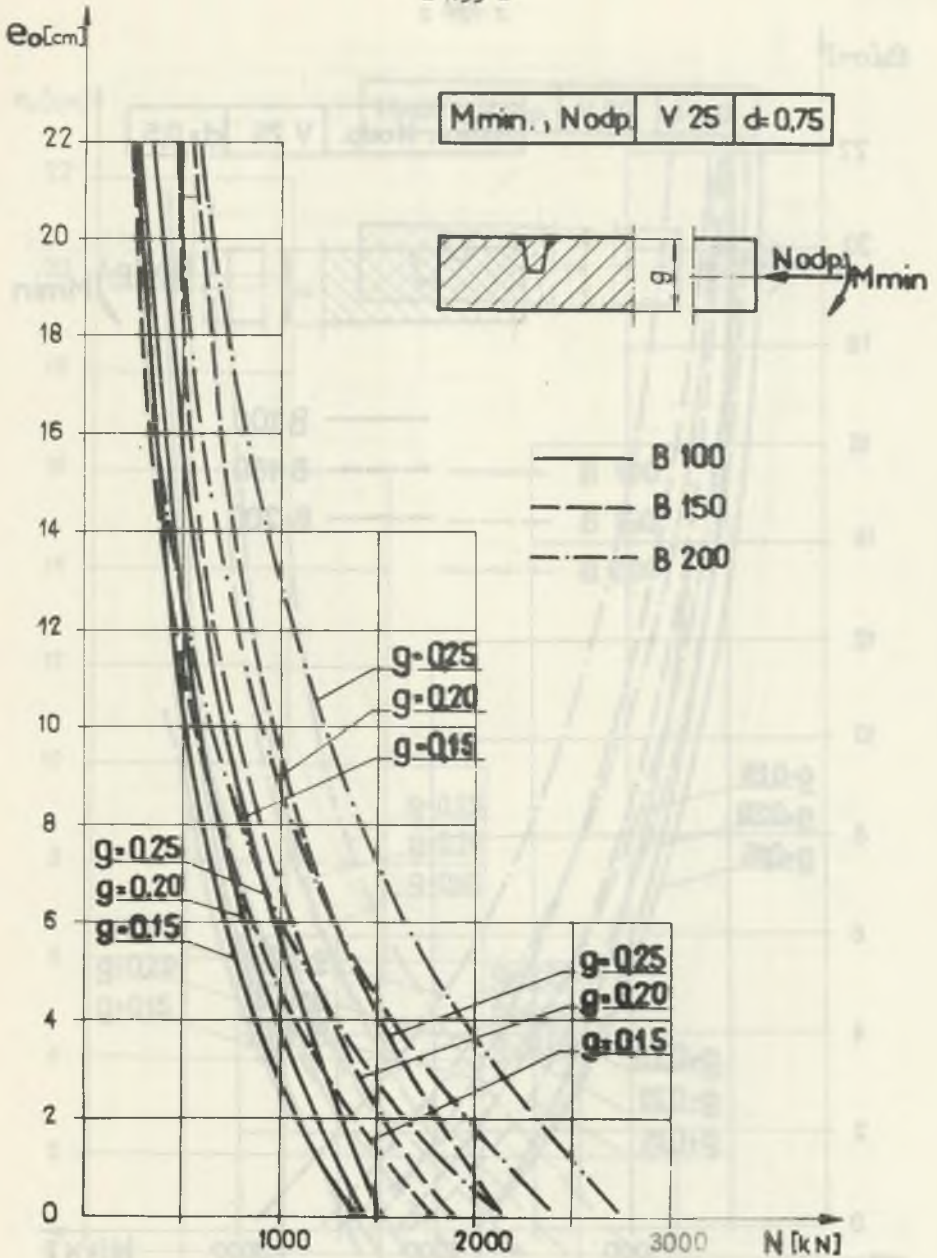
Rys. 77. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V21; $d = 0,75$ m; M_{min})



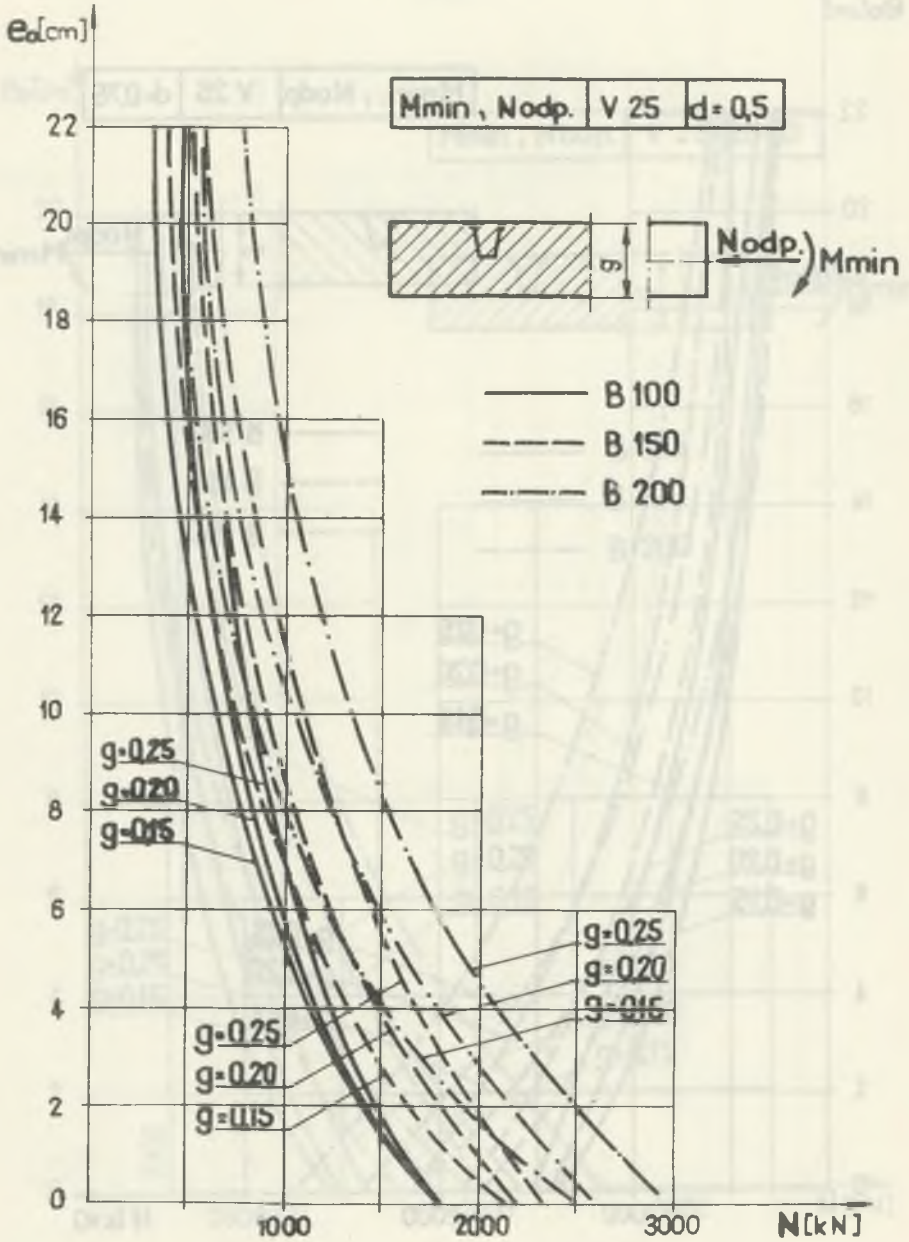
Rys. 78. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V21; d = 0,5 m; M_{min})



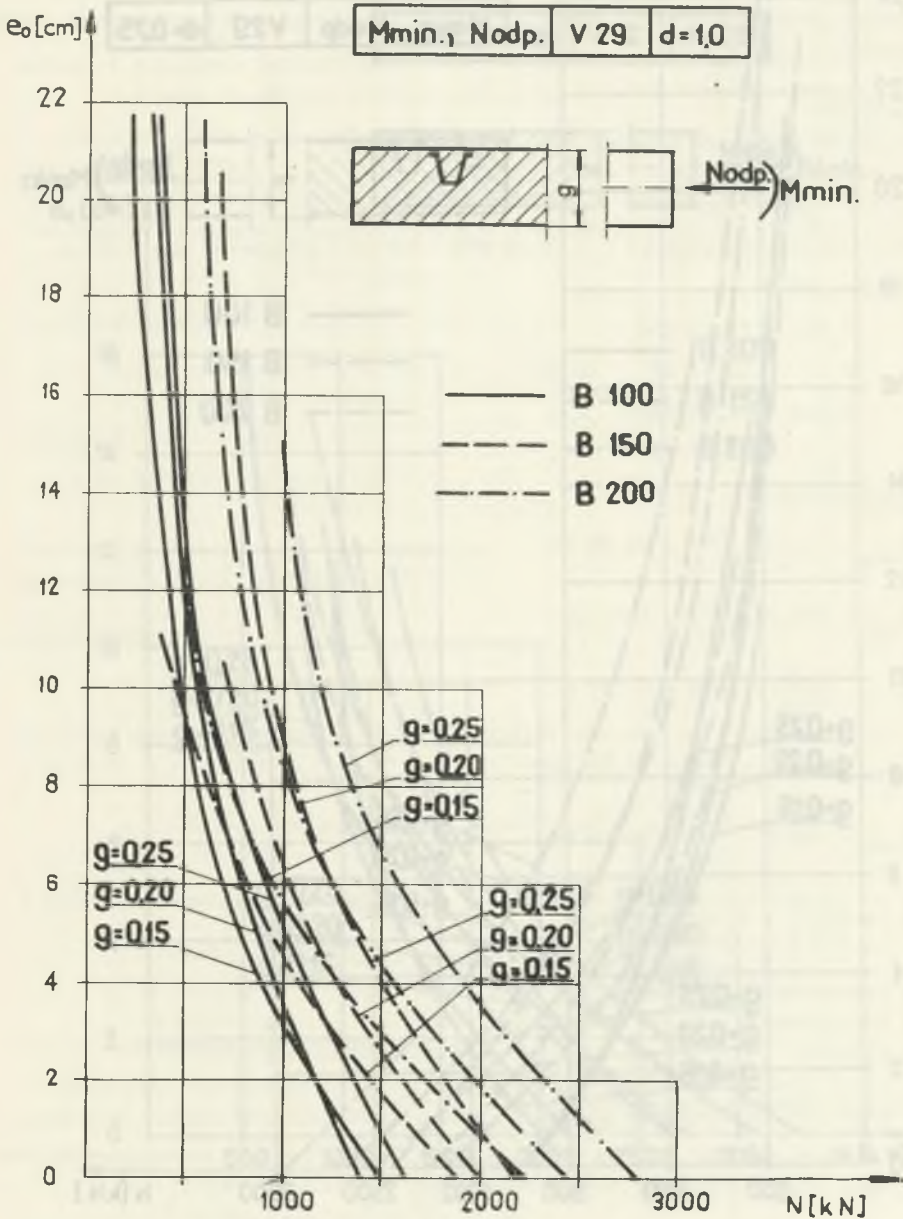
Rys. 79. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V25, d= 1,0 m; M_{min})



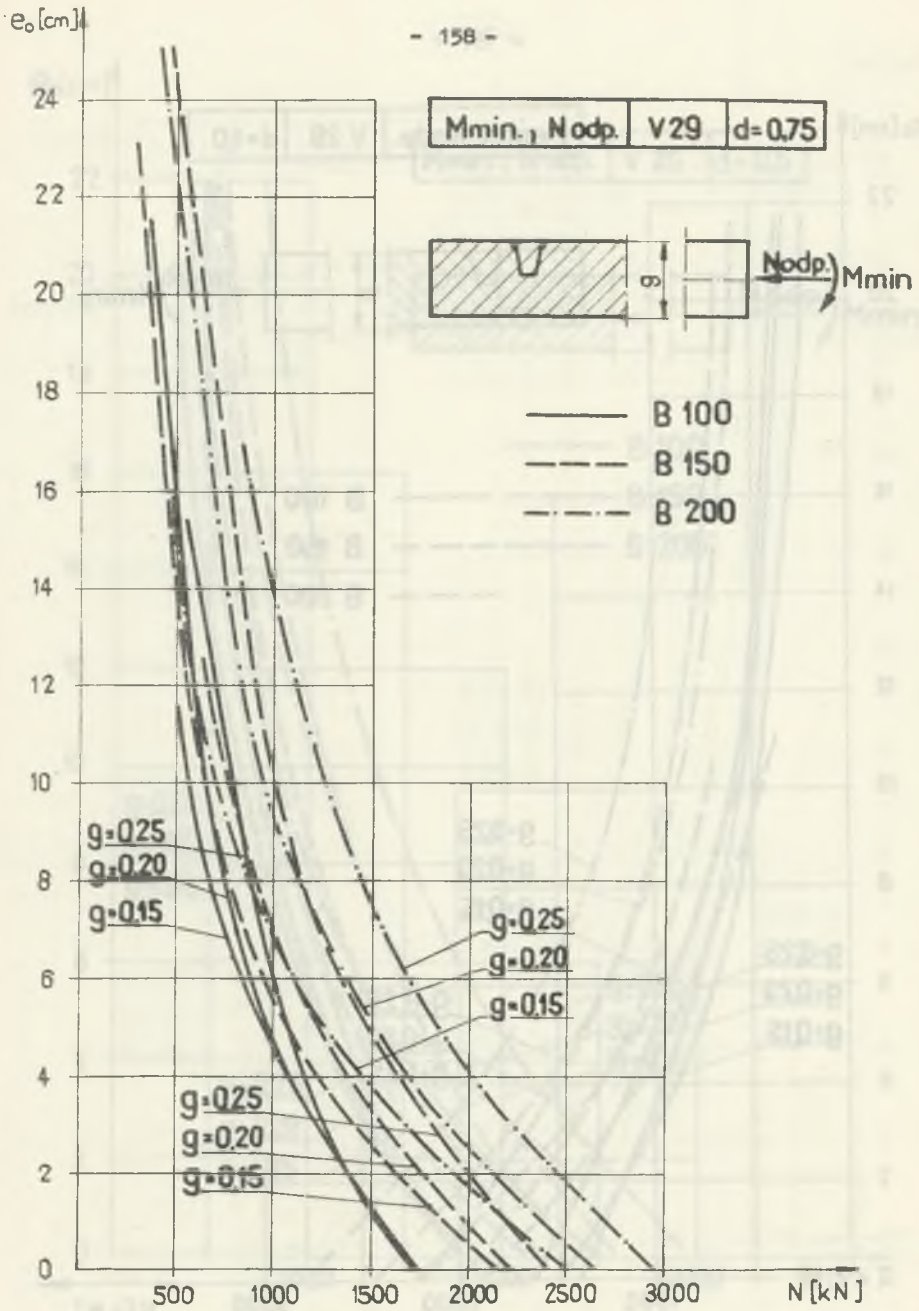
Rys. 80. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V25; $d = 0,75$ m; M_{min})



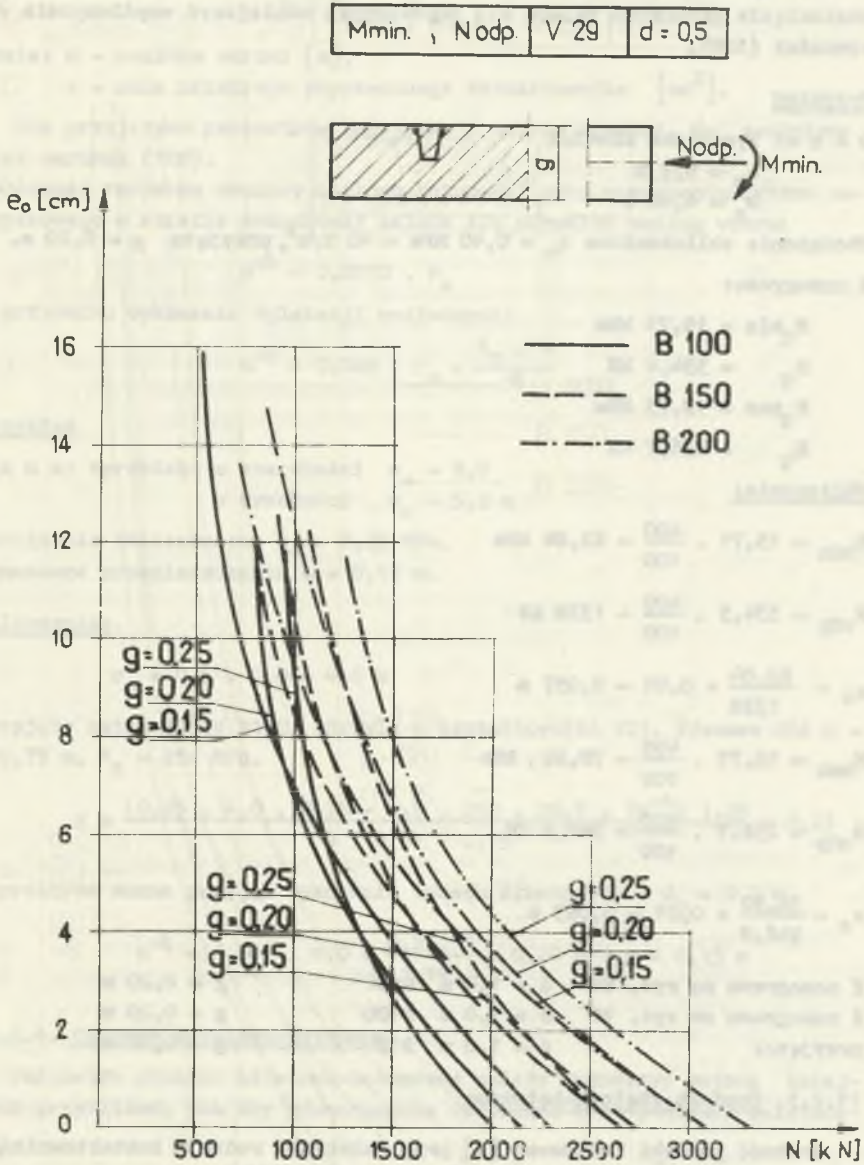
Rys. 81. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V25; $d = 0,5$ m; M_{min})



Rys. 82. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V29; d = 1,0 m; M_{min})



Rys. 83. Nomogram nośności obudowy łukowej obetonowanej (V29; $d = 0,75$ m; M_{min})



Rys. 84. Nomogram nośności obudowy łukowej betonowanej (V29; $d = 0,5$ m; M_{min})

W przypadku gdy beton natryskowy наносzony jest po upływie czasu t do odsłonięcia górotworu zaleca się odpowiednio zmniejszyć współczynnik w nierówności (108).

Przykład

D a n e: Wyrobisko ŁP-15/2

$$s_0 = 6,9 \text{ m}$$

$$w_0 = 4,60 \text{ m}$$

Obciążenie obliczeniowe $q_0 = 0,40 \text{ MPa} = 40 \text{ T/m}^2$, przyjęto $g = 0,20 \text{ m}$.

Z nomogramu:

$$M_{q \text{ min}} = 15,71 \text{ kNm}$$

$$N_q = 334,4 \text{ kN}$$

$$M_{q \text{ max}} = 19,73 \text{ kNm}$$

$$N_q = 236,7 \text{ kN}$$

Obliczenia:

$$M_{\text{min}} = 15,71 \cdot \frac{400}{100} = 62,84 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{odp}} = 334,5 \cdot \frac{400}{100} = 1338 \text{ kN}$$

$$e_0 = \frac{62,84}{1338} + 0,01 = 0,057 \text{ m}$$

$$M_{\text{max}} = 19,73 \cdot \frac{400}{100} = 78,92 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{odp}} = 236,7 \cdot \frac{400}{100} = 946,8 \text{ kN}$$

$$e_0 = \frac{78,92}{946,8} + 0,01 = 0,093 \text{ m}$$

Z nomogramu na rys. 81 $d = 1,0 \text{ m}$ B150 $g = 0,20 \text{ m}$

Z nomogramu na rys. 70 $d = 1,0 \text{ m}$ B100 $g = 0,20 \text{ m}$

przyjęto: $d = 1,0 \text{ m}$ B150 $g = 0,20 \text{ m}$

11.2.3. Obudowa stalowo-betonowa

Grubość powłoki betonowej [m] przy założonym rodzaju kształtownika, rozstawie odrzwi i klasie betonu zaleca się określić ze wzoru:

$$g \geq \frac{(q_0 \cdot r_0 \cdot d - 0,6 \cdot R_e \cdot A \cdot 10^{-4}) \cdot \gamma_{b3}}{4 \cdot R_{bz} \cdot d}$$

gdzie: d - rozstaw odrzwi [m],

A - pole przekroju poprzecznego kształtownika [cm²].

Dla przyjętych parametrów konstrukcji należy wykazać, że spełniony jest warunek (10B).

Podatność radialną obudowy stalowo-betonowej przy nanoszeniu betonu natryskowego w strefie przodkowej zaleca się określić według wzoru:

$$u^{ob} = 0,0030 \cdot r_0$$

W przypadku wykonania dylatacji podłużnych:

$$u^{ob} = 0,003 \cdot r_0 + \frac{d_p \cdot t}{\alpha}$$

Przykład

D a n e: Wyrobisko o szerokości $s_0 = 8,0$

o wysokości $w_0 = 5,2$ m

Obciążenie obliczeniowe $q_0 = 0,25$ MPa.

Wymuszone przemieszczenie $u = 0,15$ m.

Obliczenia:

$$r_0 = 0,5 \cdot 0,8 = 4,0 \text{ m}$$

Przyjęto beton klasy B100, odrzwia z kształtownika V21. Wówczas dla $d = 0,75$ m, $R_a = 252$ MPa.

$$g \geq \frac{(0,25 \cdot 4,0 \cdot 0,75 - 0,6 \cdot 252 \cdot 26,7 \cdot 10^{-4}) \cdot 1,25}{4 \cdot 0,57 \cdot 0,75} = 0,25$$

W praktyce można przyjąć wykonanie trzech dylatacji o $d_p = 0,2$ m

$$u^{ob} = 0,003 \cdot 4,0 + \frac{0,2 \cdot 3}{3,14} = 0,20 \text{ m} > u = 0,15 \text{ m}$$

11.2.4. Obudowa kotwiowo-betonowa

Parametry obudowy kotwiowo-betonowej należy wyznaczyć metodą kolejnych przybliżeń, tak aby równocześnie spełnione były poniższe zależności:

$$\frac{10^{-4} \cdot \pi \cdot d_k^2 \cdot R_a}{4 \cdot a \cdot b} + \frac{g \cdot R_b}{r_0 \cdot \gamma_{b3}} \geq q_0$$

$$S \cdot \frac{l_1}{\sqrt{a_1^2 + l_1^2}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_g \leq 25 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{a_1^2 + l_1^2} + \frac{4000}{\gamma_{b3}} \cdot g \cdot b \cdot R_{bz} \geq \\ \geq 10^3 \cdot q_0 \cdot b \cdot r_w,$$

gdzie: a_1, b - rozstaw kotwi [m],
 d_k - średnica żerdzi kotwicznej [cm],
 g - grubość warstwy betonowej [m],
 R_{bz} - wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciąganie [MPa],
 R_b - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie [MPa],
 r_0 - promień osi powłoki betonowej [m],
 l_1 - wysokość użyteczna skotwionego sklepienia skalnego [m],
 S - siła osiowa w skotwionym sklepieniu skalnym [kN],
 μ - wskaźnik zwięzłości skał wg Protodiakonowa,
 $\gamma_{b3} = 1,25$

$$S = 10^3 \cdot q_0 \cdot (r_w + 0,5 \cdot a_1 + 0,5 \cdot l_1) \cdot b$$

$$l_1 = l_c - 0,5 \cdot a - l_{zu} = 0,1$$

$$l_{zu} = \max \begin{cases} \frac{10^{-2} d_k \cdot R_a}{4 \cdot R_{tz}} \\ \frac{10^{-2} d_k \cdot R_a}{4 \cdot d_e \cdot C_g} \end{cases}$$

d_0 - średnica otworu kotwicznego [cm],
 R_{tz} - wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie spoiwa kotwicznego [MPa],
 l_c - długość całkowita kotwi [m].

Długość kotwi nie powinna być mniejsza od $1/3 s_w$, przy czym co najmniej $1/4$ ogólnej liczby kotwi powinna być zamocowana w górotworze poza zasięgiem strefy odprężonej lub niesprężystej.

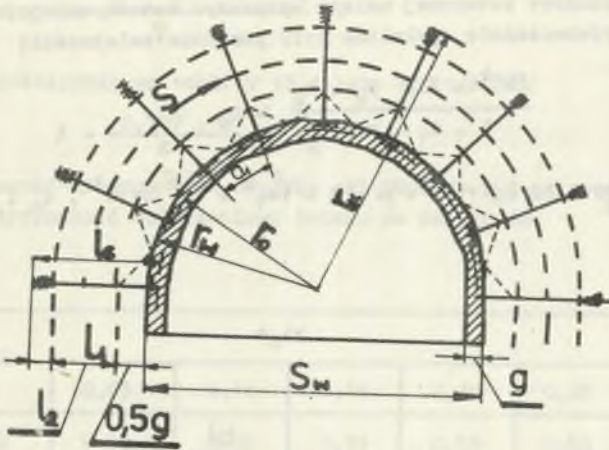
Długość zamocowania tych kotwi w górotworze nieodprężonym powinna wynosić co najmniej 60 cm.

Wymuszone przemieszczenia przejmuje obudowa kotwiczna wykonywana bezpośrednio w przodku.

Należy wykazać, że:

$$\frac{1 + \nu_g}{E_g} (p_z - p_g) \cdot \frac{r_L^2}{r_w \cdot r_k} \leq 0,02 \quad (110)$$

gdzie r_k - promień zasięgu kotwienia (rys. 85) [m].



Rys. 85. Schemat obliczeniowy obudowy kotwio-betonowej

11.2.5. Obudowa kotwio-betonowo-stalowa

Parametry obudowy kotwio-betonowo-stalowej należy wyznaczyć metodą kolejnych przybliżeń tak, aby równocześnie spełnione były poniższe zależności:

$$\frac{10^{-4} \cdot \pi \cdot d_k^2 \cdot R_a}{4 \cdot a_1 \cdot b} + \frac{d \cdot g \cdot \frac{1}{\delta b^3} \cdot R_b + A \cdot R'_a}{r_o \cdot d} \geq q_o$$

$$s \cdot \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + a_1^2}} \cdot \text{tg } \rho_g + 25 \mu \cdot b \cdot \sqrt{l_1^2 + a_1^2} + \frac{4000 \cdot g \cdot b \cdot R_{bz}}{\delta b^3} + 600 R_a \cdot A \cdot \frac{b}{a} \geq$$

$$\geq 10^3 \cdot q_o \cdot r_w \cdot b$$

gdzie: d - rozstaw odrzwi [m],

R'_a - wytrzymałość obliczeniowa stali odrzwi [MPa],

R_b, R_{bz} - wytrzymałość obliczeniowa betonu [MPa],

Wymuszone przemieszczenia mogą być w korzystniejszej sytuacji górniczo-geologicznej przejęte przez obudowę kotwiową. Należy wówczas wykazać spełnienie warunku (110). W przypadku gdy bezpośrednio w przodku wykonana jest również obudowa stalowo-betonowa, należy wykazać spełnienie warunku (108) przyjmując radialną podatność obudowy.

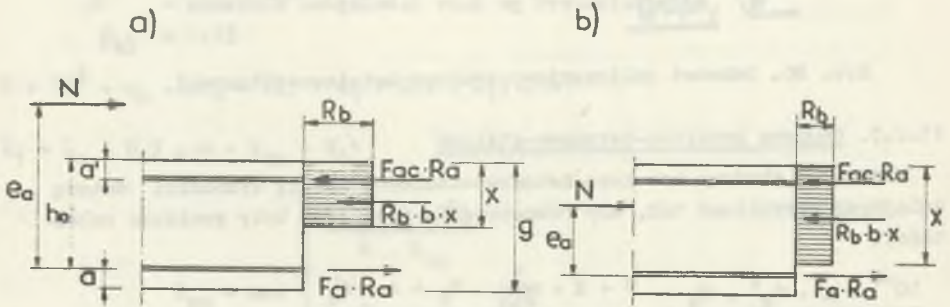
W praktyce często wykonywana jest w przodku obudowa kotwiowa i odrzwiowa z łuków podatnych, a beton natryskowy jest наносzony w strefie pozaprzodkowej. W tym przypadku można pominąć sprawdzenie warunku (108).

11.3. Obudowa kotwiona

Parametry obudowy kotwionej należy wyznaczyć metodą kolejnych przybliżeń tak, aby równocześnie spełnione były poniższe zależności:

$$\frac{10^{-4} \cdot \pi \cdot d_k \cdot R_a}{4 \cdot a_1 \cdot b} \geq q_0$$

$$s \cdot \frac{l_1}{\sqrt{a_1^2 + l_1^2}} \cdot \operatorname{tg} \rho_g + 25 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{a_1^2 + l_1^2} \geq 10^3 \cdot q_0 \cdot r_w \cdot b$$



Rys. 86. Schemat do obliczenia nośności mimośrodowo ściskanego przekroju żelbetowego

a - duży mimośród, b - mały mimośród

Na rys. 86 podano nomogram do wstępnej oceny nośności obudowy. Długość kotwi powinna spełniać wymagania rozdz. 11.2.4.

Należy zatem wykazać zachowanie warunku (110).

11.4. Obudowy sklepione

11.4.1. Obudowa betonowa

Parametry obudowy betonowej należy wyznaczyć z warunku:

$$N \leq \frac{10^3 \cdot \varphi \cdot R_b \cdot 1,0 \cdot g}{\sigma_{b3}},$$

gdzie: φ - współczynnik wg tablicy 13 zależy od stosunku

$$\lambda = \frac{0,707 \cdot l}{g} \leq \frac{e_0}{g},$$

l - długość nieodpartego odcinka osi obudowy [m] wg rozdz. 11.1.1,
 R_b - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie.

Tablica 13

g	e_0/g						
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
8	1,00	0,80	0,69	0,59	0,50	0,40	0,31
10	0,98	0,87	0,67	0,57	0,48	0,38	0,28
12	0,95	0,76	0,65	0,55	0,46	0,35	0,25
14	0,91	0,74	0,63	0,53	0,43	0,32	0,22
16	0,87	0,71	0,60	0,50	0,39	0,29	0,20
18	0,83	0,68	0,57	0,47	0,34	0,26	0,18
20	0,79	0,65	0,54	0,42	0,31	0,23	0,17
22	0,73	0,61	0,50	0,38	0,28	0,21	0,16
24	0,68	0,56	0,46	0,35	0,26	0,20	0,15

Mimośród siły osiowej wynosi: $e_0 = \frac{M}{N} + e_n$ (111)

$$e_0 \leq 0,45 g$$

e_n - mimośród niezamierzony [m]

$$e_n = \min \begin{cases} 0,01 \text{ m} \\ \frac{g}{30} \end{cases}$$

W przypadku wykonania obudowy przed ustaleniem się stanu równowagi układu: obudowa wstępna-górotwór (nieustabilizowania się przemieszczeń radialnych konturu wyrobiska) należy sprawdzić zachowanie warunku (108). Podatność radialną obudowy betonowej z wkładkami upodatniającymi zaleca się przyjmować:

$$u^{ob} = 0,003 \cdot r_0 + \frac{j \cdot d}{\pi}$$

- gdzie: j - liczba wkładek upodatniających w przekroju poprzecznym obudowy,
 δ - zmniejszenie grubości pojedynczej wkładki [m] pod obciążeniem q_0 .

11.4.2. Obudowa żelbetowa

W obudowach żelbetowych przyjmuje się z uwagi na trudności w prawidłowej ocenie sił wewnętrznych z reguły zbrojenie symetryczne, tj. $F_a = F_{ac}$. Przekrój obudowy poddany jest mimośrodowemu ścisnaniu (rys. 86), przy czym rozróżnia się przypadek małego i dużego mimośrodu. Mimośród siły podłużnej względem zbrojenia rozciąganego [m]

$$e_a = e_0 + 0,5g - a$$

e_0 - mimośród siły podłużnej względem środka przekroju [m] wg (111).

W przypadku gdy:

$$e_a > h_0 - a',$$

przekrój zbrojenia [cm²] należy wyznaczyć ze wzoru:

$$F_a \geq \frac{10 \cdot N (e_a - h_0 + \frac{10^{-3} \cdot N}{2 \cdot R_b})}{R_a (h_c - a')}$$

W przypadku gdy:

$$e_a \leq h_0 - a',$$

przekrój zbrojenia [cm²] należy wyznaczyć ze wzoru:

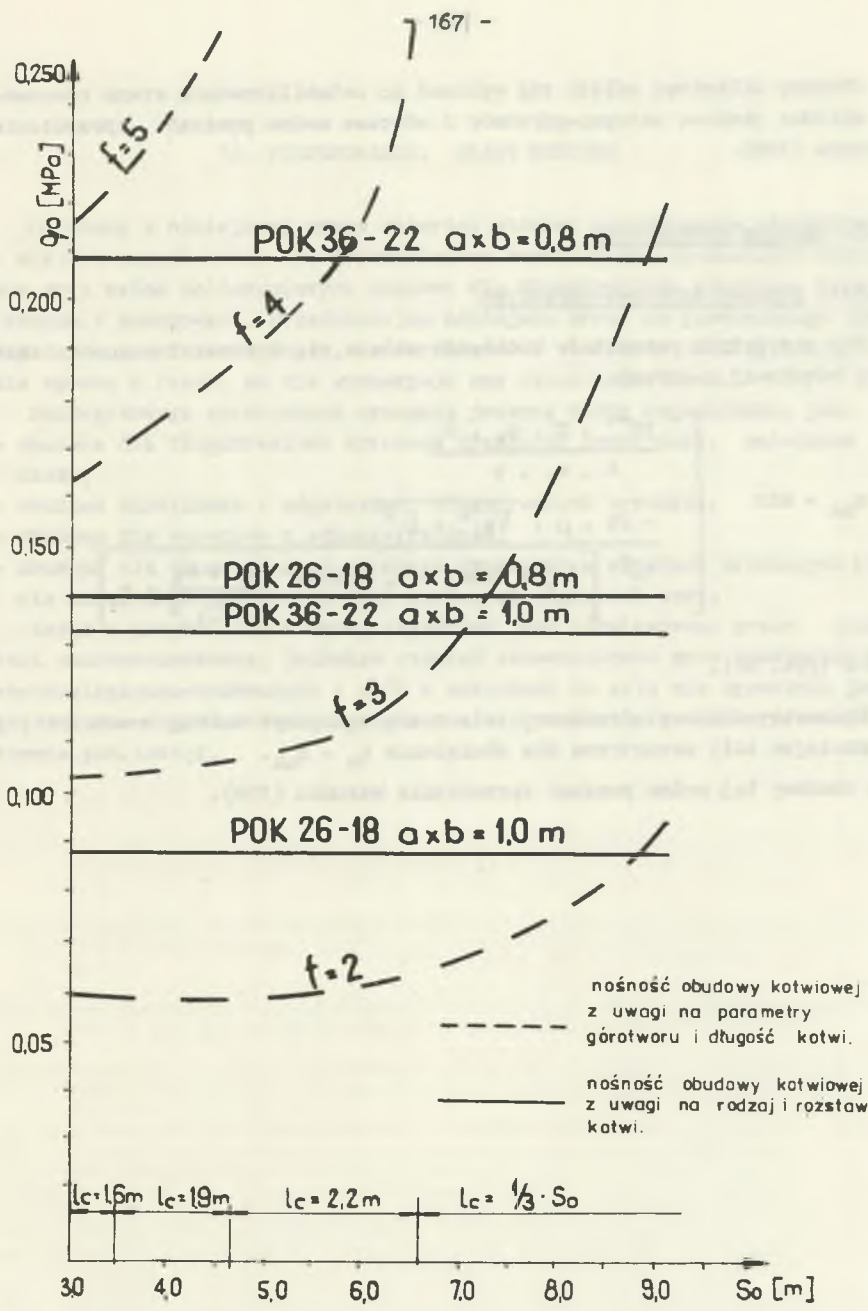
$$F_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{N \cdot e_a - 0,42 \cdot R_b \cdot h_c^2 \cdot g}{R_a \cdot (h_c - a')} \\ \frac{N \cdot (h_0 - a' - e_a) - 0,50 \cdot R_b \cdot h_0^2 \cdot g}{R_a \cdot (h_0 - a')} \end{array} \right.$$

gdzie: g, h_0, a, a' - wymiary [m] wg rys. 87 ,

R_b - wytrzymałość obliczeniowa betonu na ścisnienie [MPa],

R_a - wytrzymałość obliczeniowa stali [MPa],

N - siła podłużna [kN].



Rys. 87. Nomogram dla wstępnej oceny nośności obudowy kotwiowej K

Obudowę żelbetową zaleca się wykonać po ustabilizowaniu stanu równowagi układu: obudowa wstępna-górotwór i wówczas można pominąć sprawdzenie warunku (108).

11.5. Obudowa kombinowana

11.5.1. Obudowa kotwiowo-odrzwiowa

Dla przyjętych parametrów kotwienia zaleca się wyznaczyć nośność obudowy kotwiowej z warunku:

$$q_{ok} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{10^{-4} \cdot \pi \cdot d_k \cdot R_a}{4 \cdot a_1 \cdot b} \\ - 25 \cdot \mu \cdot \sqrt{a_1^2 + l_1^2} \\ 10^3 \left[(r_w + 0,5a_1 + l_1 \cdot 0,5) \frac{l_1 \cdot \text{tg } \rho_g}{\sqrt{a_1^2 + l_1^2}} - r_w \right] \end{array} \right.$$

lub z (rys. 87).

Parametry obudowy odrzwiowej zaleca się wyznaczyć według rozdz. 11.1, wyznaczając siły wewnętrzne dla obciążenia $q_0 - q_{ok}$.

Dla obudowy tej można pominąć sprawdzenie warunku (108).

12. PODSUMOWANIE. UWAGI KOŃCOWE

Omówiony w niniejszej pracy materiał stanowi podsumowanie wieloletnich i wielostronnych badań nad doskonaleniem konstrukcji, technologii wznoszenia oraz metod obliczeniowych obudowy dla długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych. Przedkładając niniejszą pracę do powszechnego wykorzystania przez technologów, konstruktorów i studentów autorzy zdają sobie sprawę z faktu, że nie wyczerpuje ona całości problemu.

Szczegółowego opracowania wymagają jeszcze takie zagadnienia, jak:

- obudowa dla długotrwałych wyrobisk drażonych kombajnami, zwłaszcza w złożu,
- obudowa skrzyżowań i odgałęzień, długotrwałych wyrobisk,
- obudowa dla wyrobisk z płaskim stropem,
- obudowa dla długotrwałych wyrobisk drażonych w strefach uskokowych i silnie zaburzonym górotworze przy znacznych dopływach wody.

Każde z przytoczonych wyżej zagadnień jest rozwiązywane przez jednostki naukowo-badawcze, jednakże stopień zaawansowania prac konstrukcyjno-technologiczno-badawczych i prób w warunkach in situ nie upoważnia jeszcze autorów do całościowego podsumowania i przekazania zainteresowanym w formie publikacji.

LITERATURA

- [1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1972.
- [2] Borecki M., Chudek M., Małoszewski J., Wypchol N., Słoma I., Musioł I.: Analiza metod obudowy kapitalnych wyrobisk poziomych oraz wytyczne dla warunków geotechnicznych KWK "Śląsk", Mysłowice 1974 (niepublikowane).
- [3] BN-82/0434-07. Wyrobiska korytarzowe i komorowe w kopalniach. Obudowa powłokowa. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych.
- [4] NB-73/0439-01. Chodniki w kopalniach podziemnych. Chodniki obudowane odrzwiami z łuków korytkowych. Wymagania i badania.
- [5] Chudek M.: Górnictwo, tom VII. Obudowa wyrobisk. Obudowa kamienna, metalowa i mieszana. Wyd. "Śląsk", Katowice 1968.
- [6] Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Cz. 2. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wyd. "Śląsk", Katowice 1975.
- [7] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypty Centralne Wyższych Studiów Technicznych dla Pracujących, Gliwice 1981.
- [8] Chudek M.: Obudowa kombinowana (murpo-stalowa) poziomych wyrobisk górniczych. Z.N. Po. Śl. s. "Górnictwo", z. 13, Gliwice 1965.
- [9] Chudek M.: Doświadczalna analiza wpływu obciążeń na charakter pracy obudowy ŁP. Zeszyty Problemowe Górnictwa PAN. z. 2. t.9, 1971.
- [10] Chudek M.: Efektywność projektowania w górnictwie przed wykonaniem budowli podziemnych i rozpoczęciem eksploatacji złóż. Z.N. Pol. Śl. s. "Górnictwo" z.123, 1983
- [11] Chudek M., Chwała St.: Zagadnienie prognozowania obciążeń statycznych na obudowę wyrobisk korytarzowych i komorowych. Z.N. Pol.Śl. s. "Górnictwo" z. 76, Gliwice 1977.
- [12] Chudek M., Słoma I.: Badania laboratoryjne elementów obudowy z łuków sztywnych ŁSG Z.N.Pol.Śl. s.Górnictwo z.116,82r.
- [13] Chudek M., Słoma I.: Badania przemysłowe obudów z łuków sztywnych i podatnych (w druku).
- [14] Chudek M., Słoma I.: Badania i projektowanie obudowy sztywnej ŁSG (w druku).
- [15] Chudek M., Słoma I.: Współpraca obudowy sztywnej z górotworem w świetle badań Archiwum Górnictwa z.4,82r.
- [16] Chudek M., Jeleński A.: Projektowanie obudowy prefabrykowanej drutobetonowej wyrobisk korytarzowych i komorowych (w druku).
- [17] Chudek M.: Budownictwo podziemne kopalń. Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej, Gliwice 1982.
- [18] DIN 21538 Prüfung von Streckenaus-bauteilen für den Gruben-aus-bau.

- [19] Götze W., Kammer W.: Die Auswirkung von Streckenführung und Ausbautechnik auf die Querschnittverminderung von Abbaustrecken Glückauf 112 (1976), ss. 846-853.
- [20] Götze W.: Gebrauchseigenschaften des Streckenausbaus. Glückauf 115 (1979), ss. 105-107.
- [21] Hegermann G., Kierdorf M., Trenz H.: Das Herstellen eines grossen Grubenraumes auf dem Bergwerk Osterfeld. Glückauf 117 (1981), ss. 1473-1477, (nr 22).
- [22] Jacobi O.: Praxis der Gebirgsbeherrschung. Wyd. Glückauf GMBH. Essen 1976.
- [23] Kidybiński A., Sikorski Cz.: Tymczasowy sposób określania zakresu geomechanicznych warunków stosowalności obudowy typu ŁS-G110 G3G (materiał na Resortową Komisję Obudowy i Kierowania Stropem), Katowice, październik 1974.
- [24] Koźlarz K.: Projektowanie metodą na dopuszczalny udźwig stalowych obudów kołowych sztywnych obciążonych siłą skupioną. Praca doktorska. Gliwice 1979.
- [25] Kastner M.: Statik des Tunnel- und Stollenbaues auf Grundlage geomechanischer Erkenntnisse. Wydawnictwo Springer Verlag. Berlin 1971.
- [26] Linder: Spritzbeton in Felsohlraumbau. Die Beutechnik 1963 nr 10.
- [27] Liberman: Davlenie na krep kapitalnych vyrabotok. Wydawnictwo "Nauka", Moskwa 1969.
- [28] Lütgenderf H.O.: Quantitative Gebirgsmechanik der Untertagebauten im geklüfteten Gebirge. Wydawnictwo Glückauf BMBM. Essen 1971.
- [29] Lütgendorf H.O.: Spannungen und Verformungen im festen Gebirge um kreiszylindrische Grubenräume Glückauf-Forschungshefte 1967, nr 2.
- [30] Lütgendorf H.O.: Spannungen und Verformungen um lockeren Gebirge im kreiszylindrische Grubenräume Glückauf-Forschungshefte 1967, nr 4.
- [31] Małozzewski J., Rułka K., Wypchol N.: Wpływ współpracy z górotworem na jej nośność. Przegląd Górniczy 1974, nr 2.
- [32] Mazur J.: Badania możliwości stosowania kotwienia i betonu natryskowego w wyrobiskach górniczych w fliszu karpackim. Budownictwo Górnicze 1971, nr 2.
- [33] Malchin D.: Untersuchungen eines Stahl-Beton-Verbundausbaus für Gesteinsstrecken. Glückauf Forschungshefte 41 (1980), nr 5.
- [34] Mateja J.: Badania ścisłości wykładki obudowy łukowej. Prace naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej Nr 31, 1980.
- [35] Mateja J., Wypchol N.: Rola wykładki w obudowie łukowej. Sympozjum Naukowe na temat: "Metody zabezpieczenia korytarzowych wyrobisk górniczych" GIG, Katowice 1979.
- [36] Mateja J., Wypchol N.: Berechnung des dünnwandigen Betonausbaus in nicht standfestem Gebirge. Glückauf Forschungshefte 1978, nr 5.

- [37] Mateja J.: Nośność obudowy łukowej. Projekty Problemy - Budownictwo górnicze Nr 6, 1982
- [38] Mohr F.: Gebirgsmechanik 1963.
- [39] Mostkow M.: Stroitelstwo podziemnych sooruzenij bolsogo secenija. Wydawnictwo "Gosgortechizdat", Moskwa 1963.
- [40] Podgórski K., Podgórski W.: Obudowa kotłowa wyrobisk górniczych. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1969.
- [41] PN-76/B-03001. Konstrukcja i podłoża budowli. Ogólne zasady obliczeń.
- [42] PN-80/B-03200. Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [43] PN-73/G-15001. Obudowa chodników łukami korytarzowymi. Odrzwia trójdzielne.
- [44] Praca ZM PAN pt. "Badania własności sprężystych skał i określanie korelacji z prędkością fal ultradźwiękowych". Sprawozdanie nr 7 (1974) (niepublikowane).
- [45] Praca OBR-BG pt. "Tymczasowe wytyczne projektowania i obliczeń statycznych obudów kapitalnych wyrobisk korytarzowych i komorowych". Mysłowice 1976 (niepublikowane).
- [46] Praca zbiorowa Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej. Podstawowe parametry optymalnej i bezpiecznej współpracy obudowy z górotworem w trudnych warunkach naturalnych i górniczych. Gliwice 1974, (niepublikowane).
- [47] Praca Zbiorowa Instytutu Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej. Opracowanie podstaw analitycznych oraz wytycznych projektowania wyrobisk przygotowawczych w aspekcie uzyskania optymalnych warunków ich utrzymania w oparciu o badania modelowe i dołowe uwzględniające warunki geotechniczne dużych głębokości rejonów górniczych GZW. Gliwice 1979 (niepublikowane).
- [48] Praca OBR-BG "Budokop" "Badania półprzemysłowe wykonywania scalonej wykładki. Mysłowice, listopad 1979 (niepublikowane).
- [49] Praca OBR-BG "Budokop". Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych. Mysłowice 1980.
- [50] Praca naukowo-badawcza OBR-BG "Budokop". Projektowanie i obliczanie statyczne obudów kapitalnych wyrobisk korytarzowych i komorowych. Mysłowice 1978.
- [51] Praca OBR-BG "Budokop". Badania ścisłości wykładki. Mysłowice, czerwiec 1979 (niepublikowane).
- [52] Praca OBR-BG "Budokop". Ocena wpływu konstrukcji obudowy i technologii jej wznoszenia na wielkość i rozkład ciśnień. Mysłowice, gruzdzień 1980 (niepublikowane).
- [53] Praca OBR-BG "Budokop". Sprawozdanie z prób laboratoryjnych serii próbnej strzemion typu ZS1.29 i ZS3.29. Mysłowice, czerwiec 1981 (niepublikowane).
- [54] Praca OBR-BG "Budokop". Warunki organizacyjno-techniczne stosowania strzemion ZS oraz rozpór WRG. Mysłowice, listopad 1980 (niepublikowane).

- [55] Praca OBR-BG "Budokop". Sprawozdanie z badań stanowiskowych dla wyrobisk z płaskim stropem. Mysłówice, marzec 1978 (niepublikowane).
- [56] Praca GIG. Wyniki badań laboratoryjnych strzemion kabłąkowych K25. Katowice, marzec 1981.
- [57] Praca GIG. Wyniki badań laboratoryjnych strzemion kabłąkowych K29. Katowice, marzec 1981.
- [58] Praca GIG. Instrukcja wykonania łukowej podatnej obudowy chodnikowej z kształtownika V. Katowice, maj 1980.
- [59] Praca GBSiPG. Analiza statyczna płaskich układów prętowych oraz krępych ram płaskich. Program na EMC Odra 1204. Symbol "Bud-57". Katowice 1974.
- [60] Praca GBSiPG. Propozycja typizacji przekroju poprzecznego wyrobisk korytarzowych i komorowych wykonanych w obudowie kotwicznej i powłokowej (niepublikowane).
- [61] Praca GBSiPG. Katalog typowych przekrojów wyrobisk korytarzowych. Wyd. II, Katowice 1975.
- [62] Praca GBSiPG. Wytyczne doboru rodzajów obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych. Katowice 1980.
- [63] Praca GBSiPG. BSiT. Analiza efektywności stosowania obudowy z kształtownika V. Katowice 1981 (niepublikowane).
- [64] Rabcewicz L., Sattler K.: Die neue Österreichische Tunnelbauweise. Der Bau-Ingenieur 1965 nr 8.
- [65] Rabcewicz L., Pacher F.: Gedanken zu Modellversuchungen an Tunnelauskleidungen in Form einer dünnen halbsteifen Schale. Felschmechanik u Ingenieurgeol. Suppl. 1968, nr IV.
- [66] Rabcewicz L., Pacher F.: Die Elemente der neuen Österreichischen Tunnelbauweise und ihre geschichtliche Entwicklung. Osterr. Ing. Zeit 1975 nr 9.
- [67] Rułka K.: Obudowa stalowo-betonowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1972.
- [68] Rułka K., Wojtusiak A., Mateja J.: Nowe obudowy kapitalnych wyrobisk podziemnych. Rudy i Metale Nieżelazna 1970 nr 9.
- [69] Chudek M., Olaszowski W.: Nowe złącze obudowy ŁP (niepublikowane).
- [70] Rułka K., Wypchol N., Małoszewski J., Mateja J., Pałucki T.: Projektowanie obudów powłokowych dla wyrobisk korytarzowych i komorowych. Zeszyty Naukowe AGH, Kraków 1974, zeszyt nr 62.
- [71] Rułka K., Wypchol N., Słoma I.: Wzmocnienie obudowy z łuków stalowych dla wyrobisk korytarzowych. Budownictwo Górnicze 1973, nr 3.
- [72] Rułka K., Wypchol N., Mateja J.: Teoretyczne aspekty projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych w warunkach wzmoczonych ciśnień. Projekty Problemy - Budownictwo Węglowe 1975, nr 6.
- [73] Rułka K., Wypchol N., Mateja J., Lachman K.: Projektowanie i obliczanie statyczne kapitalnych wyrobisk korytarzowych i komorowych. Prace Naukowo-Badawcze OBR-BG, 1978.
- [74] Rułka K., Wypchol N.: Nośność graniczna obudowy odrzwiowej. Prace Naukowe Instytutu Geologii Politechniki Wrocławskiej nr 31, 1980.

- [75] Sałustowicz A.: Mechanika górotworu. Cz.II. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze. Stalinogród 1955.
- [76] Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Wyd. "Śląsk", Katowice 1965.
- [77] Sattler K.: Neuartige Tunnelmodellversuche - Ergebnisse und Folgerungen. Felschmechanik u.Ingenieurgeol. Suppl. 1968, nr IV.
- [78] Sawka B., Raczyński A.: Stoiskowe badania obudowy wyrobisk chodnikowych. Sympozjum Naukowe nt. Metody zabezpieczania korytarzowych wyrobisk górniczych. GIG, Katowice 1979.
- [79] Schaefer W.: Die Tragfähigkeit von Stahlprofilen und ihre wirtschaftliche Verwendung für den Streckenausbau. Glückauf 1957. H.29/30.
- [80] Schaefer-Rolfs G., Wilke N.: Ermittlungen der Tragfähigkeit und der zulässigen Anhängelast an Streckenbögen. Glückauf 107 (1971), ss. 369-374.
- [81] Słoma I., Lachman K., Mateja J.: Parametry wytrzymałościowe łukowej obudowy sztywnej ŁSG 110. Budownictwo Górnicze 1979, nr 2.
- [82] Spruth F.: Streckenausbau in Stahl. Verlag Glückauf GMBH Essen 1959.
- [83] Wypchol N., Mazur J.: Projektowanie obudowy wstępnej podziemnych wyrobisk korytarzowych w warunkach fliszu karpackiego. Budownictwo Górnicze, 1974, nr 2.
- [84] Wypchol N.: Projektowanie łukowej obudowy korytarzowej z uwzględnieniem współpracy z górotworem. Materiały konferencyjne, Budownictwo Górnicze. Mysłowice 1973.
- [85] Wypchol N.: Warunki optymalnej współpracy obudowy z górotworem. Rudy i Metale Nieżelazne 1976.
- [86] Wypchol N.: Nośność graniczna kształtowników obudowy odrzwiowej przy mimośrodowym ściskaniu. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 31, 1980.
- [87] Wypchol N., Mateja J.: Zur Tragfähigkeit des Stahlbogenausbaus. Glückauf Forschungshefte 1982, nr 2.
- [88] Tymczasowe wytyczne stosowania obudowy kotwicznej, kotwiczowo-podporowej i podporowej prostej w kopalniach węgla kamiennego. MG Katowice 1976.
- [89] Sawin G.N.: Raspriedielenije napriazhenij około otwierstij. Naukova Dumka - Kijew 1968.
- [90] Dudek J.: Ocena nośności wklejanej obudowy kotwicznej na podstawie wyników pomiarów w kopalniach i na modelach. Praca doktorska. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1977.
- [91] Praca GIG. Laboratoryjne i kopalniane badania obudowy ŁP-9 (KSKO-21) i jej elementów składowych. Katowice, maj 1973.

Recenzenci:

PROF.DR HAB.INŻ. ZDZISŁAW KŁECZEK
DOC.DR INŻ. WŁADYSŁAW KONOPKO

WAŻNIEJSZE OZNACZENIA I JEDNOSTKI STOSOWANE W PRACY

Naprężenia, obciążenia jednostkowe,
nośność

p_o	- naprężenia radialne w górotworze na granicy strefy plastycznej i spękanej,	[MPa]
p_g	- naprężenia radialne w górotworze na granicy strefy sprężystej i plastycznej lub sprężystej i spękanej	[MPa]
p_z	- pierwotne naprężenia pionowe w górotworze	[MPa]
q	- ciśnienie górotworu na obudowę (ogólnie)	[MPa]
q_f	- nacisk jednostkowy fundamentu obudowy na podłoże	[MPa]
q_o	- obciążenie obliczeniowe	[MPa]
q_w	- ciśnienie spągowe górotworu na obudowę	[MPa]
q_x	- ciśnienie ociosowe górotworu na obudowę	[MPa]
q_z	- ciśnienie stropowe górotworu na obudowę	[MPa]
q_k	- nośność obudowy odrzwiowej z uwagi na kształtownik	[kN/m]
q_{zo}	- nośność obudowy odrzwiowej z uwagi na złącza odrzwi	[kN/m]
n	- współczynnik obciążenia	
λ_1	- współczynnik parcia bocznego	
β_g	- współczynnik zależny od ρ_g	
N_z	- nośność złączy odrzwi	[kN]

Parametry geotechniczne górotworu

E_o, E	- moduł odkształcenia pierwotnego i wtórnego gruntu	[MPa]
E_s	- współczynnik sprężystości wzdłużnej skał	[MPa]
E_g	- współczynnik sprężystości wzdłużnej górotworu	[MPa]
x_{oj}	- wartość parametru geomechanicznego (ogólnie) w j-tej warstwie	
R_{cs}	- wytrzymałość skały przy jednoosiowym ściskaniu	[MPa]
R_{cg}	- wytrzymałość górotworu na ściskanie	[MPa]
R'_{cg}	- wytrzymałość górotworu na ściskanie w strefie plastycznej	[MPa]
c_s	- spójność skał	[MPa]
c_g	- spójność górotworu	[MPa]
	- pozorny kąt tarcia wewnętrznego	[1°]
$\varphi_o, \varphi_s, \varphi_w$	- odpowiednio skał: ociosowych, stropowych, spągowych	[1°]
ρ_s	- kąt tarcia wewnętrznego skał	[1°]
ρ_g	- kąt tarcia wewnętrznego górotworu	[1°]
μ	- wskaźnik zwięzłości skał wg Protodiakowa	
γ_o	- gęstość przestrzenna górotworu	[t/m ³]
γ_{oi}	- gęstość przestrzenna i-tej warstwy górotworu	[t/m ³]

r_w	- promień konturu wyłomu wyrobiska	[m]
s_o	- szerokość wyrobiska w świetle obudowy	[m]
s_w	- szerokość wyrobiska w świetle wyłomu	[m]
w_o	- wysokość wyrobiska w świetle obudowy	[m]
w_w	- wysokość wyrobiska w świetle wyłomu	[m]

Przemieszczenia i odkształcenia

u	- wymuszone przemieszczenia radialne	[m]
u^{ob}	- przemieszczenia radialne obudowy	[m]
ϵ_{ns}	- graniczne jednostkowe odkształcenia podłużne próbki skalnej, przy jednoosiowym ścisnaniu, poprzedzające jej zniszczenie	
ϵ_{ng}	- graniczne jednostkowe odkształcenie podłużne górotworu	
ϵ_s	- odkształcenie skurczowe betonu	

Parametry materiału obudowy

<u>- beton</u>		
E_b	- współczynnik sprężystości betonu	[MPa]
R_o	- wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie	[MPa]
R_{bz}	- wytrzymałość obliczeniowa betonu na rozciągliwość	[MPa]
γ_b	- gęstość przestrzenna betonu	[t/m ³]
γ_{b3}	- współczynnik zmniejszający	
<u>- stal</u>		
R_e	- granica plastyczności stali	
E_a	- współczynnik sprężystości stali	[MPa]
R_m	- wytrzymałość na rozciąganie	[MPa]
R_a	- wytrzymałość obliczeniowa stali na rozciąganie	[MPa]
γ_s	- współczynnik materiałowy	
<u>- wykładka</u>		
E_w	- współczynnik ściśliwości wykładki	[MPa]
<u>- zaprawa (substancja wklejająca)</u>		
R_{tz}	- wytrzymałość na ścinanie spoiwa	[MPa]

Siły i momenty

M	- moment zginający	[kNm]
M_{max}	- maksymalny moment zginający	[kNm]
M_{min}	- minimalny moment zginający	[kNm]
N	- siła podłużna	[kN]
N_{odp}	- siła podłużna w przekroju, dla którego określono moment zginający	[kN]
ν_s	- liczba Poissona dla skał	
ν_g	- liczba Poissona dla górotworu	

- λ_1 - współczynnik parcia bocznego
 δ - współczynnik równy stosunkowi $\frac{R}{R_{rs}}$
 k_0 - współczynnik strukturalnego osłabienia skał
 k_1 - współczynnik zmniejszający δ

Wymiary wyrobiska i obudowy

- A - powierzchnia przekroju poprzecznego kształtownika stalowego [cm²]
H - głębokość zalegania wyrobiska [m]
H_{kr} - głębokość krytyczna [m]
J_x, J_y - momenty bezwładności kształtownika stalowego [cm⁴]
L - długość osi odrzwi [m]
R_o - promień osi spągnicy lub sklepienia spągowego [m]
W_x, W_y - wskaźnik wytrzymałości na zginanie profilu stalowego [cm³]
a₁ - rozstaw kotwi po obwodzie wyrobiska [m]
a, a' - odległości zbrojenia rozciąganego i ściskanego od włókien skrajnych [cm]
b - rozstaw między rzędami kotwi [m]
c - odległość środka łuku od spodka wyrobiska [cm]
d - rozstaw odrzwi [m]
d_k - średnica pręta kotwieniowego [cm]
d_o - średnica otworu kotwieniowego [cm]
g - grubość powłoki (obudowy) [m]
g_w - grubość wykładki [m]
h₁ - grubość i-tej warstwy górotworu [m]
h_o - strzałka sklepienia ciśnień [m]
h_s - zasięg spękań w wyniku prowadzenia robót strzałowych [m]
h_w - głębokość, do której sięga wyciskanie spągu [m]
i_x, i_y - promienie bezwładności kształtownika stalowego [cm]
l - swobodna długość łuku [m]
l_c - długość całkowita kotwi
l_k - początkowa ściśliwość wykładki [m]
l_{zu} - długość użytkowa zamocowania kotwi [m]
l₁ - wysokość użytkowa skotwionego sklepienia skalnego [m]
ΔL - suma zsuwów na złączonych obudowach [m]
r_a - promień zasięgu strefy spękań [m]
r_o - promień osi obudowy [m]
r_L - promień zasięgu strefy plastycznej lub spękań [m]
e_a, e_o, e_n - mimośród siły osiowej względem zbrojenia rozciąganego, wartość obliczeniowa, mimośród niezamierzony [m, cm]

Parametry pomocnicze

- A_o, A_p, A_z - powierzchnia przekroju poprzecznego wahaczy [m²]
- E_o, E_p, E_z - współczynnik sprężystości materiału wahaczy [MPa]
- I_o, I_p, I_z - moment bezwładności przekroju wahaczy [m⁴]

PODSTAWY TEORETYCZNE ORAZ NOWE ZASADY DOBORU,
USTALANIA OBCIĄŻEŃ I WYMIAROWANIA OBUDÓW DŁUGO-
GÓTRWAŁYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH I KOMO-
ROWYCH

S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawiono teoretyczne podstawy doboru obudowy dla długo-trwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych wraz z metodami ustalania obciążeń na te obudowy. W związku z powyższym podano wyprowadzenie wzorów dotyczących zasad oszacowania obciążeń, jakie w przyszłości będą działały na obudowy wyrobisk korytarzowych oraz komorowych, a także podstawy teoretyczne do określania stanów naprężeniowo-deformacyjnych w górotworze w otoczeniu tych wyrobisk dla ośrodków: sprężystego, sprężysto-plastycznego, sprężysto-speknanego i sypkiego.

Podano zasady wymiarowania obudowy łukowej (ŁP), z betonu natryskowego (B), obudowy kotwiiowo-betonowej (KB), kotwiiowo-betonowo-stalowej (KBS), odrzwiowej obetonowanej (OB).

Rozpatrzono podporność aktywną obudów: B, SB, OB, ŁP, kotwiiowej, odrzwiowej z łuków sztywnych. Zaproponowano podział konstrukcji obudów wraz z ich oznaczeniem oraz wykazano znaczenie konstrukcji obudowy i sposobu jej wznoszenia dla zapewnienia stateczności wyrobisk korytarzowych i komorowych. Omówiono parametry geotechniczne górotworu w świetle ich przydatności dla potrzeb projektowania konstrukcji obudowy. Przy omawianiu obciążeń działających na obudowę uwzględniono wyrobiska lokalizowane w ośrodku sprężystym, sprężysto-plastycznym, sprężysto-plastyczno-speknanym oraz w strefie zaburzeń tektonicznych. W rozważaniach teoretycznych w odniesieniu do konstrukcji obudów określono siły wewnętrzne i ekstremalne wartości sił wewnętrznych w niektórych ustrojach płaskich (obudowa odrzwiowa, łuk kołowy płaski, obudowa odrzwiowa obetonowana).

Podano zasady wymiarowania konstrukcji obudowy odrzwiowej, powłokowej, kotwiiowej, sklepieniowej (betonowej, żelbetonowej). Podsumowaniu rozważań podano wnioski końcowe. Pracę kończy wykaz literatury.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОДБОРА,
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК И ПРОСТАВКИ РАЗМЕРОВ КРЕПЛЕНИЙ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ КОРИДОРНЫХ И КАМЕРНЫХ ВЫРАБОТОК

Р е з ю м е

В настоящей работе представлены теоретические основы подбора крепления для продолжительных коридорных и камерных выработок и методы определения нагрузок на эти крепления. В связи с тем даны выводы уравнений относящихся к принципам оценки нагрузок, которые в будущем будут воздействовать на крепления коридорных и камерных выработок, а также теоретические основы определения напряженно-деформационных состояний в горных породах в окружающей среде этих выработок для упругой, упруго-пластической, упруго-трещиноватой и смучей среды.

Даны принципы проставки размеров арочного крепления (ζP) из прмскового бетона (В), анкерно-бетонного крепления (КВ), анкерно-бетонно-стального крепления (КВС), бетонного крепления крепежными рамами (ОВ).

Была рассмотрена активная опорность крепления типа: В, СВ, ОВ, ζP , анкерного крепления и крепления крепежными рамами из жестких арок. Было предложено разделение конструкции креплений и их обозначение, а также было указано значение конструкции крепления и способа ее застройки для обеспечения устойчивости коридорных и камерных выработок. Были проанализированы геотехнические параметры горной породы в зависимости от их пригодности для потребностей проектирования конструкции крепления. При рассмотрении нагрузок действующих на крепление были учтены выработки находящиеся в упругой, упруго-пластической, упруго-пластическо-трещиноватой среде, а также в зоне тектонических нарушений. В теоретических рассуждениях по отношению к конструкции креплений были определены внутренние в экспериментальные величины внутренних сил в некоторых плоских системах (крепление крепежными рамами - круговая плоская арка бетонное крепление крепежными рамами).

Даны принципы проставки размеров конструкции крепления крепежными рамами, оболочного, анкерного, сводчатого (бетонного, железобетонного) крепления. В подведении итогов настоящей работы даны конечные выводы. Работа завершена поиском литературы.

ON THEORETICAL BASES AND NEW RULES OF CHOICE, LOAD
DETERMINATION AND DIMENSIONING OF SUPPORTS FOR
PROLONGED DOG AND CHAMBER HEADINGS

S u m m a r y

Theoretical bases of a choice of supports for prolonged dog and chamber headings and methods of load determinations for the supports are presented. The mathematical formulas are derived which enable estimations of the load which will act in future and theoretical bases for determination of stress deformation states in a rock mass in the headings neighborhood for elastic, elasto-plastic, elasto-fractured and loose media are given.

Moreover rules of dimensioning of arc support, rockbolt-concrete support, rockbolt-concrete-steel support, shotcrete-support and shotcreted-frame support are presented. Active supporticity of shotcrete, shotcreted-frame support, arc, rockbolt and rigid arced-frame support is considered. The division of support constructions is made and assigned and a way of building in the assurance of dog and chamber headings stability is proved. Geotechnic parameters of a rock mass are discussed in the light of their utilization for support constructions design. Headings located in the following media are taken into account: elastic, elasto-plastic, elasto-plasto-fractured and in the tectonic disturbances zone. Theoretical considerations connected with supports construction lead to determination of inner forces and extremal values of inner forces in some frame systems (frame support-ring frame, shotcreted frame support).

Rules of dimensioning for the construction of frame support and arch walling support (concrete, ferro-concrete) are given. The considerations are recapitulated by final conclusions. The references are given at the end.

**WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
MOŻNA NABYĆ W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:**

- 44-100 Gliwice — Księgarnia nr 098, ul. Konstytucji 14 b
- 44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a
- 40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Zwirki i Włgury 33
- 40-096 Katowice — Księgarnia nr 095, ul. 3 Maja 12
- 41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10
- 41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22
- 41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2
- 47-400 Racibórz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1
- 44-200 Rybnik — Księgarnia nr 182, Rynek 1
- 41-200 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7
- 41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288
- 00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN —
Pałac Kultury i Nauki

Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**



40-LECIE
Politechniki Śląskiej

**MIROSŁAW CHUDEK
JAN MATEJA
KAZIMIERZ RULKA**

**PODSTAWY TEORETYCZNE ORAZ NOWE ZASADY
DOBORU, USTALENIA OBCIĄŻEŃ I WYMIAROWANIA
OBUDÓW DŁUGOTRWAŁYCH WYROBISK
KORYTARZOWYCH I KOMOROWYCH**

GÓRNICTWO

**Z. 124
GLIWICE
1985**