

GÓRNICtwo 42

P.3351/40

KAZIMIERZ RUŁKA

STUDIUM NAD WYTRZYMAŁOŚCIĄ OBUDOWY BETONOWEJ
ZBROJONEJ REGULARNIE ROZMIESZCZONYMI WKŁADKAMI
SZTYWNYMI W POSTACI ŁOKÓW KORYTKOWYCH

25-LECIE

POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZESZYT NAUKOWY Nr 286 – GLIWICE 1970

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	5
2. Przegląd obudów kombinowanych stosowanych w krajowym budownictwie podziemnym	8
2.1. Obudowa kombinowana stalowo-murowa	8
2.2. Obudowa kombinowana stalowo-betonowa	9
2.3. Dotychczasowe sposoby obliczania grubości obudowy kombinowanej stalowo-betonowej	14
3. Cel, zakres pracy i założenia	16
3.1. Cel pracy	16
3.2. Zakres pracy	16
3.3. Założenia	17
4. Badania nad określeniem parametrów wytrzymałościowych podstawowych składników oraz konstrukcji obudowy kombinowanej stalowo-betonowej	18
4.1. Badania i obserwacje zrealizowanych konstrukcji obudowy kombinowanej stalowo-betonowej	18
4.2. Badania teoretyczne i laboratoryjne nad określeniem parametrów wytrzymałościowych konstrukcji stalowo-betonowych na ciałach próbnych w postaci pryzmatycznych prętów stalowych i stalowo-betonowych	19
4.3. Badania teoretyczne i modelowe nad określeniem parametrów wytrzymałościowych obudowy kombinowanej stalowo-betonowej na elementach przestrzennych wykonanych w skali naturalnej	22
5. Podstawy teoretyczne projektowania oraz wytyczne dla wykonawstwa obudowy kombinowanej stalowo-betonowej	26
5.1. Metodyka projektowania układów otwartych obudowy betonowej zbrojonej regularnie rozmieszczonymi wkładkami sztywnymi w postaci łuków korytkowych	26
5.1.1. Wprowadzenie	26
5.1.2. Schemat statyczny	28
5.1.3. Schemat obciążenia	29
5.1.4. Określenie sił wewnętrznych	33
5.1.5. Określenie nośności obudowy	48
5.1.6. Tok postępowania przy indywidualnym obliczaniu obudowy	52
5.1.7. Przykład liczbowy	56
5.1.8. Określenie wielkości sił wewnętrznych i rozporu H dla normowych formatów odrzwi obudowy ŁK przy charakterystycznych wskaźnikach zwięzłości skał i związanych z nimi ciężarach objętościowych	62
5.2. Propozycje w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych dla technicznie uzasadnionej obudowy kombinowanej stalowo-betonowej	68
5.2.1. Rozwiązania konstrukcyjne	68
5.2.2. Technologia wykonania	72
6. Wnioski końcowe	74
7. Literatura	77

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 286



P.3351/40

KAZIMIERZ RUŁKA

**STUDIUM NAD WYTRZYMAŁOŚCIĄ OBUDOWY BETONOWEJ
ZBROJONEJ REGULARNIE ROZMIESZCZONYMI WKŁADKAMI
SZTYWNYMI W POSTACI ŁUKÓW KORYTKOWYCH**

PRACA HABILITACYJNA Nr 99

(SKRÓT)

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 16. VI. 1969 r.

GLIWICE 1970

**REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ**

Fryderyk Staub

REDAKTOR DZIAŁU

Jerzy Nawrocki

SEKRETARZ REDAKCJI

Witold Gużkowski

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej

Gliwice, ul. M. Strzody 18

PJ289/70

Naki. 50+170 Ark. wyd. 3,82 Ark. druk. 5,25 Papier offsetowy kl.III, 70x100, 70 g
Oddano do druku 30. 4.1970 Podpis. do druku 30. 6.1970 Druk ukończono w lipcu 1970
Zam. 723 25. 4. 1970 L-23 Cena zł 5,-

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

PRZEDMOWA

Zebrane doświadczenia praktyczne i obserwacje wskazują na szereg cennych zalet powstałej żywiłowo z inicjatywy przedsiębiorstw wykonawczych nowej kombinowanej stalowo-betonowej obudowy wyrobisk korytarzowych. Obserwacje około 50 obudowanych tym sposobem wyrobisk wykazały, że mimo upływu kilku lat i eksperymentalnego zastosowania w trudniejszych od przeciętnych warunkach geologiczno-górnicznych, uszkodzenia bądź zniszczenia w trakcie eksploatacji występują jedynie w indywidualnych przypadkach głównie tam, gdzie przy wznoszeniu obudowy nie przestrzegano podstawowych wymogów technologicznych bądź zastosowano nieuzasadniony w danych warunkach układ statyczny. Stwierdzono ponadto dużą różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych uzależnioną jedynie od inwencji twórczej projektantów i wykonawców.

Analiza techniczno-ekonomiczna obudów sztywnych wykonywanych w wyrobiskach korytarzowych i komorowych pozwoliła na wysunięcie stwierdzenia, że mimo pewnych braków i niedomogów konstrukcyjnych lub technologicznych, obudowa kombinowana stalowo-betonowa reprezentuje kierunek postępowy, gdyż jest trwalsza i tańsza od obudów murowych z cegły lub betonitów i co najważniejsze - pozwala na osiągnięcie znacznie większych postępów przy wykonywaniu wyrobisk. Ponadto stwierdzono, że obudowa tego typu jest najodpowiedniejszą spośród dotychczas u nas stosowanych w warunkach występowania ciśnień dynamicznych, a więc takich, jakich należy coraz częściej oczekiwać w miarę wzrostu głębokości wykonywania wyrobisk. Obniżenie tego ciśnienia do wartości nie przekraczających nośności obudowy ostatecznej uzyskuje się dopuszczając do odpowiedniego przemiesz-

czenia górotworu w kierunku wyrobiska. Warunek ten spełnia obudowa kombinowana stalowo-betonowa będąca w początkowej fazie swojej pracy podatną.

Dalszy prawidłowy rozwój tej interesującej obudowy był uzależniony w dużym stopniu od doświadczalnego i teoretycznego opracowania zasad jej projektowania i technologii wykonania.

Przewidując dalszy dynamiczny wzrost zapotrzebowania na ten typ obudowy, spowodowany z jednej strony schodzeniem z eksploatacją na coraz większe głębokości, z drugiej zaś stałym rozszerzaniem zastosowania betonu natryskowego i mechanizacją procesu wznoszenia obudowy stalowo-betonowej przy użyciu deskowań przesuwanych, Zjednoczenie Budownictwa Górniczego w Katowicach zleciło kompleksowe opracowanie tego zagadnienia do Zakładu Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego.

Przedmiotowe prace badawcze i teoretyczne zostały wykonane bezpośrednio przez autora lub pod jego kierownictwem w Zakładzie Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego.

Przy realizacji prac badawczych korzystał autor z pomocy naukowej Dziekana Wydziału Górniczego prof. dr hab. inż. Mirosława Chudka, któremu tą drogą składa serdeczne podziękowanie.

Dziękuję również wszystkim kolegom z Zakładów Badań i Doświadczeń Budownictwa: Górniczego, Hutniczego i Węglowego, którzy przyczynili się do zrealizowania obszernego programu badawczego. Dyrekcji Zakładu Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego dziękuję za życzliwość i przychylny stosunek w trakcie wykonywania pracy.

Autor

1. WSTĘP

Na przestrzeni kilku ostatnich lat w krajowym budownictwie górniczym pojawił się nowy rodzaj obudowy wyrobisk górniczych tak zwana obudowa kombinowana stalowo-murowa lub stalowo-betonowa. Powstała ona drogą zabetonowania, rzadziej zamurowania uprzednio zabudowanej obudowy ŁK. Spotykamy ją w pierwszym rzędzie w wyrobiskach korytarzowych i komorowych (w tym odgałęzienia i skrzyżowania), rzadziej zaś w szybach o niewielkiej średnicy (szybiki).

Przy wykonywaniu obudowy kombinowanej można wyróżnić w chwili obecnej trzy rodzaje technologii wykonania. Obudowę stalowo-murową uzyskuje się przez zamurowanie cegłą lub betonitami obudowy ŁK, zaś obudowę stalowo-betonową poprzez zabetonowanie tychże łuków przy wykorzystaniu:

- betonu monolitycznego układanego za odeskowania w sposób ręczny lub zmechanizowany,
- betonu natryskowego układanego przy użyciu betoniarki natryskowej (torkretnicy) wprost na wewnętrzny obrys wyrobiska.

W każdym z przytoczonych wyżej przypadków uzyskuje się w rezultacie pewien rodzaj konstrukcji zespolonej (stalowo-murowej bądź stalowo-betonowej) o bardzo zróżnicowanej konfiguracji i różnym stopniu wypełnienia.

W praktyce budownictwa górniczego zasadniczą rolę zaczyna odgrywać drugi rodzaj, a więc obudowa stalowo-betonowa. Ten nowy typ obudowy stosowany w chwili obecnej prawie przez wszystkie przedsiębiorstwa robót górniczych (ponad 50 zrealizowanych obiektów do roku 1967) powstał samorzutnie, głównie na skutek aktualnych potrzeb

ruchowych. Jego wprowadzenie podyktowane było w pierwszym rządzie potrzebą zwiększenia postępów w drażeniu kapitalnych wyrobisk korytarzowych i komorowych oraz koniecznością stopniowego wyeliminowania pracochłonnej i drogiej obudowy murowej z cegły czy betonów na korzyść łatwej do zmechanizowania obudowy betonowej.

Cel ten został osiągnięty dzięki uniezależnieniu procesów drażenia (wyrobisko zostaje wykonane najpierw w obudowie "wstępnej" z ŁK), od wznoszenia trwałej obudowy.

Przeгляд kompleksowy obudowywanych tym sposobem wyrobisk górniczych wykazał w większości obok dobrego stanu obudowy, dużą różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych, uzależnioną jedynie od inwencji twórczej projektantów i wykonawców. Fakt ten jest zrozumiały gdy weźmiemy pod uwagę to, że w literaturze krajowej i zagranicznej brak jest bliższych danych o uzyskiwanym tą drogą tworzywie oraz ściślejszych metod projektowania.

W trakcie szczegółowych obserwacji i przeprowadzonej analizy stwierdzono (co nie jest bez znaczenia dla praktyki górniczej), że obudowa tego typu jest najopowiedniejszą spośród dotychczas u nas stosowanych, w warunkach występowania ciśnienia dynamicznego, a więc warunkach, jakich należy coraz częściej oczekiwać w miarę wzrostu głębokości przebijanych wyrobisk. Obniżenie tego ciśnienia do wartości nie przekraczających nośności obudowy ostatecznej trwałej, uzyskuje się dopuszczając do odpowiedniego przemieszczenia górotwórcu w kierunku wyrobiska. Warunek ten spełnia omówiona wyżej obudowa, będąca w początkowej fazie pracy podatną.

W oparciu o posiadane materiały stwierdzono, że przedstawiona wyżej obudowa kombinowana stalowo-betonowa powstała żywiołowo z inicjatywy przedsiębiorstw wykonawczych i do chwili obecnej nie posiada opracowanych metod i normatywów projektowania ani ujednoczonych wytycznych w zakresie techniki i technologii wykonania. Jedyny podkład naukowy w zakresie metodyki obliczania tego rodzaju obudowy dostępny w literaturze krajowej na który powołują się nie-

kiedy projektanci, a nawet wykonawcy stanowią prace A. Sałustowicza i M. Chudka. Przytoczone ekspertyzy oraz oparte na nich publikacje dotyczą jednakże indywidualnych przypadków konkretnych rozwiązań i zostały wykonane na podstawie rozważań teoretycznych oraz prostych wyliczeń rachunkowych, bez badań uzupełniających, a co za tym idzie, nie mogły stanowić pełnej podstawy dla projektowania, a tym bardziej technologii wykonania tego rodzaju obudowy.

W związku z powyższym stwierdzono, że dla dalszego prawidłowego rozpowszechniania tego rodzaju obudowy, istnieje potrzeba bliższego poznania jej parametrów wytrzymałościowych, opracowania odpowiedniej metodyki projektowania oraz jednolitych wytycznych w zakresie technologii wykonania.

Z uwagi na całkowitą nowość zagadnienia, ustalenie przedmiotowej metodyki wymagało wszechstronnych badań teoretycznych, laboratoryjnych i modelowych oraz obserwacji i badań geotowych konstrukcji w warunkach naturalnych, które pozwoliłyby na bliższe określenie parametrów wytrzymałościowych nowego tworzywa oraz jego przydatności dla potrzeb obudowy wyrobisk górniczych.

Przewidując dalszy dynamiczny wzrost zapotrzebowania na ten typ obudowy (stalowo-betonowej) spowodowany z jednej strony schodzeniem z eksploatacją na coraz większe głębokości, z drugiej zaś stałym rozszerzaniem stosowalności betonu natryskowego oraz mechanizacją procesu wznoszenia obudowy betonowej przy użyciu odeskowań przestawnych, Zjednoczenie Budownictwa Górniczego w Katowicach zleciło kompleksowe opracowanie tego zagadnienia do Zakładu Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego. Kierownictwo tematu powierzono autorowi. Do praktycznego rozwiązania przedmiotowego zagadnienia przystąpiono w 1967 r. W trakcie jego realizacji nawiązano ścisłą współpracę z Katedrą Budownictwa Podziemnego Kopalni Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej oraz Katedrą Mechaniki Górotworu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Niniejsza publikacja ma na ce-

lu przedstawienie w dużym skrócie przeprowadzonych badań sposobu opracowania uzyskanych wyników oraz finalnych rozważań teoretycznych.

2. PRZEGLĄD OBUDÓW KOMBINOWANYCH STOSOWANYCH W KRAJOWYM BUDOWNICTWIE PODZIEMNYM

Jak to już wspomniano, w krajowym budownictwie podziemnym spotyka się szereg rozwiązań konstrukcyjnych obudowy kombinowanej opartych na wkładkach stalowych w postaci odrzwi obudowy podatnej updatnionej lub sztywnej, obłożonych okładzinami sztywnymi układanymi ażurowo lub pełno na płask, wypełnionych betonem monolitycznym, rzadziej murem z cegły czy betonitów.

Zakładając pewne uproszczenie, obudowę tę można podzielić na dwa zasadnicze typy, a mianowicie:

- obudowę kombinowaną stalowo-murową,
- obudowę kombinowaną stalowo-betonową.

2.1. Obudowa kombinowana stalowo-murowa

Obudowa tego typu jest rzadko stosowana w naszych kopalniach i w 90% przypadków powstaje z wkładek stalowych w postaci kompletnych odrzwi z łuków korytkowych z okładzinami (stosowane jako obudowa wstępna) obmurowywanych po upływie pewnego czasu grubą warstwą cegły lub betonitów. Najchętniej jest stosowana w szczególnie trudnych warunkach geologiczno-górnicych, zwłaszcza przy przejściu przez różnego rodzaju zaburzenia i uskoki. Praktycznie wykonuje ją się w ten sposób, że draży się najpierw wyrobisko w obudowie ŁK z okładziną na pełno w wymiarach o kilka numerów większych od wymaganego przekroju.

Część tego nadmiaru przewiduje się na zaciągnięcie, pozostałą zaś na zamurowanie murem z cegły lub betonitów.

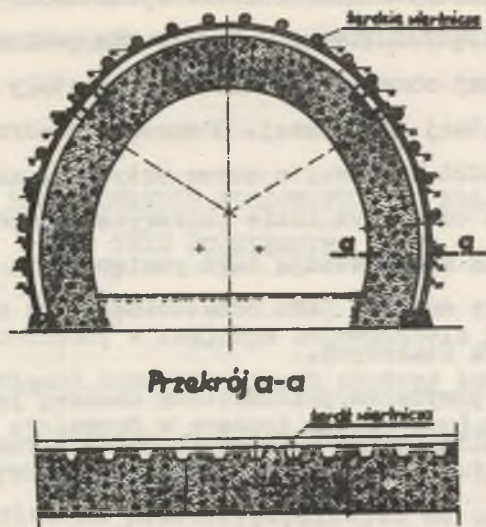
Pomijając wydatny wzrost kosztów spowodowany wykonywaniem wyko-
mu na "wzrost", w rezultacie uzyskuje się pewien technicznie nieu-
zasadniony rodzaj obudowy kombinowanej powstały z połączenia dwu
obudów tj. podatnej i sztywnej. Obmurowanie odrzwi nie gwarantuje
powiązania wkładki stalowej z murem sztywnym, ani usztywnienia zam-
ków ciernych, a co za tym idzie iluzoryczną współpracę obu kon-
strukcji. Dalszą konsekwencją tego postępowania jest projektowanie
grubości obudowy murowej jako ostatecznej, bez uwzględnienia zamu-
rowanych wkładek stalowych.

W związku z powyższym, przedmiotową obudowę jako technicznie nie-
uzasadnioną wyeliminowano z dalszych badań i rozważań teoretycz-
nych.

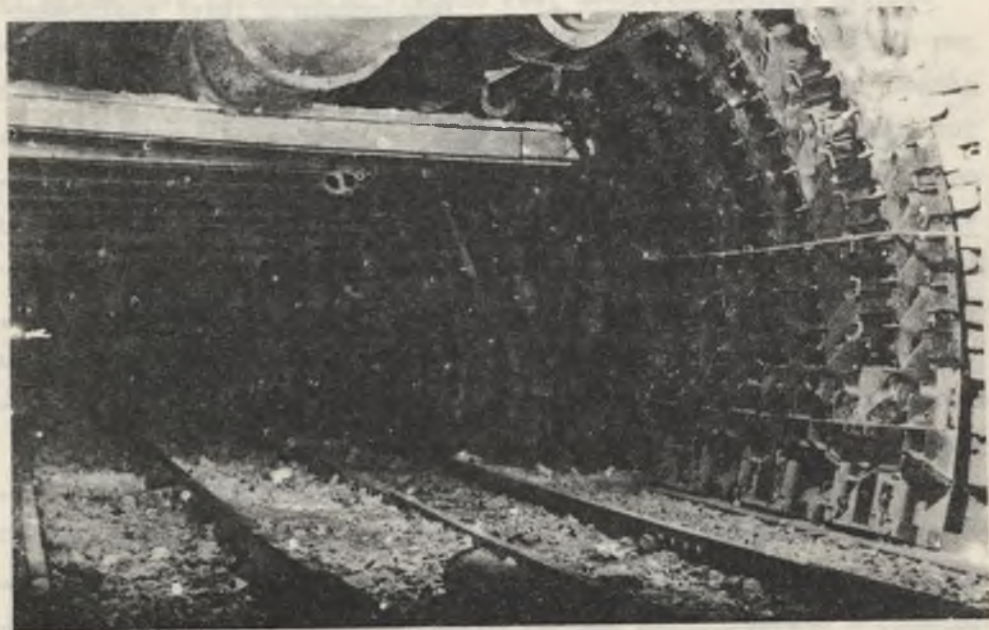
2.2. Obudowa kombinowana stalowo-betonowa

Obudowa stalowo-betonowa jest obecnie najczęściej stosowanym ty-
pem obudowy kombinowanej. Przeprowadzone pod koniec 1967 r. szcze-
gółowe rozeznanie wykazało, że przy jej wykorzystaniu obudowano
już ponad 50 różnego rodzaju wyrobisk korytarzowych, komorowych, a
nawet szybków. Stwierdzono ponadto, że obudowa tego typu aczkol-
wiek projektowana i wykonywana na tzw. wycucie, mimo upływu kilku
lat od jej zabudowania, w większości przypadków pracuje bez zarzu-
tu. Indywidualne przypadki zniszczenia stwierdzono jedynie tam,
gdzie nie przestrzegano przy jej wykonaniu elementarnego reżimu
technologicznego, bądź zastosowano nieuzasadniony schemat statycz-
ny.

Do roku 1968 obudowę stalowo-betonową wykonywano w sposób po-
dobny jak obudowę stalowo-murową. Wyrobisko drażone w obudowie po-
datnej ŁK z okładziną żelbetową o formacie nieco większym od wyma-
ganego, a następnie po upływie bliżej nieokreślonego czasu po za-
łożeniu odeskowania przestrzeni pomiędzy górotworem a odeskowaniem
wypełniano masą betonową przy użyciu łopat rzadziej podajnika pneu-

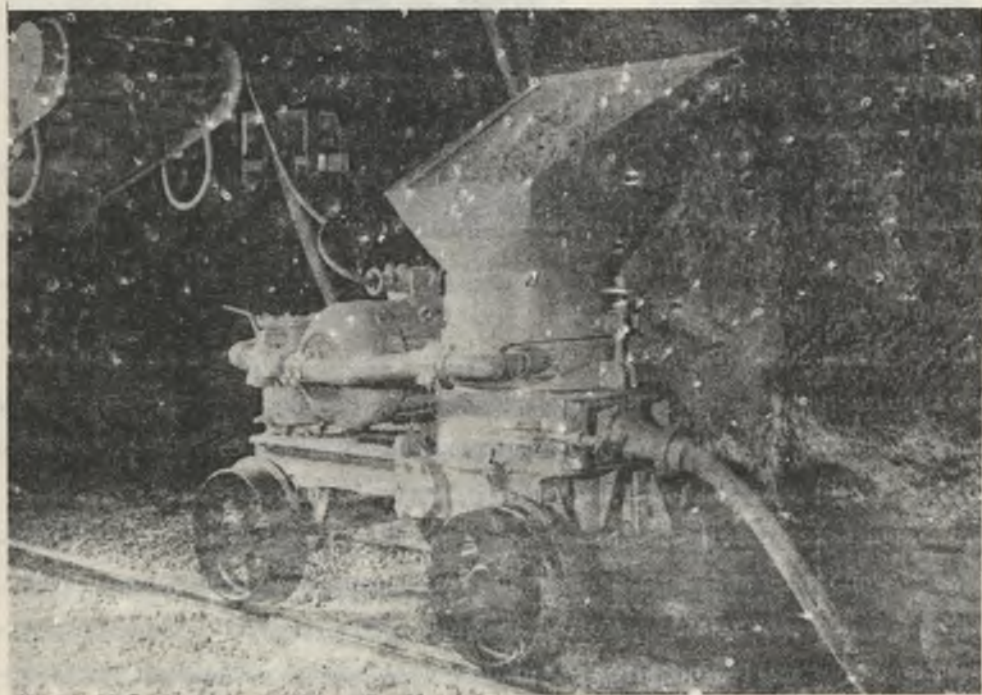


Rys. 1. Przekrój poprzeczny przekopu do szybu IV kop. 1 Maja



Rys. 2. Widok wyrobiska wykonywanego w obudowie stalowo-betonowej z zastosowaniem uniwersalnego odeskowania przesuwne

matycznego. Grubość układanej warstwy betonu nie była obliczana lecz zależała wyłącznie od stopnia zaciśnięcia obudowy tymczasowej i wymaganych gabarytów ostatecznych wyrobiska (rys. 1). Znaczny postęp w wykonywaniu tego rodzaju obudowy zanotowano w roku 1968, kiedy to w ZBiD-BG zostało skonstruowane i wprowadzone z powodzeniem tzw. uniwersalne odeskowanie przesuwane (rys. 2) oraz dołowy ciąg technologiczny do wytwarzania, transportu i układania masy betonowej, pozwalające na znaczne zmechanizowanie robót. Dalszym udoskonaleniem w tym kierunku, było wprowadzenie przez ten sam Zakład na skalę przemysłową wykonawstwa obudowy stalowo-betonowej przy użyciu betonu natryskowego (rys. 3). Sposób ten eliminuje odeskowania i umożliwia wypełnianie betonem o żądanej grubości obudowy przy dowolnym kształcie wyrobiska. Tak więc wprowadzenie betonu natrysko-



Rys. 3. Widok betoniarki natryskowej BN-4 proj. ZBiD-BG w wyrobisku wykonanym w obudowie kombinowanej stalowo-betonowej



Rys. 4. Widok fragmentu skrzyżowania wykonanego w obudowie kombinowanej stalowo-betonowej z zastosowaniem betonu natryskowego

wego pozwoliło poza uproszczeniem procesu betonowania, na znaczne rozszerzenie stosowalności tego rodzaju obudowy na wyrobiska komorowe, w tym skrzyżowania i rozgałęzienia (rys. 4).

W efekcie wypełnienia obudowy ŁK betonem zwykłym, czy natryskowym, powstaje pewien rodzaj konstrukcji zespolonej z betonem zbrojonego stalowymi wkładkami sztywnymi, o nieznanym bliżej parametrach wytrzymałościowych. Beton wypełniający, dzięki przyczepności do wkładek stalowych (ŁK) usztywnia obudowę dotychczas podatną, jednakże w stopniu bliżej nieznanym.

Modularne rozmieszczenie odrzwi ŁK (wkładki stalowych) w betonie wypełniającym, pozwala na wyodrębnienie w obudowie stalowo-betonowej powtarzających się wielokrotnie odcinków "elementarnych" z których każdy składa się z wkładki stalowej, przynależnej części okładzin górniczych oraz oblewającego je betonu monolitycznego. Ta prawidłowość pozwala na pewne uproszczenie postawionego zadania, a mianowicie sprowadzenia całości koniecznych badań i rozważań teoretycznych zmierzających do określenia parametrów wytrzymałościowych obudowy stalowo-betonowej do wyznaczenia tych wielkości w odniesieniu do pewnego rodzaju "odcinka" elementarnego obudowy.

W przedmiotowym "odcinku elementarnym" nie znamy bliżej wpływu grubości i szerokości warstwy betonu wypełniającego na jego wytrzymałość.

W zaobserwowanym układzie nieznane jest zachowanie się i praca zamków, podobnie zresztą jak nie znamy bliżej optymalnego dla danych warunków geologiczno-górniczych czasu po upływie którego najkorzystniej jest zabetonować łuki. Ponadto stwierdzono, że wykonywana w chwili obecnej obudowa stalowo-betonowa posiada jeszcze wiele niedociągnięć natury konstrukcyjnej i technologicznej.

Kompleksowa analiza techniczno-ekonomiczna istniejącego stanu w zakresie trwałych obudów wykonywanych w wyrobiskach korytarzowych i komorowych pozwala jednak stwierdzić, że mimo wspomnianych wyżej braków i niedociągnięć obudowa stalowo-betonowa stanowi kierunek postępowy, gdyż jest znacznie trwalsza i tańsza od obudów murowych z cegły czy betonitów, i co najważniejsze pozwala na osiągnięcie znacznie większych postępów przy drażeniu tych wyrobisk.

Mając na uwadze dynamiczny rozwój mechanizacji procesów wykonywania tej atrakcyjnej obudowy dalsze jej zastosowanie, oraz szeroka popularyzacja została uzależniona od opracowania odpowiednich podstaw naukowych dla optymalizacji rozwiązań konstrukcyjnych oraz

technologicznych. W związku z powyższym należało przeprowadzić kompleksowe badania nad określeniem parametrów wytrzymałościowych tego typu konstrukcji i w oparciu o te wyniki opracować odpowiednie normatywy oraz wytyczne technologii wykonania.

Badania te przeprowadzono pod kierunkiem autora a ich zakres, metodyka, uzyskane wyniki przedstawiono w kolejnych rozdziałach niniejszej pracy.

2.3. Dotychczasowe sposoby obliczania grubości obudowy kombinowanej stalowo-betonowej

Na podstawie przeprowadzonego rozeznania stwierdzono, że zrealizowane dotychczas obudowy kombinowane stalowo-betonowe nie były obliczane. Wyjątek stanowią dwa przypadki, a mianowicie:

- wyrobiska chodnikowe w rejonie szybów I i II na poziomie 500 kop. Staszic,
- przekop do szybu IV i od tegoż szybu na zbicie oraz przekop północny poziom 410 kop. 1-go Maja (rys. 1),

dla których to zostały opracowane ekspertyzy przez samodzielnych pracowników naukowych AGH i Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej. Przedmiotowe ekspertyzy i oparte na nich publikacje [10] [16] [15] stanowiły dotychczas jedyną podstawę naukową dla Urzędu Górniczego, projektantów, a niekiedy i wykonawców.

Analizując bliżej wymienione wyżej ekspertyzy stwierdzono, że każda z nich została opracowana dla indywidualnego przypadku konkretnego rozwiązania. Zasadnicze stwierdzenia obwarowane zresztą szeregiem postulatów, oparto głównie na wizji lokalnej, rozeznaniu warunków geologiczno-górniczych oraz rozważaniach czysto teoretycznych. Badań uzupełniających nad określeniem parametrów wytrzymałościowych konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych w żadnym z rozpatrywanych przypadków nie prowadzono.

Jak z powyższego wynika, przytoczone tutaj ekspertyzy oraz oparte na nich publikacje nie pozwalają na szersze uogólnienia i w związku z tym stanowią jedynie przyczynek do rozwiązywanego zagadnienia.

Studia literatury krajowej [2] [5] [24] [27] i zagranicznej [13] [14] [31] [33] [44] z zakresu projektowania i badań konstrukcji betonowych zbrojonych wkładkami sztywnymi pozwalają stwierdzić, że badań nad konstrukcjami zbrojonymi wkładkami w postaci łuków korytkowych nie prowadzono, zaś zalecane do ewentualnego zastosowania przez analogię wzory oparte głównie na rozważaniach teoretycznych dotyczące betonów zbrojonych prostymi wkładkami w postaci dwuteowników nie gwarantują uzyskania w obliczeniach wymaganej dokładności (współpraca wkładki sztywnej w postaci prostego dwuteownika z betonem znacznie odbiega od analogicznej współpracy wkładki zakrzywionej o przekroju w postaci łuku korytkowego).

W związku z powyższym stwierdzono, że dla dalszego prawidłowego rozpowszechnienia obudowy kombinowanej stalowo-betonowej istnieje również pilna potrzeba opracowania odpowiednich naukowych podstaw projektowych. Z uwagi na nowość zagadnienia opracowanie przedmiotowych podstaw wymagało przeprowadzenia wszechstronnych badań teoretycznych, i modelowych.

Badania takie przeprowadzono, a ich zakres, metodyka, ciekawsze wyniki, wnioski oraz sama metodyka projektowania zostały przedstawione w kolejnych punktach niniejszej rozprawy.

3. CEL, ZAKRES PRACY I ZAŁOŻENIA

3.1. Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest określenie parametrów wytrzymałościowych oraz opracowanie na drodze teoretyczno-badawczej naukowych podstaw dla projektowania i technologii wykonania układu otwartego obudowy kombinowanej stalowo-betonowej wyrobisk korytarzowych i komorowych.

3.2. Zakres pracy

Badaniami objęto kilkadziesiąt obudowanych tym sposobem wyrobisk górniczych, a następnie w oparciu o uzyskane wyniki zaprogramowano i wykonano kompleksowe badania teoretyczne, laboratoryjne i modelowe nad określeniem parametrów wytrzymałościowych zamodelowanych:

- konstrukcji prostych w postaci pryzmatycznych prętów stalowych i stalowo-betonowych,
- konstrukcji przestrzennych zakrzywionych w postaci zestawów odcinków "elementarnych" obudowy stalowo-betonowej,

przy założeniu kilku podstawowych schematów obciążeń. Każde z wymienionych wyżej badań poprzedziła szczegółowa analiza teoretyczna, którą wyrefikowano na bieżąco wynikami uzyskanymi na modelach. Dopiero tak zebrane wyniki pozwoliły na przeprowadzenie właściwych rozważań teoretycznych i opracowanie ostatecznej metodyki projektowania obudowy stalowo-betonowej zarówno dla wersji z betonem natryskowym, jak i wykonywanej z betonu tradycyjnego.

Doświadczenia praktyczne zdobyte w trakcie badań dołowych i obserwacji przeprowadzonych w czasie wykonywania przedmiotowych obudów, poparte wynikami z badań laboratoryjnych i modelowych nad ich parametrami wytrzymałościowymi, dały podstawę do opracowania wytycznych odnośnie technologii wykonania.

Opracowanie finalne posłuży do wykonania wzorcowych projektów technicznych i technologicznych obudowy stalowo-betonowej dla zasadniczych grup wyrobisk górniczych przy najczęściej spotykanych warunkach geologiczno-górniczych w których ona może lub powinna być zastosowana.

3.3. Założenia

Przy rozwiązywaniu postawionego zadania przyjęto szereg założeń, z których najważniejsze to:

1. Do rozważań teoretycznych i badań modelowych przyjęto jako zasadniczy układ otwarty obudowy ŁK. Powyższe przyjęcie było podyktowane faktem zupełnej supremacji tego rodzaju obudowy na naszych kopalniach (stosowane w 95%). Układy zamknięte obudowy z łuków korytkowych znajdują zastosowanie jedynie w sporadycznych przypadkach i są produkowane na specjalne zlecenie wykonawcy.

2. Ponieważ odrzwia ŁK wraz z okładzinami i betonem wypełniającym są zwykle osadzone w płytkich gniazdach wykonanych w spągu wyrobiska, istnieje możliwość obrotu w punktach podparcia bez możliwości przesuwu poziomego. Takiemu podparciu odpowiada łożysko przegubowe nieprzesuwne. W związku z powyższym w rozważaniach teoretycznych zrealizowaną obudowę traktowano jako łuk dwuprzegubowy o przegubach stałych.

3. Obudowa stalowo-betonowa jest najchętniej stosowana na objazdach szybów na skrzyżowaniach oraz w trudnych warunkach geologicznych tj. w strefach uskokowych, zaburzeń tektonicznych i w skałach pęczniejących, wreszcie przy występowaniu ciśnień dynamicznych. Wyrobiska podszybia o dużych przekrojach są z reguły lokalizowane w stosunkowo-korzystnych warunkach geologicznych. Pozostałe warunki (trudne) odzwierciedla najlepiej teoria Cimbarriewicza. Według niej w przypadku przekroczenia wytrzymałości skał na ściskanie wokół wyrobiska wytwarza się obszar spękań, któ-

ry wywiera wszechstronny nacisk na obudowę. Mając na uwadze przedstawione wyżej warunki przy ustalaniu metodyki projektowania przyjęto jako mniej korzystny schemat obciążeń wg. tej właśnie teorii.

4. Z zagadnieniem zastosowania obudowy stalowo-betonowej w warunkach występowania ciśnień dynamicznych wiąże się potrzeba wyznaczenia na drodze teoretyczno-badawczej wielkości żądanego przemieszczenia (wyłomu wyrobiska) i czasu pracy obudowy ŁK przed jej ostatecznym zabetonowaniem.

Ze względu na duży zakres pracy przedmiotowe zagadnienia zostaną w niej potraktowane jedynie marginesowo i będą stanowiły przedmiot odrębnego opracowania.

4. BADANIA NAD OKREŚLENIEM PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH PODSTAWOWYCH SKŁADNIKÓW ORAZ KONSTRUKCJI OBUDOWY KOMBINOWANEJ STAŁOWO-BETONOWEJ

4.1. Badania i obserwacje zrealizowanych obudów kombinowanych stalowo-betonowych

Zasadniczym celem przedmiotowych badań było zebranie wyczerpujących informacji o budowie, technologii wykonania oraz parametrach wytrzymałościowych konstrukcji i zachowaniu się wykonanych dotychczas obudów kombinowanych stalowo-betonowych. W tym celu wykonano:

- szczegółową kontrolę istniejącego stanu oraz dokumentacji zrealizowanych obudów stalowo-betonowych na 35 tego rodzaju obiektach,
- odtworzenia w oparciu o dokumentację, lokalne odkrycie i obserwacje rzeczywistej budowy zrealizowanych konstrukcji,

- kompleksowe badania nad określeniami rzeczywistej wytrzymałości i stopnia jednorodności betonu wypełniającego.

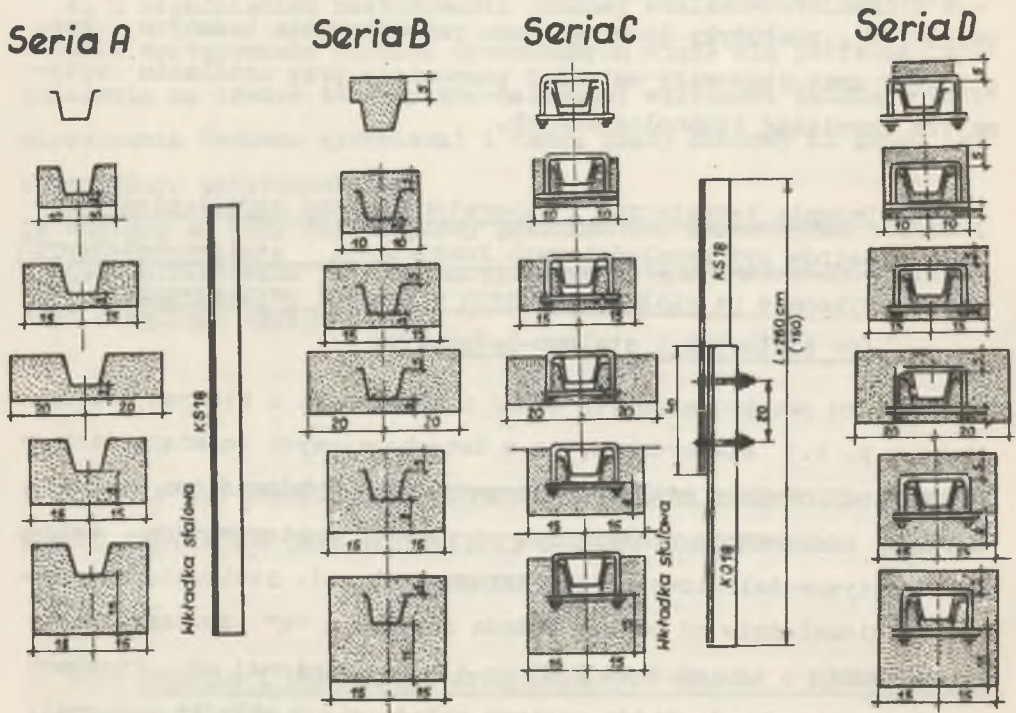
Zebrane tym sposobem wyniki badań i informacje, opublikowane w pracy [32], posłużyły do właściwego zamodelowania badanych konstrukcji oraz stanowiły materiał pomocniczy przy ustalaniu optymalnych rozwiązań technologicznych.

4.2. Badania teoretyczne i laboratoryjne nad określeniem parametrów wytrzymałościowych konstrukcji stalowo-betonowych wykonane na ciałach próbnych w postaci pryzmatycznych prętów stalowych i stalowo-betonowych

W wyniku przeprowadzonych badań i obserwacji o których wspomniano w p. 4.1 stwierdzono, że w dotychczasowych rozwiązaniach o budowy kombinowanej stalowo-betonowej można wyróżnić dwa zasadnicze typy konstrukcji uzależnione od rodzaju zastosowanych okładzin (sztywne-żelbetowe bądź podatne-siatkowe). Stwierdzono ponadto, że niezależnie od budowy składa się ona z "n" powtarzających się odcinków o długości od 0,25 do 1 m uzależnionej od rozstawu zabudowanych odrzwi. Każdy odcinek składa się z wkładki stalowej, założonych od strony górotworu okładzin górniczych i oblewającego je betonu wypełniającego.

Wstępne badania teoretyczne podstawowego układu (układ otwarty) obudowy kombinowanej wykazały jednoznacznie, że przy spotykanych schematach obciążeń może ona być narażona na zginanie i to momentem o znakach dodatnim oraz ujemnym, może być ściskana mimośrodowo, a w szczególnych miejscach może w niej wystąpić czyste ściskanie osiowe.

Mając powyższe na uwadze dla określenia parametrów wytrzymałościowych tego rodzaju konstrukcji, przeprowadzono pełne badania laboratoryjne na belkach pryzmatycznych których długość oraz parametry przekroju poprzecznego przedstawiono na rysunku 5.

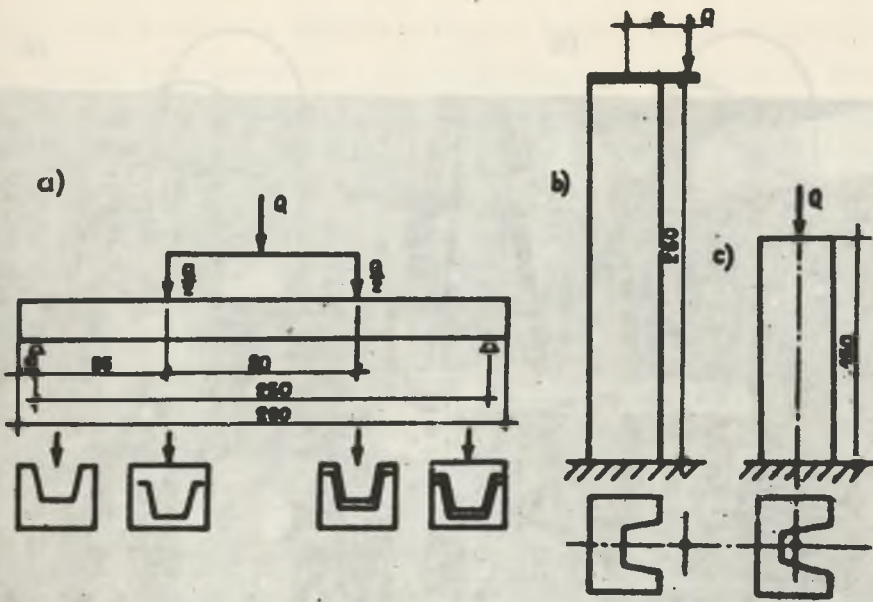


Rys. 5. Przekroje poprzeczne oraz gabaryty zewnętrzne przyjętych do badań konstrukcji stalowo-betonowych elementów serii A - D

Elementy obudowy zamodelowane w skali naturalnej poddano zginaniu, mimośrodowemu ścisnaniu i osiowemu ścisnaniu wg schematów pokazanych na rysunku 6.

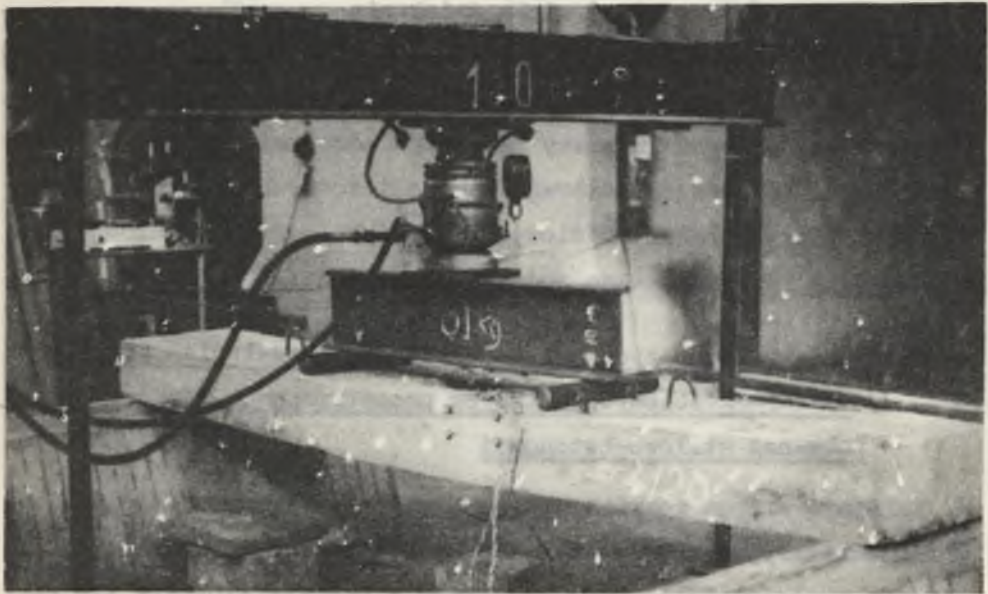
Stanczyko do badania ciał próbnych na zginanie przedstawiono na rysunku 7 zaś, na mimośrodoie ścisnaniu na rysunku 8.

Przeprowadzone badania podstawowe, teoretyczne i laboratoryjne nad określeniem parametrów wytrzymałościowych konstrukcji stalowo-betonowych wykonano na ciałach próbnych w postaci pryzmatycz-

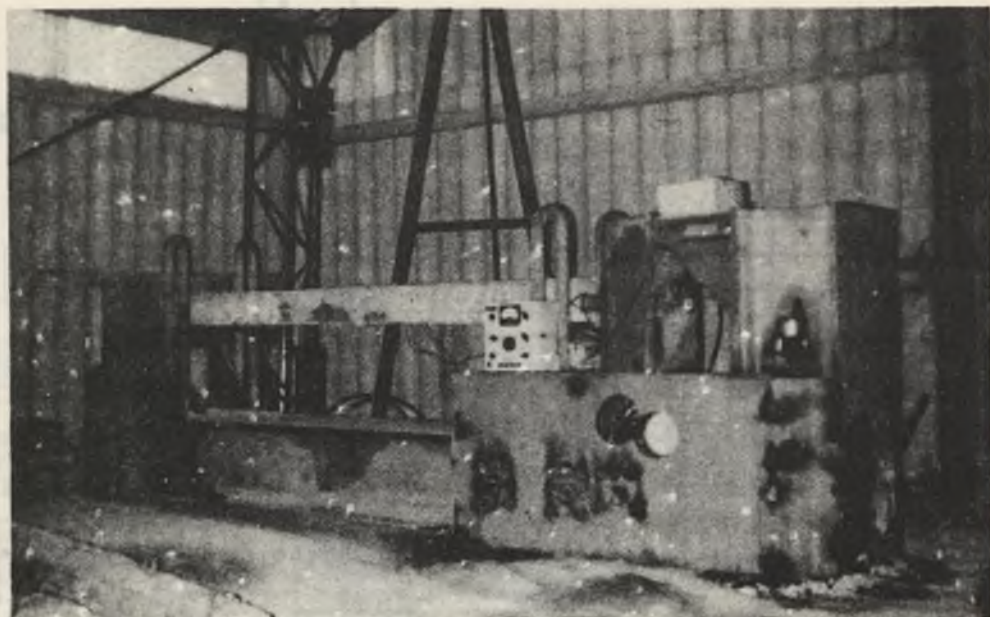


Rys. 6. Podstawowe schematy obciążeń przyjęto do badań laboratoryjnych

a - zginanie, b - ściskanie mimośrodowe, c - ściskanie osiowe



Rys. 7. Widok stanowiska do badań elementów konstrukcji stalowo-betonowych na zginanie

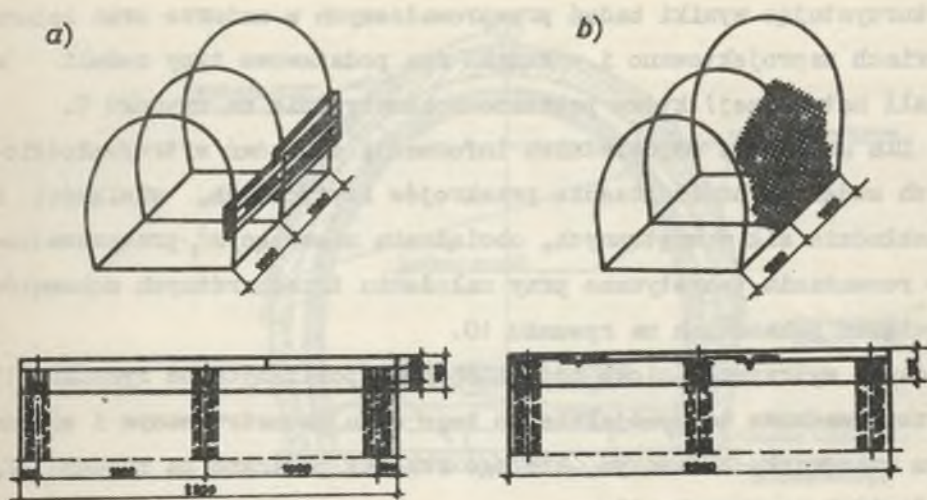


Rys. 8. Widok stanowiska do badań elementów stalowo-betonowych na mimośrodowe ściskanie

nych prętów stalowych i stalowo-betonowych, które omówiono szczególnie w pełnym wydaniu pracy [43] oraz odnośnej publikacji [33], pozwoliły na wysunięcie szeregu bardzo istotnych wniosków dotyczących dalszych badań modelowych, metodyki projektowania oraz technologii wykonania tego rodzaju konstrukcji.

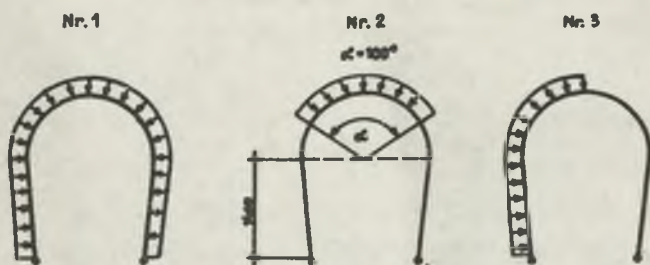
4.3. Badania teoretyczne i modelowe nad określeniem parametrów wytrzymałościowych ustrojów przestrzennych obudowy kombinowanej stalowo-betonowej

Kolejnym etapem rozwiązywanego problemu było przejście od badań laboratoryjnych konstrukcji prostych do badań modelowych ustrojów przestrzennych jakie spotykamy w rzeczywistości. W tym celu



Rys. 9. Schematy ideowe podstawowych modeli obudowy oraz ich przekroje podłużne

a - model "A" z prefabrykowanymi okładzinami żelbetowymi, b - model "B" z okładzinami siatkowymi typu "Mawo"

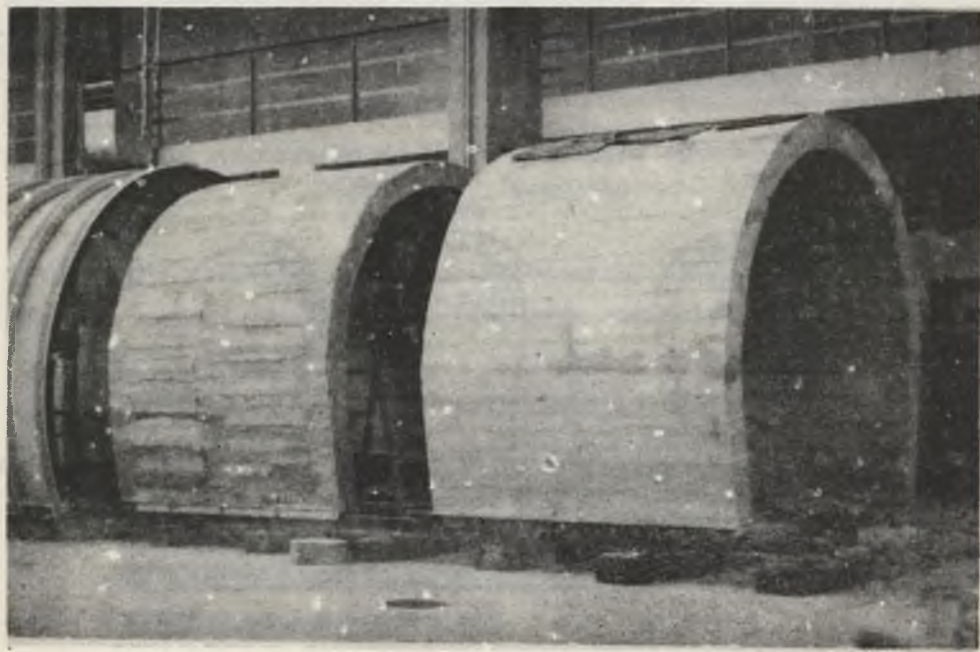


Rys. 10. Założone schematy obciążeń do badań teoretycznych modeli obudowy

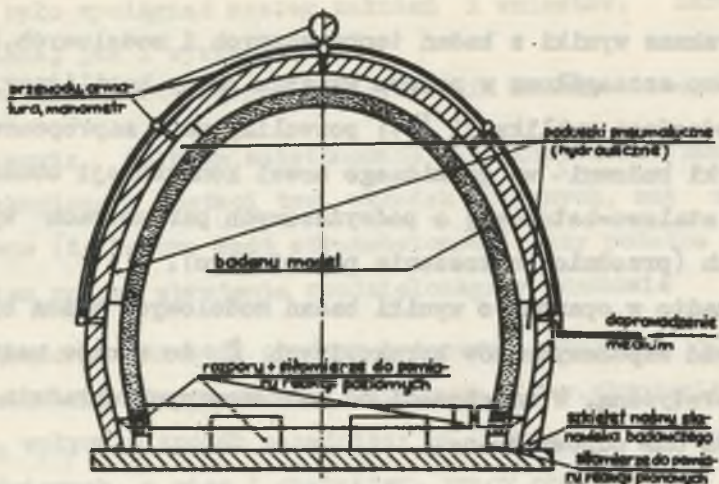
wykorzystując wyniki badań przeprowadzonych w naturze oraz laboratoriach zaprojektowano i wykonano dwa podstawowe typy modeli (w skali naturalnej) które pokazano schematycznie na rysunku 9.

Dla uzyskania odpowiednich informacji do badań wytrzymałościowych modeli (rozmyśczeniu przekrojów krytycznych, wielkości i rozkładzie sił wewnętrznych, obciążeniu niszczącym), przeprowadzono rozważania teoretyczne przy założeniu trzech różnych schematów obciążeń pokazanych na rysunku 10.

Badania wytrzymałościowe modeli obudowy pokazanych na rysunku 11 przeprowadzono na specjalnie do tego celu skonstruowanym i wykonanym stanowisku badawczym, którego schemat pokazano na rysunku 12, zaś widok na rysunku 13.



Rys. 11. Widok modeli obudowy kombinowanej stalowo-betonowej



Rys. 12. Schemat ideowy stanowiska do badań modeli obudowy



Rys. 13. Widok stanowiska badawczego w trakcie przeprowadzenia pomiarów

Uzyskane wyniki z badań teoretycznych i modelowych, które przedstawiono szczegółowo w pełnym wydaniu pracy habilitacyjnej [43] oraz odnośnej publikacji [34] pozwoliły na zaproponowanie dla praktyki budownictwa górniczego nowej konstrukcji obudowy kombinowanej stalowo-betonowej o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych (przedmiot zgłoszenia patentowego).

Ponadto w oparciu o wyniki badań modelowych można było ustalić wielkość współczynników korekcyjnych ξ do wzorów ustalonych drogą teoretyczną. W zależności od zastosowanych okładzin górniczych wynoszą one odpowiednio:

- okładziny żelbetowe - $\xi = 1,2$
- okładziny siatkowe MM - $\xi = 1,5$
- okładziny siatkowe typu "Mawo" - $\xi = 1,6$.

5. PODSTAWY TEORETYCZNE DLA PROJEKTOWANIA I WYTYCZNE W ZAKRESIE WYKONAWSTWA OBUDOWY KOMBINOWANEJ STALOWO-BETONOWEJ

5.1. Metodyka projektowania układów otwartych obudowy betonowej zbrojonej regularnie rozmieszczonymi wkładkami w postaci łuków korwtkowych

5.1.1. W p r o w a d z e n i e

Przeprowadzone w ramach rozdziału 4 wszechstronne badania środowiskowe, teoretyczne, laboratoryjne i modelowe zarówno konstrukcji, jak i samej obudowy stalowo-betonowej, pozwoliły bliżej określić jej parametry wytrzymałościowe. Wielkości określane drogą teoretyczną konfrontowano każdorazowo poprzez odpowiednie zaprogramowane badania w skali naturalnej, a zaobserwowane rozbieżności, poddano szczegółowej analizie. W oparciu o uzyskane tą drogą

wyniki można było wyciągnąć szereg założeń i wniosków, zarówno do projektowania, jak i wykonawstwa.

Do najciekawszych dotyczących projektowania można zaliczyć:

- Zgodnie z teorią żelbetu zabetonowane łuki korytkowe stanowią zbrojenie skupione w postaci tzw. wkładek sztywnych, zaś okładziny sztywne (żelbetowe bądź strunobetonowe), czy podatne siatkowe), pewien rodzaj zbrojenia rozdzielczego w obudowie
- Wprowadzenie do konstrukcji obudowy betonowej zbrojenia "głównego" w postaci stalowych wkładek sztywnych : tzw. zbrojenia rozdzielczego, wpływa w sposób zasadniczy na poprawę parametrów wytrzymałościowych, a więc i charakter pracy obudowy jako całości. Wpływ ten jak to wykazały badania jest w dużym stopniu uzależniony od rodzaju zbrojenia rozdzielczego i związanego z nim stopnia wypełnienia konstrukcji (otulenia korytka).
- Właściwe wypełnienie betonem przestrzeni pomiędzy wkładkami sztywnymi (oblanie okładzin), gwarantuje uzyskanie konstrukcji zdolnej do przeniesienia obciążeń górniczych na same wkładki.
- Wprowadzone do obudowy betonowej zbrojenie zwiększa w sposób istotny odporność konstrukcji na zarysowanie i zginanie, zaś zarysowanie konstrukcji obudowy (pomijając zmniejszenie odporności zbrojenia na wpływy agresji) nie oznacza stanu jej zniszczenia. W momencie pęknięcia otuliny betonowej naprężenia przejmuje zbrojenie.
- Badania wykazały, że przyjmowany w normatywach projektowania trwałej obudowy górniczej warunek dotyczący konieczności zachowania przebiegu linii ciśnień w rdzeniu przekroju, w przypadku właściwie wykonanej obudowy kombinowanej stalowo-betonowej nie musi być przestrzegany.

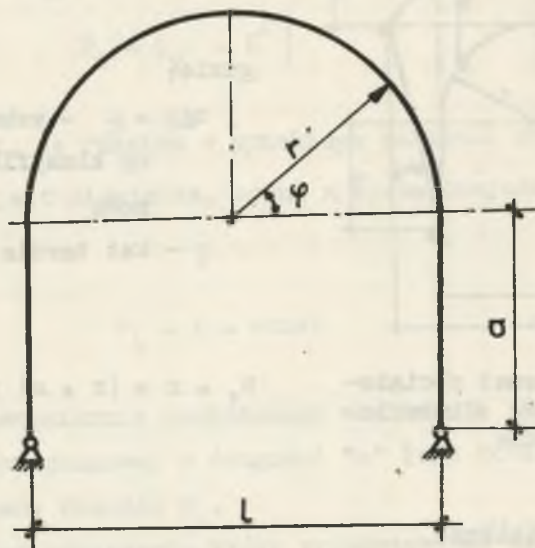
- Właściwe wypełnienie upodatniających obudowę ŁK zamków ciernych betonem gwarantuje ich dostateczne usztywnienie, co za tym idzie pozwala na traktowanie ich w obliczeniach jako wkładek ciągłych.
- Zastosowanie do projektowania obudowy kombinowanej stalowo-betonowej metodyki projektowania wykorzystanej do kontroli badań modelowych (p. 4.3) po wprowadzeniu odpowiednich modyfikacji zagwarantuje uzyskanie na jej podstawie w praktyce górniczej konstrukcji z odpowiednim zapasem bezpieczeństwa.
- Obniżenie stopnia bezpieczeństwa do wielkości praktycznych zabezpieczających przewymiarowanie konstrukcji można uzyskać stosując odpowiednie zaproponowane w p. 4.3 współczynniki zmniejszające.

Przyjmując powyższe założenia można było przystąpić do ustalenia metodyki projektowania obudowy betonowej zbrojonej regularnie rozmieszczonymi wkładkami stalowymi w postaci żuków korytkowych.

5.1.2. S c h e m a t s t a t y c z n y

Jak to już wspomniano na wstępie, stosowana w krajowym budownictwie podziemnym obudowa ŁK (na której w głównej mierze oparto obudowę kombinowaną) to w 99% układy otwarte. Odrzwia stalowe po wypełnieniu betonem umieszczone są zwykle w płytkich gniazdkach, a więc istnieje w punktach podparcia możliwość obrotu bez możliwości przesuwu poziomego (zagłębienie + docisk i tarcie). Takiemu podparciu odpowiada łożysko przegubowe nieprzesuwne. Zatem zrealizowaną obudowę stalowo-betonową można traktować jako żuk dwuprzegubowy.

W celu uproszczenia zapisu matematycznego faktyczny kształt obudowy zastąpiono łukiem posiadającym pionowe odcinki proste o długości "a" i półkole o promieniu $r \approx \frac{1}{2}$ (rys. 14).



Rys. 14. Schemat układu zastępczego obudowy kombinowanej r - promień zastępczy sklepienia obudowy
 a - odcinek pionowy

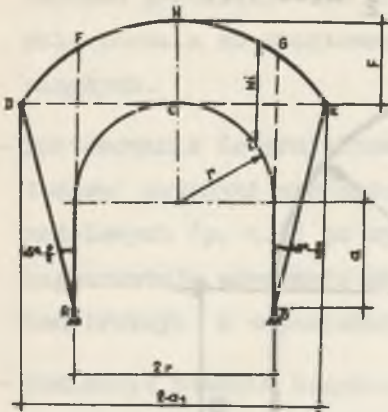
5.1.3. Schemat obciążenia

Obudowa stalowo-betonowa stosowana jest najczęściej na objazdach szybów, dworcach kopalnianych, na chodnikach wodnych oraz w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych tj. w strefach uskokuwych, zaburzeń tektonicznych itp. Te ostatnie odzwierciedla najlepiej teoria Cimbariewicza.

Wg niej w przypadku przekroczenia wytrzymałości skał na ściskanie wytwarza się wokół wyrobiska obszar spękań który wywiera wszechstronny nacisk na obudowę. Obszar spękany ograniczony jest od góry parabolą drugiego stopnia a z boku powierzchniami odłamami AD i BE (rys. 15).

Wysokość paraboli

$$f = \frac{a_1}{\operatorname{tg} \varrho}, \quad (1)$$



gdzie:

$\operatorname{tg} \varrho = \mu$ - wskaźnik zwięzłości
wg klasyfikacji Protodiako-
nowa

ϱ - kąt tarcia wewnętrznego

Rys. 15. Schemat obciążenia obudowy wg Cimbariewiczza

$$a_1 = r + (r + a) \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2} \right) \quad (2)$$

oznaczając wielkość

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

otrzymamy

$$a_1 = r (1 + K) + a \cdot K$$

W punkcie "i" działa na obudowę ciśnienie pionowe

$$p_y = \gamma \cdot w_i$$

i ciśnienie poziome

$$p_x = \gamma \cdot w_1 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2} \right) = \gamma \cdot w_1 \cdot K^2$$

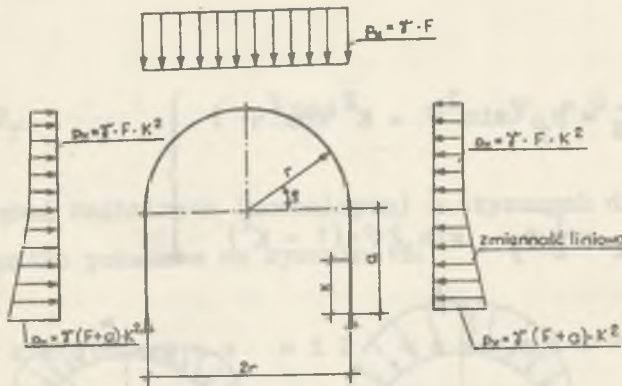
zatem

$$\left. \begin{aligned} p_y &= \gamma \cdot w_1 \\ p_x &= p_y \cdot K^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Uwzględniając fakt, że różnica w przebiegu paraboli obciążenia od kształtu obudowy jest niewielka, można z wystarczającą dokładnością przyjąć że:

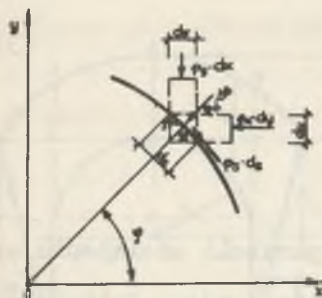
$$w_i = f = \text{const}$$

co prowadzi do równomiernie rozłożonego obciążenia pionowego na obudowę. Dla części pionowej o długości "a" łuku konieczne jest uwzględnienie zmiany rzędnej w_1 .
W efekcie otrzymamy obciążenia które przedstawiono na rysunku 16.



Rys. 16. Schemat obciążenia zastępczego obudowy kombinowanej

Działające obciążenie dogodniej jest zastąpić składowymi; normalną i styczną do osi łuku, co przedstawiono na rys. 17 i 18.



Na tej podstawie można wyprowadzić następujące zależności

$$p_N \cdot ds = p_y \cdot dx \cdot \sin \varphi +$$

$$+ p_x \cdot dy \cdot \cos \varphi$$

$$p_S \cdot ds = p_y \cdot dx \cdot \cos \varphi -$$

$$- p_x \cdot dy \cdot \sin \varphi$$

Rys. 17. Przejście z prostokątnego układu współrzędnych na współrzędne biegunowe

dzieląc obustronnie przez ds i podstawiając za:

$$\frac{dx}{ds} = \sin \varphi$$

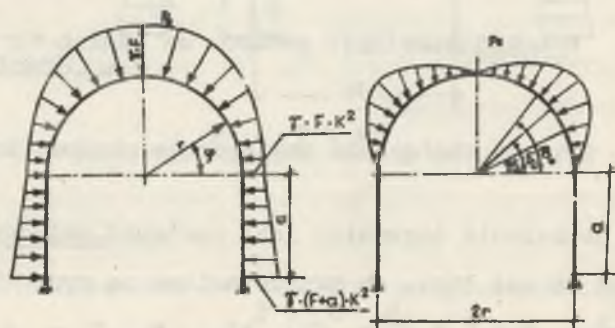
$$\frac{dy}{ds} = \cos \varphi$$

$$p_x = p_y \cdot K^2$$

otrzymamy

$$\left. \begin{aligned} p_N &= p_y (\sin^2 \varphi + K^2 \cos^2 \varphi) \\ p_S &= \frac{1}{2} p_y \cdot \sin 2\varphi \cdot (1 - K^2) \end{aligned} \right\}$$

(4)



Rys. 18. Schemat obciążeń radialnych p_N i stycznych p_S działających na obudowę

Ponadto dla obciążeń stycznych przyjęto znak (+) przy działaniu siły w dół łuku oraz znak (-) przy działaniu siły w kierunku przeciwnym.

Wartości składowych obciążeń dla charakterystycznych przekrojów zestawiono poniżej w tabelicy

przekrój składowa	x = 0 $\varphi = 0^\circ$	x = a $\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 45^\circ$	$\varphi = 60^\circ$	$\varphi = 90^\circ$
P_N	$\gamma(F+a)K^2$	$\gamma \cdot F \cdot K^2$	$\gamma \cdot F(0,25+0,75K^2)$	$\gamma \cdot F(0,5+0,5 \cdot K^2)$	$\gamma \cdot F(0,75+0,25K^2)$	$\gamma \cdot F$
P_S	0	0	$\frac{\sqrt{3}}{4} \gamma \cdot F(1-K^2)$	$\frac{1}{2} \gamma \cdot F(1-K^2)$	$\frac{\sqrt{3}}{4} \gamma \cdot F(1-K^2)$	0

Wartość współczynnika K waha się w granicach od zera do jedności K = 1 występuje w przypadku gdy kąt tarcia wewnętrzznego ośrodka $\varrho = 0^\circ$ co odpowiada ośrodkowi ciekłemu (np. woda).

Wówczas

$$P_N^r = p_y$$

zaś

$$p_s = 0.$$

Wykres naprężeń radialnych (normalnych) i stycznych dla rozpatrywanego przypadku pokazano na rysunku 18.

5.1.4 Określenie sił wewnętrznych

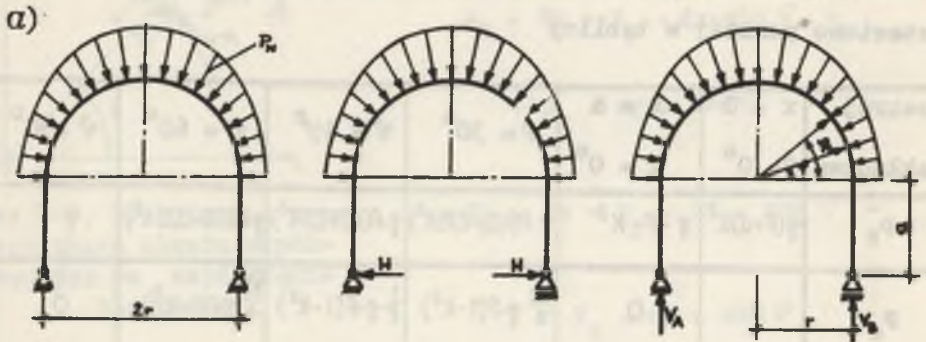
1. Określenie siły rozporu łuku

a) Od obciążeń radialnych działających na część kołową obudowy. Wykorzystując metodę sił na rysunku 19 a, przedstawiono układ rzeczywisty zastępczy i pomocniczy P_0 .

Układ rzeczywisty

Układ zastępczy

Układ pomocniczy



Rys. 19. Kolejne etapy określania wielkości wewnętrznych (M, N, H) w obudowie

a - od obciążeń radialnych działających na część kołową

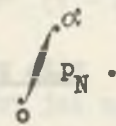
Układ pomocniczy P

$$V_A = \int_{0^\circ}^{90^\circ} p_N \cdot ds \cdot \sin \varphi = \int_{0^\circ}^{90^\circ} p_y (\sin^2 \varphi + K^2 \cos^2 \varphi) \cdot \sin \varphi \cdot r \, d\varphi$$

$$V_A = \int_{0^\circ}^{90^\circ} p_y \cdot r / \sin^3 \varphi + K^2 \sin \varphi \cos \varphi / d\varphi = p_y \cdot r \cdot$$

$$\left[-\cos \varphi + \frac{\cos^3 \varphi}{3} - \frac{K^2}{3} \cos^3 \varphi \right]_{0^\circ}^{90^\circ}$$

$$V_A = \frac{p_y \cdot r}{3} (2 + K^2)$$

$$M_{\alpha} = V_A \cdot r(1 - \cos \alpha) - \int_0^{\alpha} p_N \cdot ds \cdot \sin(\alpha - \varphi)$$


$$M_{\alpha} = \frac{p_y \cdot r^2}{2} (2 + K^2) (1 - \cos \alpha) - \int_0^{\alpha} p_y (\sin^2 \varphi + K^2 \cos^2 \varphi) \sin(\alpha - \varphi) \cdot r^2 d\varphi$$

Po całkowaniu i podstawieniu granic otrzymamy

$$M_{\alpha} = \frac{p_y \cdot r^2}{3} (2 + K^2) (1 - \cos \alpha) - p_y \cdot r^2 \left[\frac{\sin^4 \alpha}{3} + K^2 \sin^2 \alpha - \frac{\sin^4 \alpha}{3} \cdot K^2 + \cos^2 \alpha - \frac{\cos 4\alpha}{3} + \frac{\cos^4 \alpha}{4} K^2 - \cos \alpha + \frac{\cos \alpha}{3} - \frac{\cos \alpha}{3} \cdot K^2 \right]$$

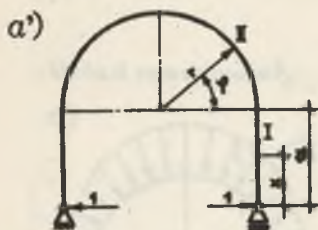
uwzględniając że:

$$\sin^4 \alpha - \cos^4 \alpha + \overbrace{(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)}^{=1} (\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha)$$

Po podstawieniu uporządkowaniu i redukcji otrzymamy proste równanie:

$$M_{\alpha} = \frac{p_y \cdot r^2}{3} (1 - K^2) \cdot \sin^2 \alpha \quad (6)$$

Układ pomocniczy P_1 (rys. 19a)



Rys. 19a'. Kolejne etapy określania wielkości wewnętrznych (M, N, H) w obudowie

Dla tego układu w przedziale I $M_1 = +x$
w przedziale II $M_1 = +(a + r \sin \varphi)$

Siła rozporu H

$$H = - \frac{\sum \int \frac{M_0 \cdot M_1 \cdot ds}{EJ}}{\sum \int \frac{M_1^2 \cdot ds}{EJ}}$$

$$\sum \int \frac{M_1^2 \cdot ds}{EJ} = 2 \int_0^a \frac{x^2 \cdot ds}{EJ} + 2 \int_0^{90^\circ} (a + r \sin \varphi)^2 \cdot \frac{r \cdot d\varphi}{EJ} =$$

$$= \frac{2}{EJ} \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^a + r \int_0^{90^\circ} (a^2 + 2a \cdot r \sin \varphi + r \sin^2 \varphi) \cdot d\varphi$$

po dalszym całkowaniu podstawieniu granic i redukcji otrzymamy

$$\sum \int \frac{M_1^2 \cdot ds}{EJ} = \frac{2}{EJ} \left(\frac{a^3}{3} + 1,57 r \cdot a^2 + 2ar^2 + 0,78 r^3 \right)$$

oznaczając $r = a \cdot \eta$ otrzymamy

$$\sum \int \frac{M_1 \cdot ds}{EJ} = \frac{2a^3}{EJ} (0,33 + 1,57 \eta + 2 \eta^2 + 0,78 \eta^3)$$

Podobnie po uporządkowaniu, całkowaniu podstawieniu granic i redukcji otrzymamy:

$$\sum \int \frac{M_0 \cdot M_1}{EJ} ds = \frac{2}{3} p_y \cdot r^3 (1 - K^2) (0,785 a + 0,667 r)$$

podstawiając wyrażenie na "r" jak uprzednio otrzymamy

$$\sum \int \frac{M_0 M_1}{EJ} ds = \frac{2}{3} \frac{p_y \cdot a^4}{EJ} (1 - K^2) \cdot \eta^3 (0,785 + 0,667 \eta)$$

stąd siła rozporu

$$H_1 = - \frac{+ \frac{2}{3} p_y \frac{a^4}{EJ} (1 - K^2) (0,785 + 0,667 \eta) \cdot \eta^3}{\frac{2 a^3}{EJ} (0,333 + 1,57 \eta + 2 \eta^2 + 0,785 \eta^3)}$$

$$H_1 = - \frac{p_y \cdot a (1 - K^2)}{3} \cdot \frac{\eta^3 (0,785 + 0,667 \eta)}{0,333 + 1,57 \eta + 2 \eta^2 + 0,785 \eta^3}$$

$$H_1 = - \frac{p_y \cdot a (1 - K^2)}{3} \Delta_1 \quad (7)$$

b) Od obciążeń stycznych.

Zakładając przedstawione uprzednio obciążenia styczne na rysunku 19b pokazano układy: rzeczywisty, zastępczy i pomocniczy P_0 .

Układ pomocniczy P_0

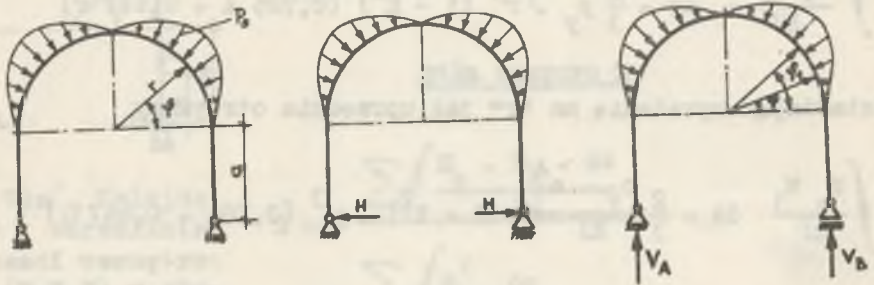
$$V_A = V_B = \int_0^{90^\circ} P_S \cdot ds \cdot \cos \varphi = \int_0^{90^\circ} \frac{1}{2} p_y \cdot \sin 2\varphi \cos \varphi (1 - K^2) r d\varphi$$

Układ rzeczywisty

Układ zastępczy

Układ pomocniczy

b)



Rys. 19. Kolejne etapy określania wielkości wewnętrznych (M,N,H) w obudowie

b - od obciążeń stycznych działających na część kołową

$$V_A = r \cdot p_y (1 - K^2) \int_0^{90^\circ} \sin \varphi \cos^2 \varphi \, d\varphi = p_y \cdot r (1 - K^2) \frac{\cos 3\varphi}{3} \Big|_0^{90^\circ}$$

$$V_A = \frac{p_y \cdot r}{3} (1 - K^2)$$

$$M_{r\alpha} = V_A \cdot r (1 - \cos \alpha) - \int_0^\alpha p_s \, ds \cdot r [1 - \cos(\alpha - \varphi)]$$

$$M_{r\alpha} = \frac{p_y \cdot r^2}{3} (1 - K^2) (1 - \cos \alpha) - \int_0^\alpha \frac{1}{2} p_y r^2 (1 - K^2) \sin 2\varphi \cdot$$

$$[1 - \cos(\alpha - \varphi)] \, d\varphi$$

Po uporządkowaniu, całkowaniu, podstawieniu granic i redukcji otrzymamy równanie na wartość momentu.

$$M_{\alpha} = \frac{p_y \cdot r^2}{6} (1 - K^2) \cdot \sin^2 \alpha. \quad (9)$$

Porównując powyższy wzór z zależnością (6) można stwierdzić, że momenty zginające od obciążenia stycznego stanowią połowę odpowiednich wartości momentów zginających od obciążenia radialnego.

Z uwagi na to że układ pomocniczy P_1 jest identyczny jak w przypadku poprzednim wartość siły rozporu wyniesie

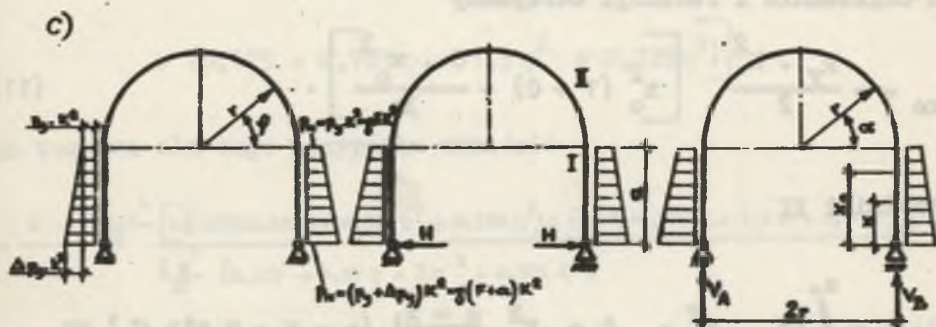
$$H_2 = \frac{H_1}{2}$$

czyli

$$H_2 = - \frac{p_y \cdot a (1 - K^2)}{6} \Delta_1 \quad (10)$$

c) Od obciążeń radialnych działających na część pionową obudowy.

Układ rzeczywisty Układ zastępczy Układ pomocniczy



Rys. 19. Kolejne etapy określania wielkości wewnętrznych (M, N, H) w obudowie

c - od obciążeń radialnych działających na część pionową obudowy

Dla obciążeń radialnych działających na odcinek prosty łuku przedstawiono na rys. 19c układy, rzeczywisty, zastępczy i pomocniczy

Układ pomocniczy P

$$V_A = V_B = 0.$$

Przedział I

$$M_{x_0} = - \int_0^{x_0} (p_y \cdot K^2 + \Delta p_y K^2 \cdot \frac{a-x}{a}) (x_0 - x) dx$$

podstawiając za

$$\Delta p_y = C \cdot p_y$$

otrzymamy

$$M_{x_0} = - p_y \cdot K^2 \int_0^{x_0} (1 + C - C \cdot \frac{x}{a}) (x_0 - x) dx$$

po całkowaniu i redukcji otrzymamy

$$M_{x_0} = - \frac{p_y \cdot K^2}{2} \left[x_0^2 (1 + C) - \frac{C \cdot x_0^3}{3a} \right]. \quad (11)$$

Przedział II

$$M_{\alpha} = - \int_0^a (p_y \cdot K^2 + \Delta p_y \cdot K^2 \cdot \frac{a-x}{a}) (a-x+r \sin \alpha) dx$$

$$M_{\alpha} = -p_y \cdot K^2 \int_0^a (1 + c - c \frac{x}{a}) (a - x + r \sin \alpha) dx.$$

Po wymnożeniu, całkowaniu, podstawieniu i redukcji otrzymamy wyrażenie

$$M_{\alpha} = -p_y \cdot K^2 \cdot a^2 \left[\left(0,5 + \frac{c}{3}\right) + \eta \cdot (1 + 0,5 c) \sin \alpha \right] \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sum \int \frac{M_0 \cdot M_1}{EJ} ds &= 2 \int_0^a \frac{-p_y K^2}{2 EJ} \left[x^2 (1 + c) - \frac{c \cdot x^3}{3a} \right] x \cdot dx + \\ &+ 2 \int_0^{90^\circ} \frac{-p_y \cdot K^2 \cdot a^2}{EJ} \left[\left(0,5 + \frac{c}{3}\right) + \eta \sin \varphi \cdot (1 - 0,5 c) \right] r/a + r \sin \varphi / d\varphi. \end{aligned}$$

Po wymnożeniu, całkowaniu, podstawieniu granic i redukcji otrzymamy wyrażenie

$$\begin{aligned} \sum \int \frac{M_0 \cdot M_1}{EJ} ds &= - \frac{2p_y \cdot K^2 a^4}{EJ} \left[c(0,091 + 0,523\eta + 0,833\eta^2 + 0,392\eta^3) + \right. \\ &\left. + (0,125 + 0,785\eta + 1,5\eta^2 + 0,785\eta^3) \right]. \end{aligned}$$

Siła rozporu dla tego przypadku wyniesie

$$H_3 = \frac{2 p_y \frac{K^2 a^4}{EJ} \left[c(0,091 + 0,523\eta + 0,833\eta^2 + 0,392\eta^3) + (0,125 + 0,785\eta + 1,5\eta^2 + 0,785\eta^3) \right]}{\frac{2 a^3}{EJ} (0,333 + 1,57\eta + 2\eta^2 + 0,785\eta^3)}$$

$$H_3 = p_y \cdot K^2 \cdot a \Delta_3. \quad (13)$$

Uwzględniając zachodzące zależności:

$$c = \frac{\Delta p_y}{p_y} = \frac{a}{f} = \frac{a}{\frac{r(1+K) + aK}{\mu}} = \frac{a \cdot \mu}{r(1+K) + aK}$$

$$c = \frac{\mu}{\eta(1+K) + K}$$

otrzymamy

$$\Delta_3 = \frac{\frac{\mu}{\eta(1+K) + K} (0,091 + 0,523\eta + 0,833\eta^2 + 0,382\eta^3) + (0,125 + 0,785\eta + 1,5\eta^2 + 0,785\eta^3)}{0,333 + 1,57\eta + 2\eta^2 + 0,785\eta^3}$$

Sumaryczna siła rozporu wynosi

$$H = H_1 + H_2 + H_3$$

$$H = -\frac{p_y \cdot a(1-K^2)}{3} \cdot \Delta_1 - \frac{p_y \cdot a(1-K^2)}{6} \cdot \Delta_1 + p_y \cdot K^2 \cdot a \cdot \Delta_3$$

$$H = -p_y \cdot a \left[\frac{1}{2} (1-K^2) \Delta_1 - K^2 \cdot \Delta_3 \right] \quad (14)$$

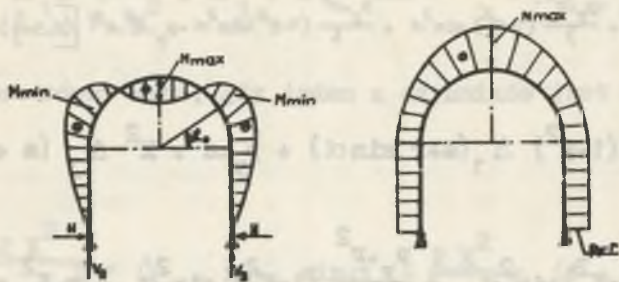
2. Określenie ekstremalnych wartości sił wewnętrznych

Moment zginający i siła osiowa w przedziale I (rys. 19a')

$$M_I = H \cdot x - \frac{p_y \cdot K^2}{2} \left[x^2 (1+c) - \frac{c \cdot x^3}{3a} \right]$$

$$M_I = -\frac{1}{2} p_y \cdot a (1-K^2) \Delta_1 x + p_y \cdot a K^2 \cdot \Delta_3 x - \frac{p_y K^2}{2} \left[x^2 (1+c) \frac{c x^3}{3a} \right]$$

$$\frac{\partial M_1}{\partial x} = -\frac{1}{2} p_y \cdot a(1-K^2) \Delta_1 + p_y \cdot a K^2 \Delta_3 - \frac{p_y \cdot K^2}{2} (1+C) 2x + \frac{p_y \cdot K^2}{2} C \cdot \frac{3x^2}{3a}$$



Rys. 20. Teoretyczny rozkład sił wewnętrznych działających przy założonym schemacie obciążeń w obudowie
M - moment zginający, N - siła osiowa

Stąd

$$\frac{p_y \cdot K^2}{2a} \cdot C x^2 - \frac{p_y \cdot K^2}{2} (1+C) x - \frac{1}{2} p_y a (1-K^2) \Delta_1 + p_y \cdot a K^2 \Delta_3 = 0$$

$$\frac{C}{2a} x^2 - (1+C) x - \frac{1}{2a} \left(\frac{1}{K^2} - 1 \right) \Delta_1 + a \cdot \Delta_3 = 0$$

$$x'_0 = \frac{(1+C) \pm \sqrt{(1+C)^2 + C \left[\left(\frac{1}{K^2} - 1 \right) \Delta_1 + 2 \Delta_3 \right]}}{\frac{C}{a}} \quad (15)$$

$$M_{x_0}^{\max} = H \cdot x_0 - \frac{p_y \cdot K^2}{2} \left[x_0^2 (1+C) - \frac{C x_0^3}{3a} \right]$$

odpowiadająca siła osiowa

$$N_{x_0} = V_A = \frac{p_y \cdot r}{3} (1+K^2) + \frac{p_y \cdot r}{3} (1-K^2) = p_y \cdot r \quad (16)$$

Moment zginający i siła osiowa w przedziale II (rys. 19a').

$$M_{II} = K(a + r \sin \alpha) + \frac{p_y \cdot r^2}{3} (1 - K^2) \sin^2 \alpha + \frac{p_y \cdot r^2}{6} (1 - K^2) \sin^2 \alpha - p_y \cdot K^2 \cdot a^2 \left[\left(0,5 + \frac{c}{3}\right) + \sin \alpha \cdot \eta (1 + 0,5c) \right]$$

$$M_{II} = -\frac{1}{2} p_y \cdot a (1 - K^2) \Delta_1 (a + r \sin \alpha) + p_y \cdot a \cdot K^2 \Delta_3 (a + r \sin \alpha) +$$

$$+ \frac{p_y \cdot r^2}{3} (1 - K^2) \sin^2 \alpha + \frac{p_y \cdot r^2}{6} (1 - K^2) \sin^2 \alpha - p_y K^2 a^2 \cdot$$

$$\cdot \left[\left(0,5 + \frac{c}{3}\right) + \eta (1 + 0,5c) \sin \alpha \right]$$

$$\frac{\partial M_{II}}{\partial \alpha} = -\frac{1}{2} p_y a (1 - K^2) \cdot \Delta_1 \cdot r \cos \alpha + p_y a \cdot K^2 \Delta_3 r \cos \alpha +$$

$$+ \frac{p_y \cdot r^2}{3} (1 - K^2) 2 \sin \alpha \cos \alpha + \frac{p_y \cdot r^2}{6} (1 - K^2) 2 \sin \alpha \cdot$$

$$\cos \cdot \alpha - p_y K^2 a^2 \eta (1 + 0,5c) \cos \alpha = 0$$

lub wyrażone

$$\frac{\partial M_{II}}{\partial \alpha} = -\frac{1}{2} \eta (1 - K^2) \Delta_1 \cos \alpha + \eta K^2 \Delta_3 \cos \alpha + \frac{\eta^2}{3} (1 - K^2) \sin 2\alpha +$$

$$+ \frac{\eta^2}{6} (1 - K^2) \sin 2\alpha - K^2 \eta (1 + 0,5c) \cos \alpha = 0.$$

Mnożąc obie strony równania przez $\frac{2}{1 - K^2}$ otrzymamy

$$\cos \alpha \left[-\eta \Delta_1 + \frac{2\eta K^2}{1 - K^2} \cdot \Delta_3 + 2\eta^2 \sin \alpha - 2\eta \frac{K^2}{1 - K^2} (1 + 0,5c) \right] = 0.$$

Iloczyn jest równy zero, gdy jeden z czynników jest równy zero.

Dla

$$\left[-\Delta_1 + \frac{2K^2}{1 - K^2} \cdot \Delta_3 + 2\eta \sin \alpha_0 - \frac{2K^2}{1 - K^2} (1 + 0,5c) \right] = 0$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{\frac{2K^2}{1 - K^2} (1 + 0,5c) + \Delta_1 - \frac{2K^2}{1 - K^2} \cdot \Delta_3}{2\eta}$$

lub

$$\sin \alpha_0 = \frac{\frac{2K^2}{1 - K^2} (1 + 0,5c - \Delta_3) + \Delta_1}{2\eta}. \quad (17)$$

Odpowiadająca siła osiowa (znak (+) przy ściskaniu, znak (-) przy rozciąganiu)

$$N_\alpha = V_A \cos \alpha_0 - H \sin \alpha_0 + w \cdot \sin \alpha_0 + \int_0^{\alpha_0} p_n d_n \cdot \sin(\alpha_0 - \varphi) - \\ - \int_a^{\alpha_0} p_s d_s \cos(\alpha_0 - \varphi)$$

$$\begin{aligned}
 N_{\alpha} = & p_y \cdot r \cos \alpha_0 + \frac{1}{2} p_y \cdot a (1 - K^2) \Delta_1 \sin \alpha_0 - p_y \cdot a \cdot K^2 \Delta_3 \cdot \sin \alpha_0 + \\
 & + \frac{p_y (2 + C)}{2} a \cdot \sin \alpha_0 + \int_0^{\alpha_0} p_y (\sin^2 \varphi + K^2 \cos^2 \varphi) \sin(\alpha_0 - \varphi) \cdot \\
 & \cdot r \, d\varphi - \int_0^{\alpha_0} \frac{1}{2} p_y \sin 2\varphi (1 - K^2) \cdot r \, d\varphi \cdot \cos(\alpha_0 - \varphi)
 \end{aligned}$$

po obliczeniu poszczególnych całek, podstawieniu znanej relacji $r = a \cdot \eta$ i redukcji, otrzymamy pierwszą wartość ekstremalną występującą w przekroju α_0 .

$$N_{\alpha_0} = p_y \cdot a \cdot \eta \left\{ \frac{2}{3} \cos \alpha_0 \cdot (1 - K^2) + \frac{1}{2} \frac{\sin \alpha_0}{\eta} \left[\Delta_1 (1 - K^2) - 2 K^2 \Delta_3 + 2 + C \right] + K^2 \right\}$$

podobnie moment gnący w przekroju α_0

$$\begin{aligned}
 M_{\alpha_0} = & H \cdot a (1 + \eta \sin \alpha_0) + \frac{p_y \cdot a^2 \cdot \eta^2}{2} (1 - K^2) \sin^2 \alpha_0 - p_y \cdot K^2 \cdot a^2 \cdot \\
 & \cdot \left[\left(0,5 + \frac{C}{3} \right) + \eta \sin \alpha_0 (1 + 0,5C) \right].
 \end{aligned}$$

Dla $\cos \alpha = 0$, otrzymamy drugie ekstremum

$$\alpha_0 = 90^\circ \text{ a więc w kluczu obudowy} \quad (17a)$$

$$N_{\alpha} = p_y \cdot a \left[\frac{\Delta_1(1-K^2)}{2} - K^2 \cdot \Delta_3 + 1 + \frac{C}{2} + K^2 \cdot \eta \right]$$

$$M_{\alpha} = H \cdot a (1+\eta) + p_y \cdot a^2 \left[\frac{\eta^2}{2}(1-K^2) - K^2(0,5 + \frac{C}{3}) - K^2 \cdot \eta (1+0,5C) \right]$$

Maksymalna wartość siły osiowej wystąpi w przekroju

$$\frac{\partial N_{\alpha}}{\partial \alpha} = p_y \cdot a \cdot \eta \cdot \left\{ -\frac{2}{3} \cos \alpha \sin \alpha (1-K^2) - (1-K^2) - \frac{1}{2} \frac{\cos \alpha}{\eta} \left[\Delta_1 (1-K^2) - 2K^2 \Delta_3 + 2 + C \right] \right\} = 0$$

a więc

$$\cos \alpha \left\{ -\frac{2}{3} \sin \alpha - \frac{1}{2\eta} \left[\Delta_1 \cdot (1-K^2) - 2K^2 \Delta_3 + 2 + C \right] \right\} = 0$$

$$\text{stad } \alpha_0 = 90^\circ \quad (19)$$

oraz

$$\sin \alpha_0 + \frac{-\frac{1}{2\eta} \left[\Delta_1 (1-K^2) - 2K^2 \Delta_3 + 2 + C \right]}{\frac{2}{3} (1-K^2)} = 0 \quad (19a)$$

Jak z powyższego widać wyrażenie (19a) ma wartość ujemną czyli $\alpha_0 > 90^\circ$. Oznacza to, że występuje tylko jedno ekstremum funkcji sił osiowych występujące w przekroju $\alpha_0 = 90^\circ$.

3. Dyskusja uzyskanych wyników

Analizując wzór (15) na wartość x_0 stwierdzamy że zachodzi tutaj zależność,

$$x_0 > a \quad (19)$$

ponieważ wartość pod pierwiastkiem jest większa od wyrażenia $(1 + C)$. Aby uzyskać rozwiązanie rzeczywiste należy obydwie składniki licznika dodać do siebie co w konsekwencji daje wyższą wartość licznika od mianownika.

Z zależności (19) wynika, że ekstremum funkcji dla żądanych parametrów obudowy i obciążenia nie występuje w pierwszym przedziale. Maksimum i minimum funkcji momentów występuje w przedziale II odpowiednio w przekroju $\alpha = 90^\circ$ i przekroju α_0 opisanym wzorem (17).

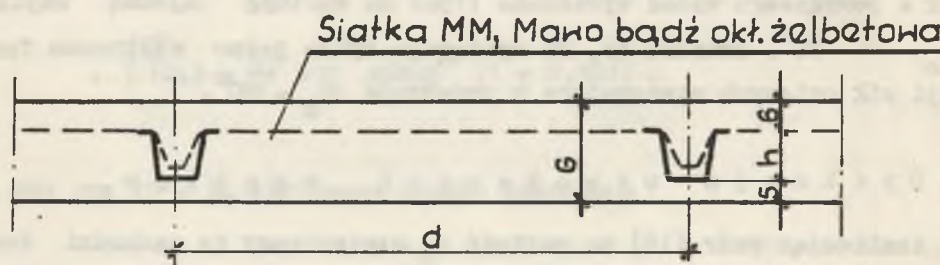
Przebieg momentów oraz sił osiowych dla rozpatrywanej obudowy przedstawiono na rys. 20.

Siły osiowe zmieniają się w sposób ciągły od wartości równej $P_y \cdot r$ w punktach podparcia od wartości maksymalnej w kluczu (wyrobiska) żuku.

5.1.5. Określenie nośności obudowy

1. Schemat obudowy

Na podstawie wyników badań przedstawionych w poprzednich podrozdziałach przyjęty przekrój poprzeczny obudowy o stałej grubości obetonowania żuków korytkowych pokazano na rysunku 21.

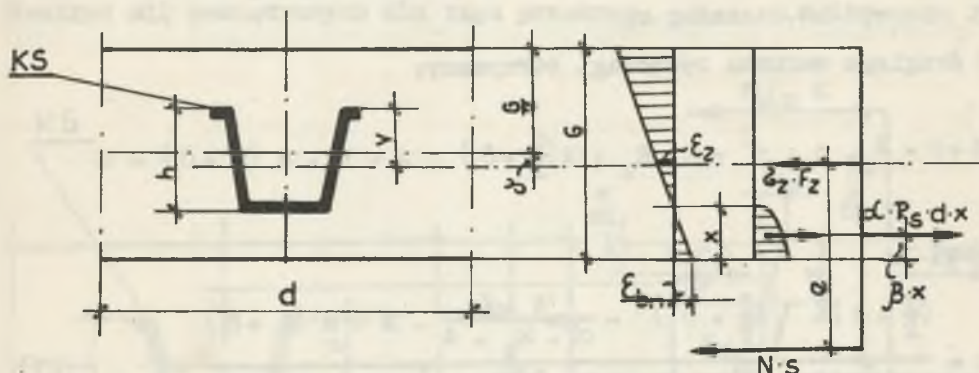


Rys. 21. Przekrój podłużny elementarnego odcinka obudowy kombinowanej

Zgodnie z p. 5.1.4.3 należy sprawdzić nośność w przekroju α_0 i w kluczu łuku.

2. Nośność obudowy w kluczu łuku

Parametry obciążeń to dodatkowo działający moment zginający M i maksymalna siła ściskająca N . Rozkład sił wewnętrznych dla tego przekroju pokazano na rysunku 22.



Rys. 22. Rozkład sił wewnętrznych w przekroju podłużnym α (w kluczu obudowy) elementarnego odcinka obudowy kombinowanej stalowo-betonowej

gdzie

$$G = h + 11 \text{ cm} \quad (h - \text{wysokość normowana korytka w cm})$$

$$\delta = 6 + v - \frac{G}{2} = v - \frac{h}{2} + 0,5$$

$e = \frac{M}{N}$ mimośród działania siły w cm,

d - rozstaw wkładek sztywnych (łuków) w cm,

v - odległość środka ciężkości przekroju korytkowego od włókien skrajnych stopki w cm.

Dla założonego R_w odczytujemy z normy PN-56/B-03260 R_s a następnie z nomogramu Rüscha (rys. 24) wartości ε_{bn} , α i β .

Warunki równowagi dla tego przekroju;

$$N \cdot s = -F_z \cdot \sigma_z + \alpha \cdot R_s \cdot d \cdot x \quad (20)$$

$$N \cdot s (e - \delta) = \alpha \cdot R_s \cdot d \cdot x \left(\frac{G}{2} + \delta - \beta \cdot x \right),$$

gdzie:

s - współczynnik pewności przyjmowany zgodnie z normą PN-56/B-03260.

Z drugiego warunku równowagi otrzymamy:

$$\alpha \cdot \beta \cdot R_s \cdot d \cdot x^2 - \alpha \cdot R_s \cdot d \left(\frac{G}{2} + \delta \right) \cdot x + N \cdot s (e + \delta) = 0$$

skąd

$$x = \frac{\left(\frac{G}{2} + \delta \right) \pm \sqrt{\left(\frac{G}{2} + \delta \right)^2 - \frac{4 \cdot \beta}{\alpha \cdot R_s \cdot d} \cdot N \cdot s (e + \delta)}}{2\beta} \quad (21)$$

Podstawiając do pierwszego warunku równowagi

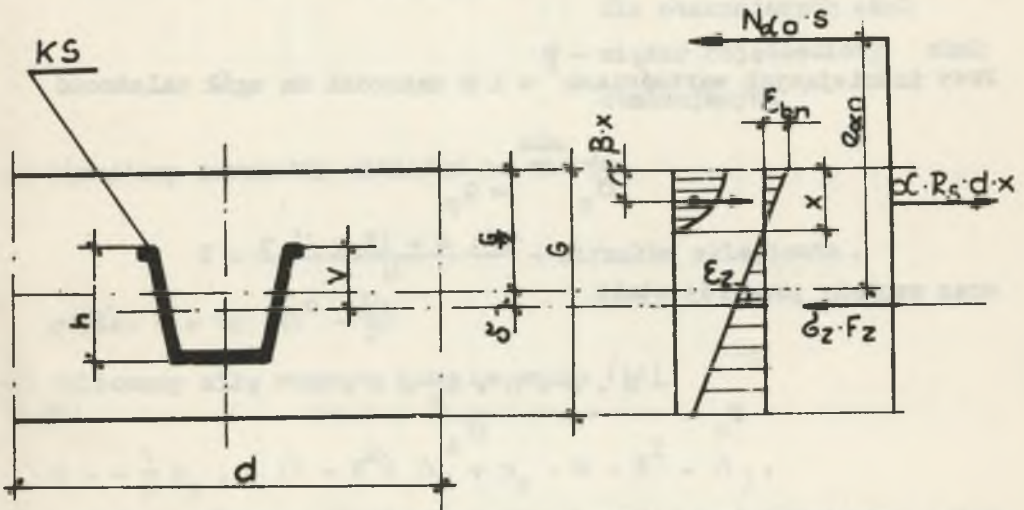
$$\sigma_z = \min \begin{cases} Q_r \\ \varepsilon_{bn} \cdot \frac{-x + \left(\frac{G}{2} + \delta \right)}{x} \cdot E_z \end{cases} \quad (22)$$

otrzymamy szukany przekrój stali w obudowie

$$F_z = \frac{-N \cdot s + \alpha \cdot R_s \cdot d \cdot x}{\sigma_z} \quad (23)$$

3. Nośność obudowy w przekroju α_0

Parametry obciążenia, to ujemnie działający moment zginający M i odpowiadająca wartość siły osiowej o działaniu ściskającym N . Rozkład sił wewnętrznych dla tego przekroju pokazano na rysunku 23.



Rys. 23. Rozkład sił wewnętrznych w przekroju podłużnym α_0 elementarnego odcinka obudowy kombinowanej stalowo-betonowej

Dla tego przypadku wzory (20) przyjmą postać:

$$\left. \begin{aligned} N \cdot s &= -F_z \cdot \sigma_z + \alpha \cdot R_s \cdot d \cdot x \\ N \cdot s (e - \delta) &= \alpha R_s \cdot d \cdot x \left(\frac{G}{2} - \delta - \beta \cdot x \right) \end{aligned} \right\} \quad (20a)$$

zaś położenie osi obojętnej opisane zostanie wzorem

$$x = \frac{\left(\frac{G}{2} - \delta\right) \pm \sqrt{\left(\frac{G}{2} - \delta\right)^2 - \frac{4\beta \cdot N \cdot s}{\alpha \cdot R_s \cdot d} (e - \delta)}}{2\beta} \quad (21a)$$

$$\sigma_z = \min \begin{cases} Q_r \\ \varepsilon_{bn} \cdot \frac{-x + \left(\frac{G}{2} - \delta\right)}{x} \cdot E_z \end{cases} \quad (22a)$$

Przy istniejących wartościach e i G zachodzi na ogół zależność

$$\min \sigma_z = Q_r$$

oraz szukany przekrój stali

$$F_z = \frac{-N \cdot s + \alpha \cdot R_s \cdot d \cdot x}{\sigma_z} \quad (23a)$$

Jak z powyższego widać należy przy określaniu nośności obudowy w przekroju α_0 wstawić do wzorów (20) - (23) wartość δ ze znakiem ujemnym.

5.1.6. Tok postępowania przy indywidualnym obliczaniu obudowy

Przy obliczaniu obudowy stalowo-betonowej proponuje się następujący tok postępowania:

a) Dla danej wielkości wyrobiska (wielkość odrzwi) określamy wymiary zastępcze obudowy:

a - wysokość odcinka pionowego (prostego),

r - promień zastępczy sklepienia.

Wielkości te ustalamy drogą prób opierając się na wykreślonym normowym kształcie odrzwi. Do otrzymanych wymiarów promienia należy dodać każdorazowo około 4 cm z tytułu przesunięcia środka obudowy względem wewnętrznych włókien łuku korytkowego.

b) Precyzujemy warunki geologiczne w jakich obudowa ma pracować poprzez ustalenie wartości:

wskaźnika zwięzłości $\mu = \operatorname{tg} \varrho \rightarrow \varrho$ - kąt tarcia wewnętrznego dla otaczających skał

γ - ciężar objętościowy skał otaczających

c) Określamy parametry obciążeń ze wzorów

$$f = \frac{r(1+K) + a \cdot K}{\mu} - \text{strzałka sklepienia,}$$

gdzie: $K = \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2} \right)$

d) Obliczamy siłę rozporu łuku ze wzoru (14)

$$H = -\frac{1}{2} p_y \cdot a (1 - K^2) \Delta_1 + p_y \cdot a \cdot K^2 \cdot \Delta_3,$$

gdzie

$$\Delta_1 = \frac{\eta^3 (0.785 + 0.667 \cdot \eta)}{0.333 + 1.57 \eta + 2 \eta^2 + 0.785 \eta^3}$$

$$\Delta_3 = \frac{c (0.091 + 0.523 \eta + 0.833 \eta^2 + 0.382 \eta^3) + (0.125 + 0.785 \eta + 1.5 \eta^2 + 0.785 \eta^3)}{0.333 + 1.57 \eta + 2 \eta^2 + 0.785 \eta^3}$$

$$p_y = \eta \cdot f \quad \eta = \frac{r}{a} \quad c = \frac{a}{f}$$

e) Określamy przekrój w którym wystąpi maksymalny moment ze wzoru (17)

$$\sin \alpha_0 = \frac{\frac{2K^2}{1-K^2} (1 + 0,5c - \Delta_3) + \Delta_1}{2\eta}$$

f) Określamy wartości sił wewnętrznych w przekroju α_0 ze wzorów

$$M_{\alpha_0} = H \cdot a (1 + \eta \cdot \sin \alpha_0) + \frac{p_y \cdot a^2 \cdot \eta^2}{2} (1 - K^2) \sin^2 \alpha_0 -$$

$$- p_y \cdot K^2 \cdot a^2 \left[(0,5 + \frac{c}{3}) + \eta \sin \alpha_0 (1 + 0,5c) \right]$$

$$N_{\alpha_0} = p_y \cdot a \cdot \eta \left\{ \frac{2}{3} \cos^2 \alpha_0 (1 - K^2) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{2} \frac{\sin \alpha_0}{\eta} \left[\Delta_1 (1 - K^2) - 2K^2 \cdot \Delta_3 + 2 + c \right] + K^2 \right\}$$

g) Określamy wartości sił wewnętrznych w kluczu łuku ze wzorów

$$M_{\alpha} = H \cdot a (1 + \eta) + p_y \cdot a^2 \left[\frac{\eta^2}{2} (1 - K^2) - K^2 (0,5 + \frac{c}{3}) - K^2 \cdot \eta (1 + 0,5c) \right]$$

$$N_{\alpha} = p_y \cdot a \left[\frac{\Delta_1 (1 - K^2)}{2} - K^2 \cdot \Delta_3 + 1 + \frac{c}{2} + K^2 \cdot \eta \right]$$

h) Wyznaczamy wymiary przekroju obudowy ze wzorów:

$$G = h + 11 \text{ cm}$$

$$\delta = V - \frac{h}{2} + 0,5$$

i) Określamy potrzebny dla danych warunków przekrój stali w przekroju α_0 korzystając ze wzorów (21a), (22a), (23a)

$$e \alpha_0 = \frac{M \alpha_0}{N \alpha_0}$$

Dla danego R które w warunkach dołowych waha się w granicach 140-200 kg/cm^2 wyznaczamy z norm R_s a następnie dla tej wartości z nomogramu Rüscha (rys. 24) wyznaczamy wielkości:
Odległość osi obojętnej

$$x = \frac{(\frac{G}{2} - \delta) \pm \sqrt{(\frac{G}{2} - \delta)^2 - \frac{4\beta}{\alpha \cdot R_s \cdot d} N \cdot s \cdot (e - \delta)}}{2\beta},$$

zaś przekrój potrzebnego zbrojenia

$$F_z = \frac{-N \cdot s + \alpha \cdot R_s \cdot d \cdot x}{\sigma_z},$$

gdzie

$$\sigma_z = \min \begin{cases} \sigma_r \\ \sigma_{bn} \cdot \frac{-x + (\frac{G}{2} - \delta)}{x} \cdot E_z \end{cases}$$

j) Określamy przekrój stali w kluczu obudowy ze wzorów (21), (22), (23)

$$e_{\alpha} = \frac{M_{\alpha}}{N_{\alpha}}$$

$$x = \frac{\left(\frac{G}{2} + \delta\right) \pm \sqrt{\left(\frac{G}{2} + \delta\right)^2 - \frac{4\beta}{\alpha \cdot R_s \cdot d} \cdot N \cdot s (e + \delta)}}{2\beta}$$

$$F_z = \frac{-N \cdot s + \alpha \cdot R_s \cdot d \cdot x}{\sigma_z}$$

$$\sigma_z = \min \begin{cases} Q_r \\ \varepsilon_{bn} \cdot \frac{-x + \left(\frac{G}{2} + \delta\right)}{x} \cdot E_z \end{cases}$$

k) Jako ostateczną przyjmujemy większą wartość przekroju zbrojenia która decyduje o ilości i oprzekroju potrzebnych wkładek sztyw-nych w postaci łuków korytkowych.

5.1.7. Przykład liczbowy

Dane: - Wielkość odrzwi 8

$$- \mu = 2 \quad \varrho = 63^{\circ}30' \quad \gamma = 2,2 \text{ T/m}^3$$

Ustalono: - promień zastępczy $r = 2,40 \text{ m}$

wysokość odcinka pionowego $a = 0,95 \text{ m}$

$$K = \text{tg} \left(45^{\circ} - \frac{\varrho}{2}\right) = 0,2354$$

$$K^2 = 0,055$$

$$f = \frac{2,4 (1 + 0,2354) + 0,95 \cdot 0,2354}{2} = 1,72 \text{ m}$$

$$p_y = 2,2 \cdot 1,72 = 3,8 \text{ T/m}^2; \quad c = \frac{0,95}{1,72} = 0,55; \quad \eta = \frac{2,4}{0,95} = 2,5$$

$$\Delta_1 = \frac{2,5^3 (0,785 + 0,667 \cdot 2,5)}{0,33 + 1,57 \cdot 2,5 + 2 \cdot 2,5^2 + 0,785 \cdot 2,5^3} = 1,36$$

$$\Delta_3 = \frac{0,55 (0,091 + 0,523 \cdot 2,5 + 0,833 \cdot 2,5^2 + 0,392 \cdot 2,5^3) + (0,125 + 0,785 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot 2,5^2 + 0,785 \cdot 2,5^3)}{0,333 + 1,57 \cdot 2,5 + 2 \cdot 2,5^2 + 0,785 \cdot 2,5^3}$$

$$\Delta_3 = 1,04$$

$$H = -\frac{1}{2} \cdot 3,8 \cdot 0,95 (0,945) \cdot 1,36 + 3,8 \cdot 0,95 \cdot 0,055 \cdot 1,04$$

$$H = -2,12 \text{ T/mb obudowy}$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{2 \cdot 0,055}{0,945} (1 + 0,5 \cdot 0,55 - 1,04) + 1,36}{2 \cdot 2,5} = 0,280$$

$$\alpha_0 = 16^\circ 15'$$

$$\cos 16^\circ 15' = 0,96$$

$$M_{\alpha_0} = -2,12 \cdot 0,95 (1 + 2,5 \cdot 0,28) + \frac{3,8 \cdot 0,95^2 \cdot 2,5^2}{2} \cdot 0,945 \cdot$$

$$\cdot 0,28^2 - 3,8 \cdot 0,055 \cdot 0,95^2 \left[\left(0,5 + \frac{0,55}{3} \right) + 2,5 \cdot 0,28 \cdot \right.$$

$$\left. \cdot (1 + 0,5 \cdot 0,55) \right] = -2,9 \text{ Tm/mb obudowy}$$

$$N_{\alpha_0} = 3,8 \cdot 0,95 \cdot 2,5 \left\{ \frac{2}{3} \cdot 0,96^2 (0,945) + \frac{1}{2} \frac{0,28}{2,5} \left[1,35 (0,945) - \right. \right. \\ \left. \left. - 0,11 \cdot 1,04 + 2 + 0,55 \right] + 0,055 \right\} = 7,6 \text{ T/mb obudowy}$$

$$M_{\alpha} = - 2,12 \cdot 0,95 (1 + 2,5) + 3,8 \cdot 0,95^2 \left[\frac{2,5^2}{2} (0,945) - 0,055 \cdot \right. \\ \left. \cdot (0,5 + \frac{0,55}{3}) - 0,55 \cdot 2,5 (1 + 0,5 \cdot 0,55) \right] = - 3,14 \text{ Tm/mb}$$

$$N_{\alpha} = 3,8 \cdot 0,95 \left[\frac{1,36 (0,945)}{2} - 0,055 \cdot 1,04 + 1 + \frac{0,55}{2} + 0,055 \cdot 2,5 \right]$$

$$N_{\alpha} = 7,22 \text{ T/mb obudowy.}$$

Przyjmując odzrwia z KS i KO - 21

$$h = 9,4 \text{ cm}$$

$$G = 9,4 + 11 = 20,4 \text{ cm - grubość całkowita obudowy}$$

$$\delta = 4,5 - \frac{9,4}{2} + 0,5 = 0,3 \text{ cm.}$$

Obliczenie zbrojenia dla przekroju α_0

$$e_{\alpha_0} = \frac{2,9}{7,6} = 0,38 \text{ m.}$$

$$\text{Dla } R_w = 200 \text{ kg/cm}^2$$

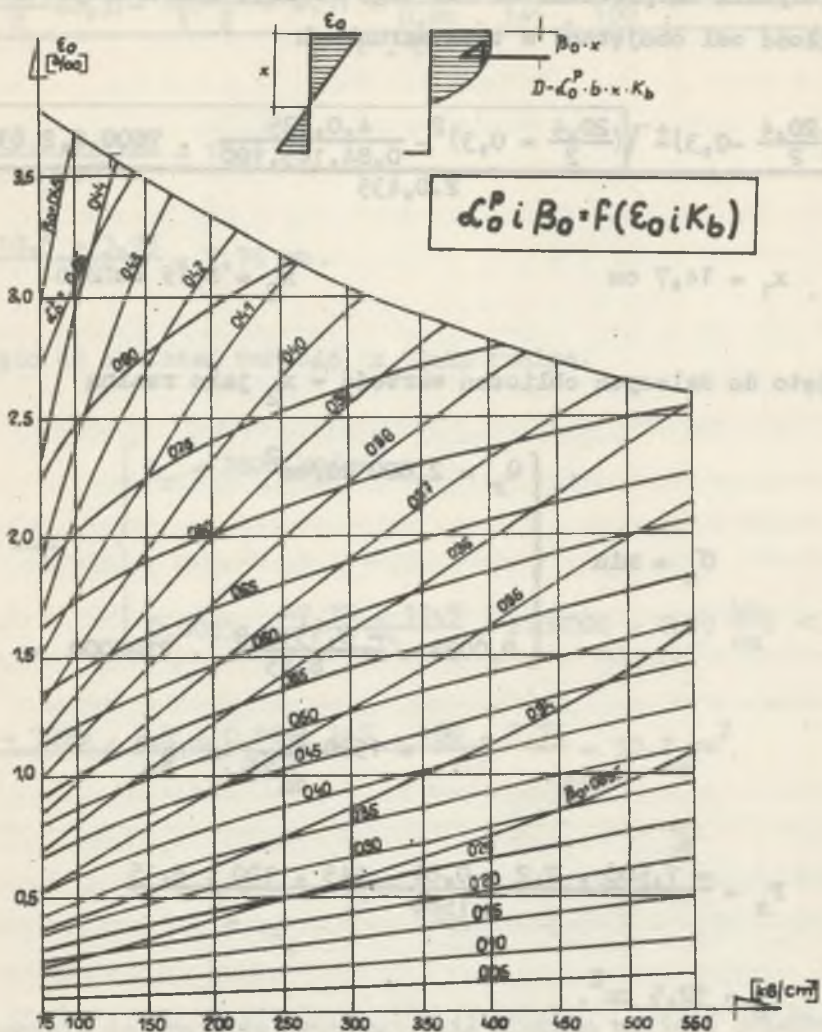
$$R_s = 145 \text{ kg/cm}^2$$

z wykresu Rüscha (rys. 24) przyjęto

$$\varepsilon_{bn} = 0,0035$$

$$\beta = 0,435:$$

$$\alpha = 0,84.$$



Wartości α i β jako funkcje ϵ_0 i $K_b = R_s$

Rys. 24. Nomogram Rüscha dla betonów marki 75-550

Współczynnik bezpieczeństwa dla tego rodzaju konstrukcji $s = 2,2$.
 Odległość osi obojętnej w tych warunkach

$$x = \frac{\left(\frac{20,4}{2} - 0,3\right) \pm \sqrt{\left(\frac{20,4}{2} - 0,3\right)^2 - \frac{4 \cdot 0,435}{0,84 \cdot 145 \cdot 100} \cdot 7600 \cdot 2,2 (38 - 0,3)}}{2 \cdot 0,435}$$

$$x_1 = 14,7 \text{ cm}$$

$$x_2 = 8,15 \text{ cm}.$$

Przyjęto do dalszych obliczeń wartość x_2 jako realną

$$\sigma_z = \min \begin{cases} Q_r = 2.800 \text{ kg/cm}^2 \\ 0,0035 \cdot \frac{-8,15 + 9,9}{8,15} \cdot 2100000 = \\ = 1580 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < Q_r \end{cases}$$

$$F_z = \frac{-7.600 \cdot 2,2 + 0,84 \cdot 145 \cdot 100 \cdot 8,15}{1580}$$

$$F_z = 52,5 \text{ cm}^2.$$

Co odpowiada rozstawieniu wkładek z korytek KS 21 bez zastosowania współczynników zmniejszających (o powierzchni przekroju $26,7 \text{ cm}^2$) co $0,5 \text{ m}$.

Obliczenie zbrojenia w kluczu wyrobiska

$$e_{\alpha} = \frac{M}{N} = \frac{3,14}{7,22} = 43 \text{ cm}$$

$$x = \frac{(\frac{20,4}{2} + 0,3) \pm \sqrt{(\frac{20,4}{2} + 0,3)^2 - \frac{4 \cdot 0,435 \cdot 2,2}{0,84 \cdot 145 \cdot 100} \cdot 7220 (43 + 0,3)}}{2 \cdot 0,435}$$

$$x_1 = \frac{10,5 + 3,75}{0,87} = 16,4 \text{ cm}$$

$$x_2 = \frac{10,5 - 3,75}{0,87} = 7,75 \text{ cm.}$$

Przyjęto do obliczeń wartość x_2 jako realną.

$$\sigma_z = \min \begin{cases} Q_r = 2800 \text{ kg/cm}^2 \\ 0,0035 \cdot \frac{-7,75 \cdot 10,5}{7,75} \cdot 2100000 = 2609 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < Q_r \end{cases}$$

$$F_z = \frac{-7220 \cdot 2,2 + 0,84 \cdot 145 \cdot 100 \cdot 7,75}{2609} = 30,2 \text{ cm}^2$$

$$F_z \alpha_0 > F_{z\alpha}$$

Ostatecznie do projektu przyjmuje się większą wartość przekroju poprzecznego potrzebnego zbrojenia. Dla uzyskania praktycznej wielkości przekroju potrzebnego zbrojenia przyjętą ostatecznie wartość F_z dzielimy przez wartość współczynnika ξ (str. 26), która to wielkość uzależniona jest od rodzaju zastosowanych okładzin.

5.1.8. Określenie wielkości sił wewnętrznych i rozporu H dla normowanych formatów odrzwi obudowy ŁK przy charakterystycznych wskaźnikach zwięzłości skał i związanych z nim ciężarach objętościowych.

W celu ułatwienia praktycznego wykorzystania przedstawionej metodyki obliczania obudowy stalowo-betonowej wyznaczono przy wykorzystaniu maszyny cyfrowej podstawowe wielkości wewnętrzne jak:

- wartości i kierunki składowych poziomych reakcji H ,
- wartości momentu M_{α_0} i siły osiowej N_{α_0} w przekroju α
- wartości momentu M_{α} i siły osiowej N_{α} w kluczu obudowy.

Dla obliczenia przedmiotowych wartości założono wymiary zastępcze obudowy tj. wysokość odcinka pionowego "a" i promień zastępczy sklepienia "r" o wielkościach podanych poniżej w tablicy

Tablica

Format odrzwi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a [m]	1,20	1,10	1,05	1,10	1,15	1,20	1,10	1,00	0,95	0,90	0,85
r [m]	1,20	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,15	2,40	2,65	3,00

Mając na uwadze fakt, że obudowa stalowo-betonowa znajdzie zastosowanie przede wszystkim w trudnych warunkach geologiczno-górnicych oraz wykorzystując wskazania normy resortowej, do obliczeń przyjęto kolejno następujące wskaźniki zwięzłości i przyporządkowane im ciężary objętościowe skał:

$$\mu = 0,3 \qquad \gamma = 1,9 \text{ T/m}^3 \qquad \rho = 16^{\circ}42'$$

$$\mu = 0,5 \qquad \gamma = 1,5 \text{ Tm}^3 \qquad \rho = 30^{\circ}58'$$

$\mu = 1$	$\gamma = 1,8 \text{ T/m}^3$	$\rho = 45^{\circ}00'$
$\mu = 2$	$\gamma = 2,2 \text{ T/m}^3$	$\rho = 63^{\circ}26'$

Uzyskane z wyliczeń wielkości przedstawiono graficznie na rysunkach 25, 26, 27.

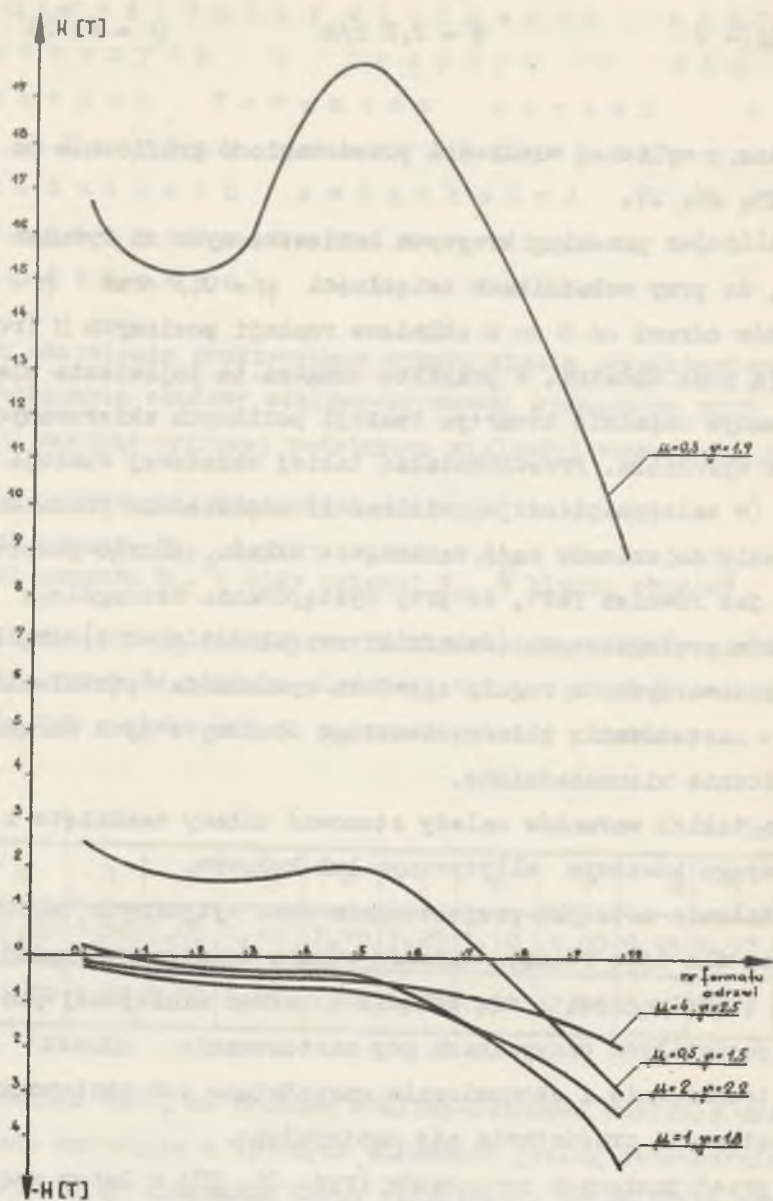
Analizując przebieg krzywych zamieszczonych na rysunku stwierdzamy, że przy wskaźnikach zwięzłości $\mu = 0,3$ oraz $\mu = 0,5$ dla formatów odrzwi od 0 do 8 składowe reakcji poziomych H (rozpór) posiadają znak dodatni. W praktyce oznacza to pojawienie się w rozpatrywanym układzie otwartym reakcji poziomych skierowanych na zewnętrzny wyrobiska. Przeciwdziałać takiej składowej reakcji może jedynie (w zależności od jej wielkości) odpowiednie fundamentowanie, kotwienie do ociosów bądź zamknięcie układu. Biorąc powyższe pod uwagę jak również fakt, że przy występowaniu szczególnie trudnych warunków geologicznych (wskaźniki zwięzłości $\mu < 1$) drażeniu wyrobisk towarzyszy z reguły zjawisko wyciskania (pęcznienia) spągu uznano zastosowanie układu otwartego obudowy w tych warunkach za technicznie nieuzasadnione.

Dla takich warunków należy stosować układy zamknięte z zamknięciem spągu koszowym eliptycznym lub kołowym.

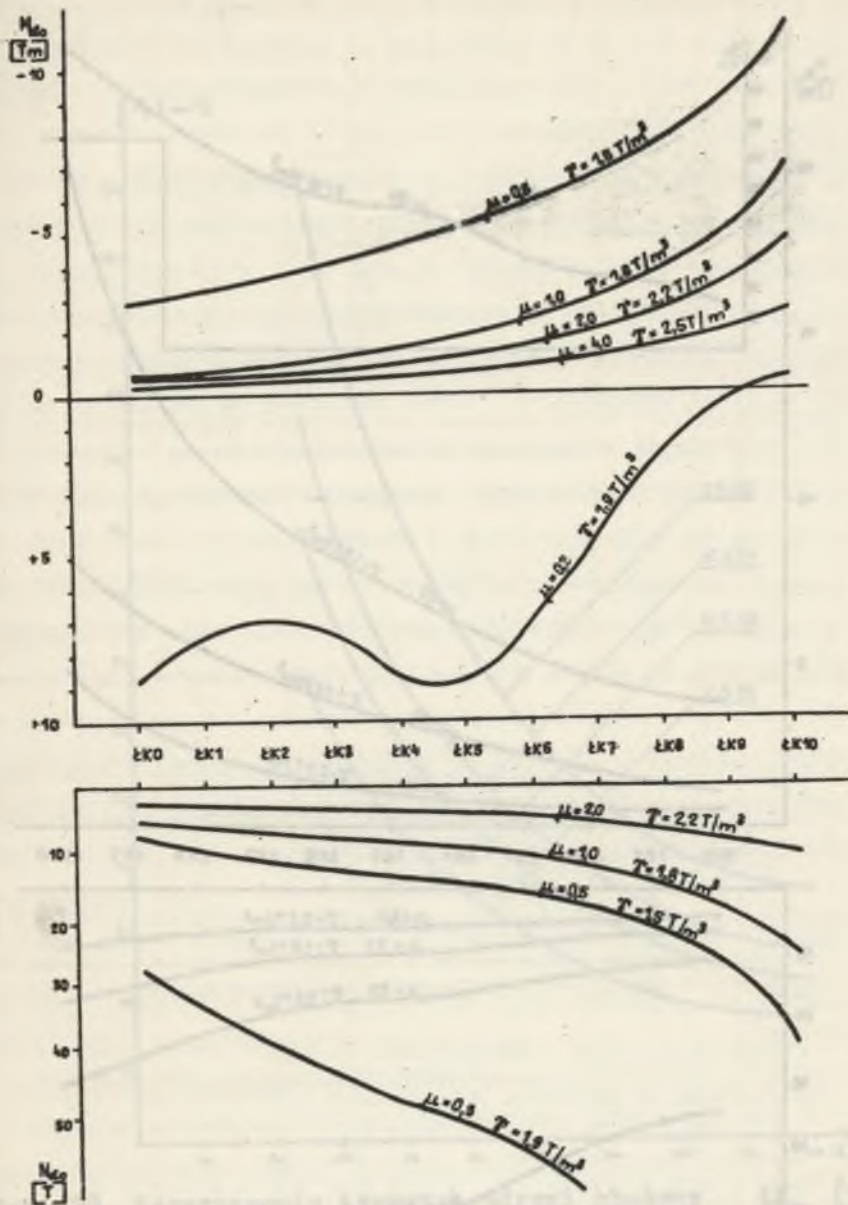
Ustalenie metodyki projektowania oraz wytycznych technologii wykonania dla tego rodzaju układów wymaga dodatkowych badań oraz rozważań teoretycznych i nie wchodzi w zakres niniejszej pracy.

W pozostałych przypadkach gdy zastosowanie układu otwartego jest technicznie i ekonomicznie uzasadnione tok postępowania przy projektowaniu przedstawia się następująco.

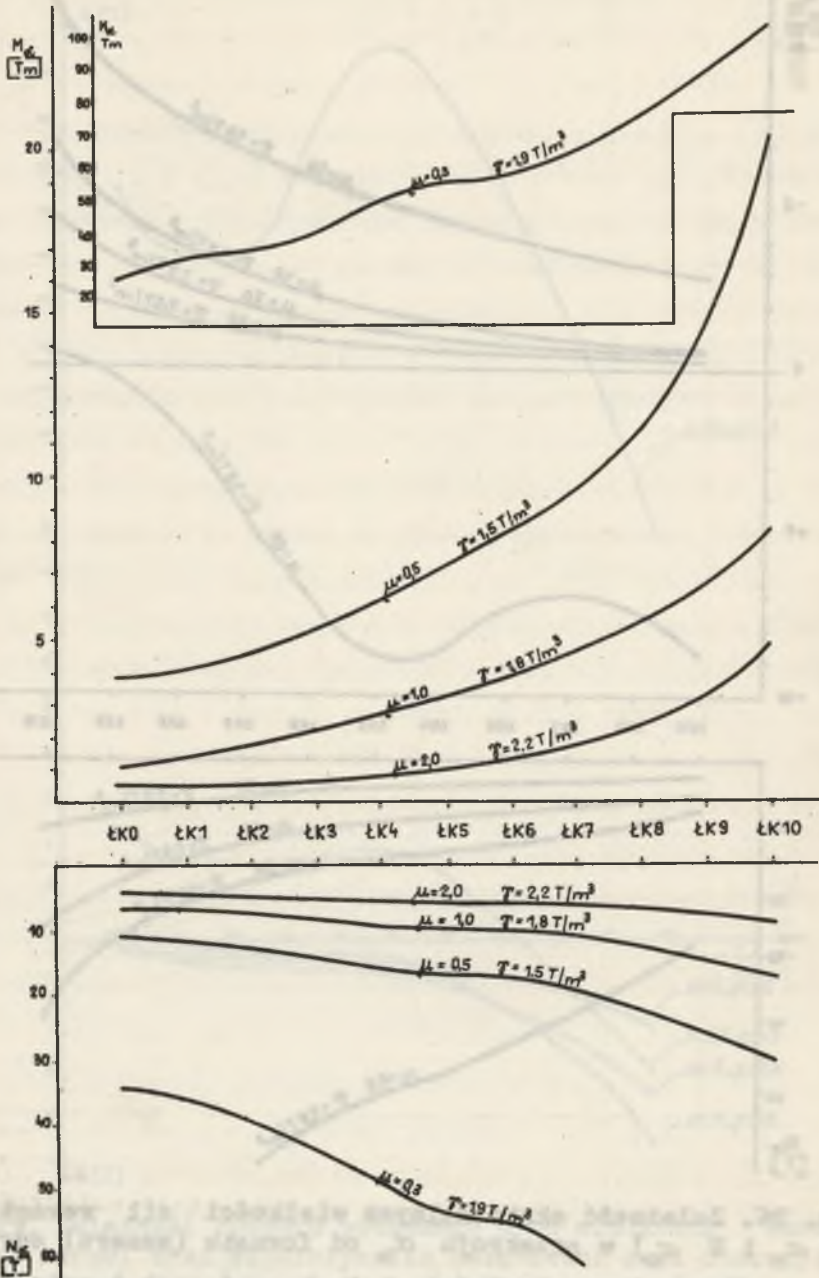
Z przedstawionych nomogramów (rys. 26, 27) w łatwy sposób można odczytać wielkości sił wewnętrznych dla żadanego formatu odrzwi i konkretnego wskaźnika zwięzłości skał. Wielkości te oraz przyjęte parametry wytrzymałościowe materiałów wchodzących w skład obudowy



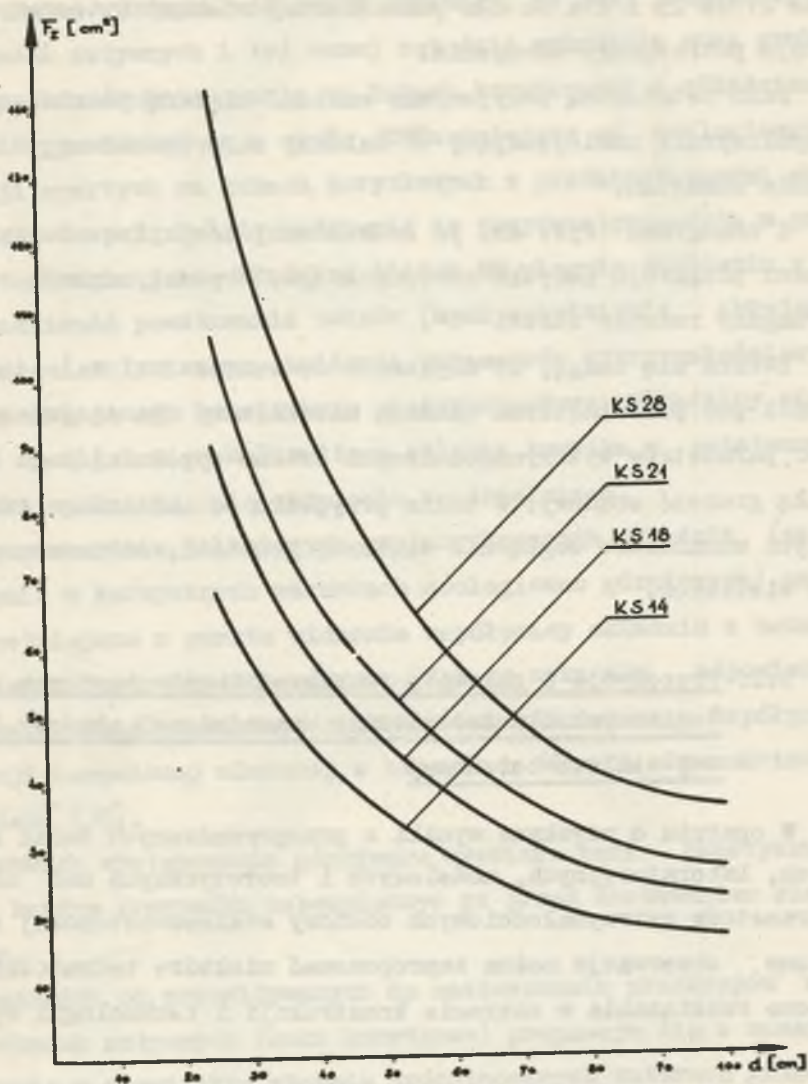
Rys. 25. Zależność rozpru poziomego H od wielkości (numeru) formatu odrzwi oraz współczynnika zwięzłości skał otaczających i związanego z nim ciężaru objętościowego ośrodka



Rys. 26. Zależność ekstremalnych wielkości sił wewnętrznych (M_{α_0} i N_{α_0}) w przekroju α_0 od formatu (numeru) odrzwi oraz współczynnika zwięzłości skał otaczających i związanego z nim ciężaru objętościowego ośrodka



Rys. 27. Zależność ekstremalnych wielkości sił wewnętrznych (M_α i N_α) w przekroju α (w kluczu obudowy) od formatu (numera) odrzwi oraz współczynnika zwięzłości skał i związanego z nim ciężaru objętościowego



Rys. 28. Zagęszczenie typowych drzwi obrotowej LK (typowych wkładek stalowych) w zależności od wymaganego przekroju zbrojenia

(betonu wypełniającego i stalowych wkładek) przy założeniu, że grubość obudowy $G = h + 11$ cm pozwalają na szybkie określenie ze wzorów 21 do 23 i 21a do 23a poszukiwanej wielkości teoretycznej przekroju potrzebnego zbrojenia.

Jako ostateczną przyjmujemy wartość większą podzieloną przez współczynnik zmniejszający ξ zależny od projektowanych do zastosowania okładzin.

Z nomogramu (rys. 28) po ostatecznej decyzji co do wyboru wielkości przekroju korytka stropnicowego, w prosty sposób wyznaczymy wymagany rozstaw odrzwi "d".

Zwraca się uwagę, że uzyskanie we wzorze 21 (21a) ujemnej wartości pod pierwiastkiem oznacza niewłaściwy dla danych warunków dobór parametrów wytrzymałościowych betonu wypełniającego lub zbyt małą grubość obudowy. W takim przypadku po założeniu korzystniejszych wskaźników względnie większej grubości, obliczamy poszukiwaną wielkość.

5.2. Propozycje w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych dla technicznie uzasadnionej obudowy kombinowanej stalowo-betonowej

W oparciu o uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań środowiskowych, laboratoryjnych, modelowych i teoretycznych nad określeniem parametrów wytrzymałościowych obudowy stalowo-betonowej oraz poczynione obserwacje można zaproponować niektóre technicznie uzasadnione rozwiązania w zakresie konstrukcji i technologii wykonania.

5.2.1. R o z w i ą z a n i a k o n s t r u k c y j n e

Przeprowadzone badania kompleksowe najczęściej stosowanych rozwiązań obudowy kombinowanej stalowo-betonowej wykazały, że są one postępowe. Nośność rzeczywista badanych elementów czy modeli o-

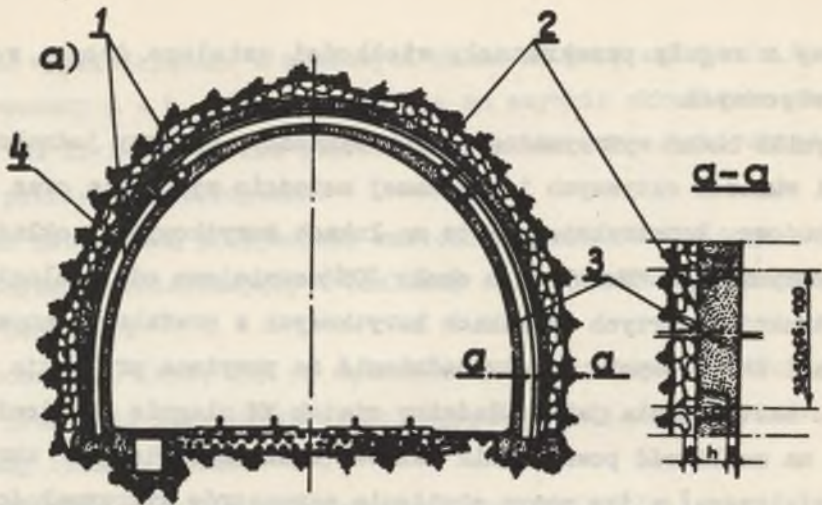
budowy z reguły przekraczała wielkości ustalone drogą rozważań teoretycznych

Wyniki badań wytrzymałościowych wykazały, że przy jednakowej ilości wkładek sztywnych i tej samej metodzie wykonania oraz grubości obudowy, konstrukcje oparte na łukach korytkowych z okładzinami siatkowymi typu "Mawo" są o około 70% mocniejsze od analogicznych konstrukcji opartych na łukach korytkowych z prefabrykowanymi okładzinami żelbetowymi. Należy nadmienić że powyższa proporcja w przypadku zastosowania jako okładziny siatek MM ulegnie obniżeniu z uwagi na możliwość powstawania zwisów (brak zakotwienia zbrojenia rozdzielczego) a tym samym obniżenia parametrów wytrzymałościowych betonu wypełniającego konstrukcję międzyprzesłową. Okładziny siatkowe poza umożliwieniem całkowitego oblania korytka w ostatecznym rozrachunku spełniają rolę zbrojenia rozdzielczego.

Przy zastosowaniu żelbetowych prefabrykowanych okładzin (zalecane jedynie w korzystnych warunkach geologiczno górniczych) znacznie korzystniejsze z punktu widzenia współpracy okładzin z betonem wypełniającym jest układane ażurowe. Jak to wykazały odpowiednie badania taki układ gwarantuje znacznie korzystniejszą współpracę konstrukcji zespolonej złożonej z betonów o różnych własnościach i różnym wieku [35].

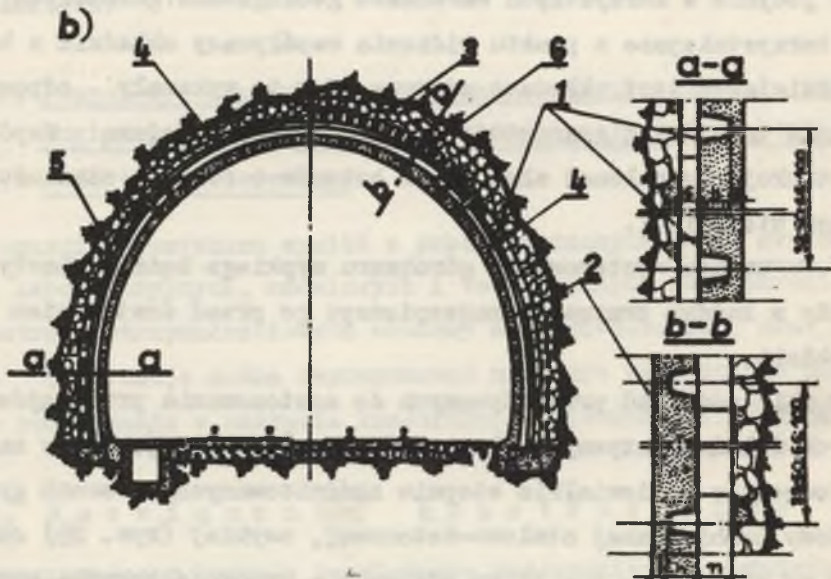
W warunkach występowania górotworu sypkiego bądź plastycznego należy w każdym przypadku zabezpieczyć go przed dostawaniem się do wyrobiska.

W zależności od przewidywanych do zastosowania przekrojów normowych wkładek sztywnych (łuki korytkowe) propomuje się w zasadzie zastosowanie w niewielkim stopniu zróżnicowanych czterech grubości obudowy kombinowanej stalowo-betonowej, zwykłej (rys. 29) obliczonych wg wzoru: $G = h + 11$ cm, gdzie: h - wysokość korytka stropnicowego, oraz w wyjątkowych przypadkach obudowy kombinowanej stalowo-betonowej wzmocnionej (rys. 30). Takie wypełnienie konstrukcji



Rys. 29a. Obudowa kombinowana stalowo-betonowa zwykła - w układzie otwartym

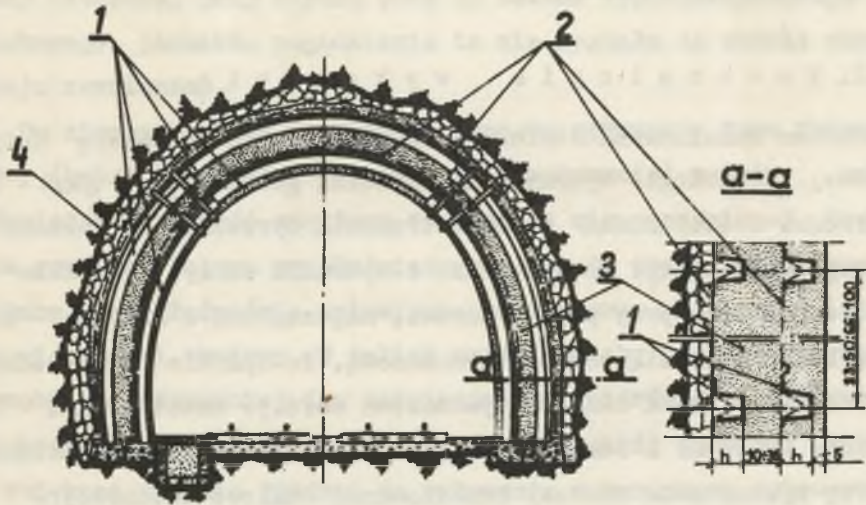
a - z zastosowaniem prefabrykowanych okładzin sztywnych, 1 - wkładka stalowa sztywna (LK), 2 - okładzina siatkowa, 3 - beton wypełniający, 4 - wykładka kamienna



Rys. 29b. Obudowa kombinowana stalowo-betonowa zwykła - w układzie otwartym

b - z zastosowaniem siatkowych okładzin podatnych, 1 - wkładka stalowa sztywna (LK), 2 - okładzina siatkowa, 3 - beton wypełniający, 4 - wykładka kamienna

szkieletowej betonem pozwala przy zastosowanych schematach statycznych obudowy na najbardziej ekonomiczne wykorzystanie stalowych wkładek sztywnych.



Rys. 30. Obudowa kombinowana stalowo-betonowa wzmocniona - w układzie otwartym

1 - wkładki stalowe sztywne, 2 - okładziny siatkowe, 3 - beton wypełniający, 4 - wykładka

Zamki cierne obudowy z łuków korytkowych stanowiące w pierwszej fazie element upodatniający obudowę, po zabetonowaniu zostają wystarczająco usztywnione i nie wymagają dodatkowego specjalnego usztywnienia przed wypełnieniem. Ich nośność i sztywność przy zgięciu jest nieco wyższa od analogicznych wielkości wkładki ciągłej (korytka stropnicowe czy ociosowe).

Z nomogramu (rys. 25) wynika jednoznacznie zakres praktycznej stosowalności układu otwartego obudowy kombinowanej stalowo-betonowej. Zmiana znaku (kierunku) oznaczającego kierunek działania reakcji poziomej (rozporu H) informuje nas o potrzebie (względnie braku takowej) zamknięcia obudowy. Wielkość składowej poziomej dział

łającej na zewnątrz wyrobiska (rozporu H) decyduje o sposobie zamknięcia. W zależności od istniejących warunków geologiczno-górnicych oraz wielkości rozporu może to być zwykle kotwienie łuków ociosowych, zamknięcie koszowe części spągowej lub obudowa zamknięta kołowa czy eliptyczna.

5.2.2. T e c h n o l o g i a w y k o n a n i a

Obudowa kombinowana stalowo-betonowa pozwala na zmianę dotychczasowej technologii wykonywania wyrobisk górniczych, gdyż daje możliwości rozdzielenia procesu drażenia wyrobiska od wznoszenia obudowy ostatecznej. Po urobieniu i wybraniu skały, wyrobisko zostaje zabudowane przy pomocy odrzwi, najczęściej z ŁK oraz okładzin, które stanowią obudowę tymczasową. Po upływie odpowiedniego czasu dotychczasowa obudowa tymczasowa zostaje zabetonowana (wypełniona betonem) i stanowi pewien rodzaj konstrukcji zespolonej.

Przy wykonywaniu obudowy kombinowanej stalowo-betonowej w warunkach dołowych mogą być stosowane takie metody [41] jak:

- układanie betonu wypełniającego wykonanego sposobem "tradycyjnym" za odeskowanie przy użyciu podajnika pneumatycznego lub pompy,
- nakładanie betonu wypełniającego sposobem natryskowym przy użyciu betoniarki natryskowej (torkretnicy).

B e t o n t r a d y c y j n y

Do wykonania obudowy stalowo-betonowej z betonu tradycyjnego wymagane jest każdorazowo odpowiedniej konstrukcji odeskowanie, punkt wytwarzania masy betonowej oraz urządzenie do podawania betonu [42].

Przy podawaniu betonu za pomocą podajnika pneumatycznego występuje szkodliwe dla konstrukcji zjawisko rozsegregowywania betonu, które jest tym większe im dłuższa jest odległość podawania. Dla ograniczenia tego zjawiska jak podają źródła literaturowe potwier-

dzzone zresztą obserwacjami własnymi [43], należy w tych warunkach skrócić drogę transportu masy betonowej do około 10 m oraz wykonywać beton na frakcjach kruszywa do 10 mm.

Znacznie korzystniejsze wyniki pod tym względem daje podawanie masy betonowej przy użyciu pomp do betonu typu przeponowego bądź tłokowego, jednakże zagadnienie to nie zostało do chwili obecnej w kraju rozwiązane.

Do ujemnych stron omawianego sposobu wykonania tego rodzaju obudowy (beton tradycyjny podawany za odeskowanie) należy zaliczyć również konieczność częstego stosowania nieuzasadnionej technicznie grubości betonu wypełniającego. Jest to spowodowane często spotykaną niedokładnością ustawienia odrzwi oraz częstymi lokalnymi zagnieceniami obudowy. W takich warunkach aby uniknąć przebudowy wyrobiska najczęściej dla ominięcia tych nierówności powiększa się grubość obudowy a tym samym zmniejsza przekrój użytkowy wyrobiska i zwiększa zużycie trudnej do wykonania w warunkach dołowych masy betonowej.

Omawiana wyżej metoda napotyka na szczególnie duże trudności realizacyjne zwłaszcza w wyrobiskach o zmiennym kształcie, jak to ma miejsce w przypadku skrzyżowań rozgałęzień czy komór.

B e t o n n a t r y s k o w y

Do wykonania obudowy stalowo-betonowej (wypełnienia szkieletu betonem) potrzebny jest ciąg technologiczny dla podawania, dozowania i zmieszania składników oraz urządzenie do narzucania betonu tzw. betoniarka natryskowa [42] (często zwana torkretnicą). Beton układany tym sposobem jest doskonale zagęszczony i praktycznie wypełnia wszystkie szczeliny pomiędzy okładzinami i podsadzką wiążąc obudowę z górotworem. Poza zaletami do których zaliczyć można znaczną wydajność pracy możliwość wypełnienia betonu na płaszczyźnie o dowolnej krzywiznie, przedmiotowa metoda ma również wady, z

których najważniejsza to duży odpad, bo dochodzący w partiach stropowych do 30%.

Dla wykorzystania możliwie największej ilości zalet obu omawianych metod przy równoczesnym wyeliminowaniu ich wad autor widzi potrzebę opracowania metody pośredniej układania betonu wypełniającego. Mianowicie chodzi tutaj o połączenie betonu natryskowego z lekkim i prostym odeskowaniem przenośnym układanym w miarę zabetonowywania, dzięki czemu uniknie się rozsegregowania betonu, dobre jego zagęszczenie a jednocześnie zlikwiduje odpady.

6. WNIOSKI KONCOWE

Przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy kompleksowe badania i rozważania teoretyczne pozwoliły na dokonanie pewnych uogólnień i wysunięcie szeregu wniosków dla projektowania technologii wykonania oraz ustalenia kierunków dalszych badań nad zagadnieniem. Ciekawsze z nich przytoczono poniżej:

1. Uzyskane wyniki z badań laboratoryjnych i modelowych pozwoliły bliżej poznać parametry wytrzymałościowe nowego tworzywa, oraz wykazały wysokie walory wytrzymałościowe konstrukcji betonowych, zbrojonych regularnie rozmieszczonymi wkładkami w postaci stalowych łuków korytkowych. Dotyczy to szczególnie konstrukcji zakrzywionych w postaci ustrojów przestrzennych. Pęknięcie betonu nie oznacza stanu zniszczenia konstrukcji lecz jedynie pełne włączenie do przenoszenia obciążeń wkładek stalowych.

2. Wytrzymałość konstrukcji obudowy jest uzależniona w decydującym stopniu od rodzaju zbrojenia rozdzielczego, którego rolę spełniają okładziny górnicze. Wytrzymałość rzeczywista modeli z okładzinami sztywnymi żelbetowymi była dwukrotnie wyższa od obliczonej na drodze teoretycznej (bez uwzględnienia zbrojenia rozdziel-

czego), zaś modeli z okładzinami siatkowymi typu "Mawo" aż 3 1/2 krotnie.

3. Z przedstawionych wyżej relacji wytrzymałościowych jak również na podstawie znajomości parametrów wytrzymałościowych podstawowych typów okładzin górniczych nasuwa się praktyczny wniosek, że w konstrukcjach tego typu winno się stosować w pierwszym rzędzie okładziny siatkowe typu "Mawo". Okładziny sztywne (najczęściej prefabrykowane żelbetowe) mogą znaleźć zastosowanie jedynie przy korzystnych warunkach geologiczno-górniczych przy współczynniku zwięzłości skał otaczających ≥ 4 .

4. Zastosowanie okładzin siatkowych typu "Mawo" z jednej strony umożliwia wypełnienie korytek (wkładek sztywnych) od strony górotworu betonem z drugiej zaś gwarantuje wzmocnienie betonu wypełniającego przestrzenie pomiędzy wkładkami. Tak wzmocniony beton nawet w przypadku wystąpienia ciśnień dynamicznych nie jest narażony na odpadanie dużymi blokami zagrażającymi załodze czy urządzeniom znajdującym się w zagrożonym wyrobisku.

5. Z wypróbowanych technologii wykonania tego rodzaju obudowy na obecnym etapie na wyróżnienie zasługuje metoda natryskowa, co nie oznacza że stanowi ona idealne rozwiązanie w tym zakresie. Poza większą wytrzymałością i jednorodnością betonu wypełniającego daje lepsze wypełnienie konstrukcji oraz możliwość nakładania powłoki o dowolnej grubości i na płaszczyznach dowolnego kształtu. Do wad tej metody można zaliczyć obecnie duży odpad zwłaszcza przy wypełnianiu partii stropowych wyrobiska.

6. Określenie na drodze teoretycznej dla rozpatrywanego układu otwartego ekstremalnych wartości wielkości wewnętrznych (momentów gnących i sił osiowych) oraz wielkości i kierunku rozporu poziome-

go (H) dla podstawowych formatów odrzwi i najczęściej spotykanych wskaźników zwięzłości skał (rys. 25, 26, 27), dało podstawę do ustalenia zakresu praktycznej stosowalności tegoż układu. Z przeprowadzonych rozważań i obliczeń wynika, że zastosowanie układu otwartego obudowy kombinowanej stalowo-betonowej jest technicznie uzasadnione dla całej gamy formatów przy wskaźniku zwięzłości wg Protodiakonowa $\mu \geq 1$.

7. Przy projektowaniu układów otwartych obudowy stalowo-betonowej należy wielkości wewnętrzne oraz wielkość rozporu wyznaczyć z wykresów (rys. 25, 26, 27), a następnie korzystając z równań 20 do 23 oraz 20a do 23a wyznaczyć potrzebny przekrój zbrojenia. Ilość wkładek tj. rozstaw odrzwi wyznaczymy z diagramu (rys. 28).

8. Jak już wspomniano wyżej przy występowaniu wszechstronnych ciśnień (wskaźnik zwięzłości $\mu < 1$) zachodzi konieczność zastosowania układu zamkniętego. Może to być tzw. zamknięcie koszowe od strony spągu układu otwartego bądź obudowa zamknięta przekroju kołowym. Z uwagi na zmianę układu statycznego ustalenie metody projektowania dla tych przypadków wymaga przeprowadzenia odrębnych badań modelowych i rozważań teoretycznych.

9. Obudowa kombinowana stalowo-betonowa jest najodpowiedniejszą spośród dotychczas u nas stosowanych, w warunkach występowania ciśnienia dynamicznego, a więc w warunkach jakich należy coraz częściej oczekiwać w miarę wzrostu głębokości przebijanych wyrobisk. Obniżenie tego ciśnienia do wartości nie przekraczającej nośności obudowy ostatecznej (wypełnionej betonem), uzyskuje się dopuszczając do odpowiedniego przemieszczenia górotworu w kierunku wyrobiska. Warunek ten spełnia przedmiotowa obudowa, będąca w początkowej fazie swej pracy podatną. Z zagadnieniem tym jednak wiąże się konieczność wyznaczenia drogą badań i rozważań teoretycznych wielkości żądanego przemieszczenia i czasu pracy obudowy ŁK przed jej zabetonowaniem.

LITERATURA

- [1] Borecki M. Chudek M.: *Mechanika Górotworu*. Skrypt uczelniany 1968.
- [2] Borecki M. Szczurowski: *Obciążenie i praca obudowy wyrobisk korytarzowych*. Przegląd Górniczy, 1954.
- [3] Borusiewicz W.: *Prostokątny wykres naprężeń jako podstawa obliczania przekrojów żelbetowych*. Inżynieria i budownictwo 1951, r. nr 1.
- [4] Borusiewicz W.: *Obliczanie betonowych i żelbetowych ław pod ściany konstrukcyjne*. Inżynieria i budownictwo 1955 r. nr 10.
- [5] Bryża S., Suwalski L.: *Beton i żelbet*. Wyd. 2 Warszawa 1954 r. Budownictwo i Architektura.
- [6] Buchman A.S., Goleskuł M.N.: *Usan - Podgornow B.M.: Żeliezobetonnyje priedwartielno napriazhomnyje zatriażki szachtnoj krepki CITI Moskwa 1959*. Ugletiechizdat.
- [7] Chudek M.: *Obciążenie obudowy wyrobisk korytarzowych jako funkcja rodzaju skał oraz wymiarów i lokalizacji wyrobiska*. Rudy żelaza 1963 r, nr 11-12.
- [8] Chudek M.: *Obudowa wyrobisk. Obudowa kamienna metalowa, mieszana*. Wydawnictwo Śląsk 1968 r.
- [9] Chudek M., Podgórski K.: *Graficzno-analityczny sposób sprawdzenia obliczeń obudowy murowej wyrobisk korytarzowych*. Przegląd Górniczy 1961, r, nr 2.
- [10] Chudek M.: *Obudowa kombinowana (murowo-stalowa) poziomych wyrobisk górniczych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo 13.
- [11] Chudek M.: *Niektóre problemy kształtowania i obliczania podatnej obudowy metalowej wyrobisk korytarzowych*. Przegląd Górniczy 1964 r, nr 3.
- [12] Chudek M.: *Zachowanie się obudowy ŁP w chodnikach przyścianowych w kopalni Z*. Wiadomości Górnicze, 1964 r. nr 10.
- [13] Cimbariewicz M.: *Rudnicznoje krepjenje, Moskwa 1948 r.*
- [14] Dawydow S.S.: *Obliczanie i projektowanie konstrukcji podziemnych*. Warszawa 1964 r. Wyd. MON.
- [15] *Ekspertyza górnicza wykonana w roku 1963 przez prof. dr inż. Sakustowicza z AGH w Krakowie.*

- [16] Fajfer Z., Żmuda J.: Zastąpienie obudowy murowej obudową ŁP + beton przy budowie podszybia kopalni "Staszic". Przegląd Górniczy 1964 r, nr 7-8.
- [17] Pilcek H.: Stan naprężenia i odkształcenia wokół wyrobiska chodnikowego jako funkcja czasu. Zeszyty Problemowe Górnictwa. Komitet Górnictwa PAN, 1963, r, z.1.
- [18] Galanka J.: Kryteria wzorowej obudowy podporowej wyrobisk korytarzowych. Przegląd Górniczy 1962 r, nr 3.
- [19] Iliew M., Popiwanow D.: Nowoczesne sposoby obudowy wyrobisk przygotowawczych i głównych w kopalniach N.R. Bułgarii. Przegląd Górniczy, 1962 r, nr 11.
- [20] Instrukcja stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji - ITB Warszawa 1966 r.
- [21] Iwanow P.S. i in.: Sbornaja żelzobietonnaja skorupnaja kriepl WNIIOMSzs - Inf. Soobszczenije nr 53, Charkow 1957.
- [22] Katalog typowych wyrobisk korytarzowych. Wydanie II, z 3,4,5,6.
- [23] Kisielow S.S.: Opridieleniye nagruzok pri rasczotie kriepliej iz sbornego żelzobietona. Szehtnoje Stroitelstwo 1959 r, nr 1.
- [24] Kowal Z.: O podstawach wymiarowania konstrukcji. Referat na XIV Konferencję Naukową Komitetu Inżynierii PAN i PZITB 1968 r.
- [25] Lewicki B., Kukulski W., Pawlikowski J.: ściany i skupy z betonu i muru obciążone mimośrodowo. Podstawy teoretyczne obliczeń, PWN. Warszawa 1954 r.
- [26] Matysik A.: Wybór rodzaju obudowy z prefabrykatów dla różnych warunków geologiczno-górniczych na podstawie kryteriów techniczno-ekonomicznych. Praca doktorska. Kraków 1964 r.
- [27] Neyman B., Kwiatek J.: Obudowa żelbetowa równej wytrzymałości. Przegląd Górniczy 1961,r, nr 10.
- [28] Nowotarski S.: Mechanizacja betonowania wyrobisk chodnikowych. Przegląd Górniczy 1958 r, nr 3.
- [29] Nrunarski L.: Nieniszczące badanie betonu Cz.I. Badanie sklerometryczne. Warszawa 1966 r.
- [30] Pękacki W.: Budownictwo Górnicze Cz.I. Wykonywanie wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wydawnictwo Śląsk. Katowice 1967r.
- [31] Powers T.T.: Ćwierć wieku podstawowych badań betonu. Skokie-Illionis USA. Cement, Wapno, Gips. 1961 r. nr 7.
- [32] Rułka K.: Parametry wytrzymałościowe obudowy kombinowanej stalowo-betonowej w świetle badań i obserwacji. Przegląd Górniczy nr 5, 1970 r.

- [33] Rułka K.: Badania teoretyczne i modelowe nad określeniem parametrów wytrzymałościowych obudowy kombinowanej stalowo-betonowej. Rudy i Metale Nieżelazne 1970 r. (w druku)
- [34] Rułka K.: Badanie ustrojów przestrzennych obudowy kombinowanej stalowo-betonowej. Archiwum Górnictwa PAN 1970 r. (przyjęty do druku).
- [35] Rułka K.: Badanie współpracy świeżego betonu z prefabrykowanymi elementami siatkobetonowymi. Rudy i Metale Nieżelazne 1968 r., nr 10.
- [36] Rułka K.: Zagadnienie współpracy zespolonych konstrukcji betonowych o różnym wieku w świetle badań modelowych. Budownictwo Górnicze, 1968 r., nr 3.
- [37] Rułka K.: Niektóre problemy projektowania i wykonawstwa obudowy stalowo-betonowej wyrobisk górniczych. Budownictwo Górnicze, 1968, nr 4.
- [38] Rułka K., Chudek M., Wojtusiak A.: Niektóre problemy projektowania prefabrykowanej obudowy wyrobisk górniczych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo, 1969 r.
- [39] Rułka K., Stańczyk F.: Betonowa obudowa monolityczna wyrobisk korytarzowych w deskowaniu siatkobetonowym. Rudy i Metale Nieżelazne 1967 r., nr 12.
- [40] Rułka K., Mrozik Z.: Nowe rodzaje obudowy wyrobisk korytarzowych. Materiały na konferencję naukową na temat: Postęp Techniczny w Budownictwie Górniczym, 1968 r.
- [41] Rułka K., Wojtusiak A., Mateja J.: Problemy projektowania i wykonawstwa obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych drążonych w trudnych warunkach geologiczno-górniczych. Materiały na konferencję naukową na temat: Postęp techniczny w Budownictwie Podziemnym Kopalń 1969 r.
- [42] Rułka K., Mateja J.: Kierunki mechanizacji wykonania obudowy betonowej w wyrobiskach korytarzowych i komorowych. Materiały na konferencję naukową na temat: Postęp Techniczny w Budownictwie Podziemnym Kopalń 1969 r.
- [43] Rułka K.: Studium nad wytrzymałością obudowy betonowej zbrojonej regularnie rozmieszczonymi wkładkami sztywnymi w postaci żuków korytkowych - Praca habilitacyjna - pełne wydanie 1969 r.
- [44] Rüşch H.: Badania wytrzymałości strefy ściskanej elementów zginanych. Berlin 1955 r. z.120.
- [45] Sałustowicz A.: Pole naprężeń wokół wyrobiska w górotworze sprężystym fizycznie nieliniowym. Archiwum Górnictwa. 1963 r. nr 1.

- [46] Sałustowicz A.: Ciśnienie górotworu na obudowę wyrobisk jako funkcja czasu. Archiwum Górnictwa 1965 t.X, z.3.
- [47] Sikora W., Kwiatek J.: Badania modelowe zachowania się wyrobisk korytarzowych na dużych głębokościach. Dokumentacja GIG Pion Górniczy, 1964 r.
- [48] Sterkowicz: Rachunek krakowianowy w zastosowaniu do wieloprzegubowej obudowy łukowej w sprężystym środowisku. Węgiel Brunatny 1961, nr 3-4.
- [49] Szczepaniak Z.: Stan naprężeń w narożach połączeń podziemnych wyrobisk korytarzowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Seria Górnictwo nr 7, Gliwice 1963 r.
- [40] Szuścik W.: Stan graniczny profilów obudowy górniczej. Praca doktorska. Gliwice 1962 r.
- [51] Waszyszczyński Z.: Obliczenie sprężysto-plastycznych łuków przy uwzględnieniu efektów odciążenia. Referat na XIV Konferencję Naukową Komitetu Inżynierii PAN: PZITB, 1968 r.
- [52] Zawistowski J.: Przyrząd pneumatyczny do próbnych obciążeń płaskich elementów konstrukcyjnych. Komunikat na XIV Konferencję Naukową Komitetu Inżynierii PAN i PZITB, 1968 r.

STUDIUM NAD WYTRZYMAŁOŚCIĄ, OBUDOWY BETONOWEJ ZBROJONEJ
REGULARNIE ROZMIESZCZONYMI WKŁADKAMI SZTYWNYMI W POSTACI ŁUKÓW
KORYTKOWYCH

S t r e s z c z e n i e

W oparciu o uzyskane wyniki badań laboratoryjnych, modelowych i obserwacje zrealizowanych dotychczas obudów, określono podstawowe parametry wytrzymałościowe konstrukcji betonowych zbrojonych regularnie rozmieszczonymi wkładkami stalowymi w postaci łuków korytkowych.

Konfrontując wyniki przeprowadzonych rozważań teoretycznych z wielkościami uzyskanymi doświadczalnie, ustalono wielkości współczynników korygujących.

Dla najczęściej spotykanego w praktyce górniczej układu w jakim występuje obudowa kombinowana stalowo-betonowa (żuk dwuprzegubowy o przegubach nieprzesuwnych), opracowano metodykę projektowania oraz podano tok postępowania przy jej wykorzystaniu, ilustrując go przykładem liczbowym.

Wykorzystując opracowaną metodykę projektowania, wyznaczone przy zastosowaniu maszyny cyfrowej ekstremalne wartości sił wewnętrznych (M , N) oraz rozporu poziomego (H) dla wszystkich występujących w praktyce formatów odrzwi obudowy ŁK przy założeniu charakterystycznych (najniekorzystniejszych) przypadków obciążenia.

Całość zakończono wskazaniem praktycznymi w zakresie rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych oraz wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОННОЙ КРЕПИ АРМИРОВАННОЙ РАВНОМЕРНО МЕЩЕННЫМИ ЖЁСТКИМИ ВКЛАДКАМИ В ВИДЕ АРОК ЖЕЛОБЧАТОГО ПРОФИЛЯ

Р е з ю м е

Опираясь на полученные результаты лабораторных исследований, исследования на моделях и наблюдения за построенными до сих пор крепями, определяются основные параметры прочности бетонных конструкций армированных равномерно размещенными стальными вкладками в виде арок желобчатого профиля.

Сопоставляя результаты проведенных теоретических рассуждений с величинами полученными экспериментально, устанавливаются величины поправочных коэффициентов.

Для системы, в какой чаще всего выступает в горной практике комбинированная стально-бетонная крепь (двухшарнирная арка с неподвижным шарниром), разрабатывается методика проектирования, приводится ход работы при её использовании с числовым примером.

Используя разработанную методику проектирования, определены с помощью цифровой вычислительной машины экстремальные значения внутренних сил (M, N) и горизонтальный распор (X) для всех встречающихся в горной практике форматов крепёжных рам ЛК (арки желобчатого профиля) при характерных (самых трудных) случаях нагрузки.

Работа оканчивается практическими указаниями касающимися конструкторских и технологических решений и итогами из проведенных исследований.

STUDIES OVER THE STRENGTH OF CONCRETE LINING
REINFORCED WITH REGULAR SPACED RIGID INSERTS
MADE OF CHANNEL SHAPED YIELDABLE ARCHES

S u m m a r y

Basing on laboratory trials, model tests and observations of concrete lining, strength factors have been determined for structures reinforced with regular spaced yieldable arches.

Comparing theoretical results with figures obtained from laboratory tests, some relating factors have been settled.

A design method has been elaborated for underground structures comprising yieldable arches as reinforcement in concrete lining (bit-hinged arch with non-slipable hinge-joints). The procedure in this method has been exemplified.

Applying the elaborated design method extreme internal forces (M, N) and horizontal thrust (H) have been calculated, for all sizes of yieldable arches, taking into consideration the most unfavourable conditions for the applied service load.

Practical hints for designing and conclusions drawn from trials have been given at the end of the paper.

ÉTUDE DE LA RÉSISTANCE DU SOUTÈNEMENT EN BÉTON
ARMÉ PAR CADRES RIGIDES SOUS FORME DES ARCS EN
PROFILÉ EN U

R é s u m é

En se basant sur les résultats obtenus aux essais laboratoires, essais sur maquettes et sur les observations des soutènements mis au point jusqu'à présent, on a défini de principaux paramètres de résistance des constructions en béton armées par cales en acier sous forme des arcs en profilé en U, régulièrement espacées.

En confrontant les résultats des considérations théoriques effectuées avec les valeurs obtenues par la voie expérimentale, on a établi les grandeurs de coefficients de correction.

Pour le système du soutènement combiné en acier et en béton (cintre à deux articulations et joints non déplaçables) le plus répandu dans la pratique minière, on a élaboré la méthode de dressement de projet et présenté la procédure lors de son application, en illustrant par exemple numérique.

En utilisant la méthode de dressement de projet élaborée, on a déterminé à l'aide de l'ordinateur les valeurs extrêmes des forces intérieures (M, N) et de la poussée horizontale (H) pour toutes les dimensions des cadres en profilé en U existant dans la pratique avec l'admission des cas caractéristiques (les plus désavantageux) de la charge.

En fin on a présenté des indications pratiques dans le domaine concernant des solutions technologiques et de construction ainsi que les conclusions résultant des études effectuées.

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

ukazują się w następujących seriach:

- A. AUTOMATYKA
- B. BUDOWNICTWO
- Ch. CHEMIA
- E. ELEKTRYKA
- En. ENERGETYKA
- G. GÓRNICCTWO
- IS. INŻYNIERIA SANITARNA
- JO. JĘZYKI OBCE
- MF. MATEMATYKA-FIZYKA
- M. MECHANIKA
- NS. NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty
serii G:

Górnictwo z. 1, 1956 r., s. 134, zł 20,—	Górnictwo z. 21, 1967 r., s. 270, zł 17,—
Górnictwo z. 2, 1959 r., s. 96, zł 17,10	Górnictwo z. 22, 1967 r., s. 196, zł 12,—
Górnictwo z. 3, 1961 r., s. 130, zł 21,—	Górnictwo z. 23, 1967 r., s. 69, zł 4,—
Górnictwo z. 4, 1962 r., s. 134, zł 10,95	Górnictwo z. 25, 1967 r., s. 96, zł 5,—
Górnictwo z. 5, 1963 r., s. 158, zł 11,90	Górnictwo z. 26, 1968 r., s. 137, zł 10,—
Górnictwo z. 6, 1963 r., s. 154, zł 8,50	Górnictwo z. 27, 1967 r., s. 378, zł 24,—
Górnictwo z. 7, 1963 r., s. 129, zł 6,80	Górnictwo z. 28, 1968 r., s. 185, zł 11,—
Górnictwo z. 8, 1964 r., s. 175, zł 10,20	Górnictwo z. 29, 1968 r., s. 161, zł 9,—
Górnictwo z. 9, 1964 r., s. 133, zł 10,50	Górnictwo z. 30, 1968 r., s. 237, zł 14,—
Górnictwo z. 10, 1964 r., s. 157, zł 8,75	Górnictwo z. 31, 1968 r., s. 119, zł 8,—
Górnictwo z. 11, 1964 r., s. 221, zł 13,10	Górnictwo z. 32, 1968 r., s. 97, zł 6,—
Górnictwo z. 12, 1964 r., s. 304, zł 15,20	Górnictwo z. 33, 1968 r., s. 113, zł 6,—
Górnictwo z. 13, 1965 r., s. 145, zł 8,40	Górnictwo z. 34, 1968 r., s. 111, zł 7,—
Górnictwo z. 14, 1965 r., s. 78, zł 5,—	Górnictwo z. 25, 1968 r., s. 143.
Górnictwo z. 15, 1966 r., s. 79, zł 5,—	Górnictwo z. 36, 1969 r., s. 243, zł 13,50
Górnictwo z. 16, 1966 r., s. 91, zł 7,—	Górnictwo z. 37, 1969 r., s. 234, zł 14,—
Górnictwo z. 17, 1966 r., s. 113, zł 8,—	Górnictwo z. 38, 1969 r., s. 167, zł 10,—
Górnictwo z. 18, 1966 r., s. 291, zł 16,—	Górnictwo z. 39, 1969 r., s. 76, zł 4,50
Górnictwo z. 19, 1966 r., s. 150, zł 11,—	Górnictwo z. 40, 1969 r., s. 107, zł 7,—
Górnictwo z. 20, 1966 r., s. 84, zł 5,—	Górnictwo z. 41, 1969 r., s. 642, zł 42,—

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej

P

3351/70