GÓRNICTWO z. 63

JÓZEF MAŁOSZEWSKI

STUDIUM NAD USTALENIEM OPTYMALNYCH PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH I TECHNOLOGII STOSOWANIA OBUDOWY Z BETONU MONOLITYCZNEGO W SZYBACH WYKONYWANYCH METODĄ WIERTNICZĄ

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZESZYT NAUKOWY Nr 421 – GLIWICE 1974

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 421

JÓZEF MAŁOSZEWSKI

STUDIUM NAD USTALENIEM OPTYMALNYCH PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH I TECHNOLOGII STOSOWANIA OBUDOWY Z BETONU MONOLITYCZNEGO W SZYBACH WYKONYWANYCH METODĄ WIERTNICZĄ

GLIWICE 1974

REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Iwo Pollo

REDAKTOR DZIAŁU

Mirosław Chudek

SEKRETARZ REDAKCJI

Anna Błażkiewicz

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Kujawska 2

Nakł. 80+170 Ark. wyd. 6,2 Ark. druk. 5.9 Papier offsetowy kl. V, 70x100, 70 g
Oddano do druku 16.7.1974 Podpis. do druku 11.8.1974 Druk zakończ. w sierpniu 1974
Zam. 945 16. 7. 1974 H-22 Cena zł 10,—

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

SPIS TREŚCI

Str.

1. Wprowadzenie 5

2. Ocena aktualnego stanu w zakresie konstrukcji, technologii oraz metod projektowania obudowy wyrobisk pionowych głębionych metodami wiertniczymi 7

2.1. Ocena rozwiązań konstrukcyjnych 7

2.2. Ocena stosowanych technologii wznoszenia obudów 8

2.3. Ocena metod projektowania obudowy 9

3. Cel, zakres pracy i założenia 10

4. Badanie nad ustaleniem optymalnych receptur oraz technologii wykonania elementów obudowy z betonu monolitycznego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej 12

4.1. Wprowadzenie 12

4.2. Badania laboratoryjne nad ustaleniem warunków wiązania oraz parametrów wytrzymałościowych zaczynów cementowych wprowadzanych w środowisko iłowej płuczki wiertniczej 13

4.3. Badanie laboratoryjne nad ustaleniem optymalnych receptur oraz warunków wiązania betonów cementowych układanych tradycyjnie oraz systemem podwodnym w środowisku iłowej płuczki wiertniczej 22

4.4. Badania modelowe nad ustaleniem optymalnych receptur oraz technologii wykonania elementów betonowych obudowy szybów w warunkach iłowej płuczki wiertniczej 31

4.5. Próby półprzemysłowe zastosowania wybranych receptur oraz technologii układania, przy betonowaniu elementów obudowy w środowisku iłowej płuczki wiertniczej 49

4.6. Ocena wyników badań wytrzymałościowych i wnioski 58

5. Próba teoretycznego ujęcia wpływu uzyskanego pierścienia z betonu konstrukcyjnego na wytrzymałość końcową obudowy szybu 64

6. Wnioski końcowe 84

7. Literatura 88

1. WPROWADZENIE

Głębienie szybów metodami wiertniczymi, ze względu na szeroki zakres możliwości ich stosowania jest coraz częściej stosowane w światowej technice budownictwa górniczego. Głównym czynnikiem, który zadecydował o rozpowszechnieniu tej metody jest przede wszystkim znaczne zmniejszenie kosztów głębienia 1 mb szybu w stosunku do metod tradycyjnych przy jednoczesnym zwiększeniu stopnia mechanizacji oraz wybitnej poprawie warunków pracy załogi.

Ogólny postęp techniki w szczególności zaś opanowanie technologii uzyskiwania metali o wysokich parametrach wytrzymałościowych spowodowało praktycznie wyeliminowanie trudności związanych z wierceniem skał zwięzłych. Brak natomiast jednoznacznych technicznie i ekonomicznie uzasadnionych rozwiązań w zakresie obudów dla tego rodzaju szybów.

Największe doświadczenie w dziedzinie wiercenia szybów posiadają Stany Zjednoczone oraz Związek Radziecki. W krajach tych tylko dla potrzeb budownictwa górniczego wykonano łącznie ponad 260 km otworów wielkośrednicowych, przy czym największa głębokość otworu wynosiła ok. 1200 m, a średni miesięczny postęp wiercenia 100 do 150 m.

Również i w Polsce od szeregu lat prowadzi się kompleksowe prace projektowo-badawcze nad możliwością zastosowania metod wiertniczych do głębienia szybów. Prace nad usprawnieniem procesu wiercenia prowadzone są w Głównym Instytucie Górnictwa, natomiast prace projektowo-badawcze w dziedzinie modernizacji obudowy prowadzone są w Zakładzie Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego przy współpracy Instytutu Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej oraz Wydziału Wiertniczego Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Prace związane z doskonaleniem obudowy szybów wierconych prowadzone są równolegle w trzech zasadniczych kierunkach, a mianowicie:

- w zakresie konstrukcji,
- technologii wykonania,
- doboru nowych materiałów.

Wyniki prac badawczo-projektowych w zakresie konstrukcji obudów szybów wierconych przedstawiono w pracach [1] [2] oraz sprawozdaniach przytoczonych w pełnym wydaniu pracy.

Niniejsze studium poświęcono wybranym zagadnieniom w zakresie doboru nowych materiałów oraz technologii wykonania obudowy bądź elementów z betonu monolitycznego układanych i dojrzewających w środowisku iłowej płuczki wiertniczej. Zamieszczono w nim wyniki kompleksowych badań i rozważań teoretycznych przeprowadzonych bezpośrednio przez autora lub pod jego kierunkiem w latach 1970/1973 w laboratoriach i na poligonie Zakładu Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego oraz Budownictwa Węglowego. Przedmiotowe wyniki stanowiły podstawę dla opracowania wytycznych w zakresie projektowania i technologii wykonania obudowy z betonu monolitycznego dla szybów i otworów wielkośrednicowych głębionych z zastosowaniem metod wiertniczych.

2. OCENA AKTUALNEGO STANU W ZAKRESIE KONSTRUKCJI, TECHNOLOGII WYKONYWANIA ORAZ METOD PROJEKTOWANIA OBUDOWY WYROBISK PIONOWYCH GŁĘBIONYCH METODAMI WIERTNICZYMI

Rozpowszechnienie głębienia szybów metodami wiertniczymi pociągnie za sobą konieczność szczegółowego opracowywania technologii głębienia, konstrukcji obudowy i technologii jej wznoszenia w aspekcie uzyskania nie tylko żądanych wskaźników technicznych, ale i odpowiednich uzasadnionych wskaźników ekonomicznych.

Dla określenia najkorzystniejszych rozwiązań konstrukcyjnych, technologii wykonywania obudowy, a także metod projektowania podjęto próbę oceny krytycznej istniejących rozwiązań w oparciu o uzyskane informacje z literatury krajowej i zagranicznej.

W oparciu o tak zebrane dane dokonano przeglądu dotychczasowych sposobów wykonywania wyrobisk pionowych metodami wiertniczymi oraz:

- przeglądu konstrukcji,
- analizy technologii wznoszenia,
- przeglądu dotychczas stosowanych metod projektowania obudów wyrobisk pionowych głębionych z zastosowaniem metod wiertniczych.

Uzyskane wyniki zamieszczone w pełnym wydaniu pracy [39] stanowiły punkt wejścia dla dokonania przedstawionej niżej oceny.

2.1. Ocena rozwiązań konstrukcyjnych obudowy

Na wstępie należy przede wszystkim scharakteryzować zastosowane już niejednokrotnie konstrukcje obudowy. Obudowa tubingowa, która stosowana była w cięższych warunkach hydrogeologicznych w szybach głębionych metodami tradycyjnymi, nie zawsze nadaje się w przypadku szybów wierconych. Zasadniczym mankamentem tej obudowy jest problem uzyskania odpowiedniej szczelności. Kolejną niekorzystną cechą tego typu obudowy jest konieczność zachowania odstępów pomiędzy obudową a ociosem (25-35 cm) co w znacznym stopniu zmniejsza średnicę szybu (50÷70 cm), a powierzchnia użyteczna wyrobiska zmniejsza się od 20÷30%. Obudowa tego typu nie nadaje się do drążenia szybów głębokich ze względu na występujące duże obciążenia montażowe.

Przestrzeń za obudową wypełnia się mleczkiem cementowym, betonem lub kruszywem, przy czym beton za obudową trzeba układać w środowisku iłowej płuczki wiertniczej, co nie dało dotychczas zadowalających efektów technicznych ani ekonomicznych.

Trudności tego typu występują również przy wszystkich obudowach wykonywanych z elementów oddzielnych nie łączonych w sposób trwały.

W świetle powyższego obudowami, które powinny być stosowane w szybach wierconych, winny być obudowy monolityczne, obudowy kombinowane stalowo-betonowe lub stalowo-bitumiczne.

W Polsce stosowano dotychczas tylko obudowy rurowe z rur pojedynczych lub podwójnych. Konieczne wydaje się rozpowszechnienie obudów stalowo-betonowych, które zapewniają nie tylko całkowitą szczelność obudowy, a także spełniają inne wymagania stawiane obudowom szczególnie w czasie wybierania filarów ochronnych.

Generalnie powiedzieć można, że obudowa szybów i otworów wielkośrednicowych powinna spełniać następujące wymogi:

- zapewnić szczelność rury szybowej,
- posiadać odpowiednią wytrzymałość dla przyjęcia obciążeń montażowych i eksploatacyjnych, a także ciśnienia górotworu,
- umożliwić mechanizację czynności związanych ze wznoszeniem,
- zabezpieczać pionowość szybu w czasie montażu obudowy,
- umożliwić swobodne zbrojenie szybu.

2.2. Ocena stosowanych technologii wznoszenia obudów

Technologię wykonywania obudowy szybów wierconych generalnie podzielić można na obudowy opuszczane i obudowy zatapiane. Wadą obudów opuszczanych jest mała szczelność obudowy, w przypadku montażu poszczególnych pojedynczych pierścieni obudowy. Większą szczelność zapewnia obudowa opuszczana wykonywana w sekcjach na zrębie i sekcjami opuszczana do otworu. Korzystne w tym przypadku jest trwałe łączenie poszczególnych sekcji np. poprzez spawanie. Zaletą obudowy zatapianej jest możliwość zakładania zbrojenia w trakcie wznoszenia obudowy, który to proces w chwili obecnej jest opanowany.

W czasie zatapiania za obudową opuszcza się rury służące do betonowania lub cementowania wolnej przestrzeni, który to proces do chwili obecnej nie był jeszcze bliżej rozeznany.

Szczególnie istotne wydaje się prowadzenie prac badawczych w zakresie rozpoznania własności wytrzymałościowych oraz sposobu przebiegu procesu wiązania i twardnienia betonu czy cementu w środowisku płuczki wiertniczej, bowiem w chwili obecnej brak jest jakichkolwiek informacji o własnościach powstającego w tych warunkach tworzywa. Podobnie brak jest bliższych informacji o sposobie prowadzenia cementacji, bądź betonowania w

środowisku płuczki wiertniczej, które gwarantowałyby uzyskanie pozytywnych rezultatów przebiegu tych procesów gwarantujących uzyskanie konstrukcyjnego tworzywa.

2.3. Ocena metod projektowania obudowy

Obliczenia obudowy szybów wierconych nie są obecnie jednoznacznie dokładnie opracowane. Trafność doboru obudowy jej parametrów wytrzymałościowych itp. uzależniona jest od dokładnej analizy warunków hydrogeologicznych i górniczych jak również znajomości uzyskanego tworzywa w postaci betonu czy kamienia cementowego. Obecnie do obliczeń wytrzymałościowych obudów dla szybów i otworów wielkośrednicowych głębionych metodą wiercenia stosuje się wytyczne opracowane przez GIG w przypadku obudów cienkościennych oraz wytyczne podane w pracy [2] w przypadku obudów grubościennych.

Różnice poglądów na temat obliczania obudów cienkościennych, wynikające z przyjmowanych założeń, powodują, że uzyskiwane wyniki znacznie się różnią. Próbne przeliczenia obudów cienkościennych niektórymi wzorami dają wyniki, na podstawie których obudowy te powinny ulec zgnieceniu. Wynika stąd wniosek, że albo rzeczywiste ciśnienia na obudowę są mniejsze od obliczeniowych, albo wzory zawierają w sobie bardzo duże współczynniki bezpieczeństwa.

Podstawą dla obliczeń obudów grubościennych szybów głębinowych metodą wiertniczą jest praca [30]. Należy podkreślić, że Autorzy tej pracy w sposób bardzo dokładny podają warunki i zakres stosowania poszczególnych wzorów, które to wzory uwzględniają nawet specyficzne warunki pracy obudowy. Ze względu na brak konkretnych danych praktycznych trudno wypowiadać się o słuszności toku postępowania Autorów pracy i przydatności wyprowadzanych wzorów.

W świetle powyższego celowe wydaje się, żeby w oparciu o istniejące w górnictwie światowym i polskim doświadczenia teoretyczno-praktyczne podjąć na szeroką skalę prace analityczno-badawcze tak, żeby w momencie rozpowszechniania metody wierceń wielkośrednicowych szybów w Polsce mieć konkretnie sprawdzone wskazówki i wnioski.

Wychodząc na przeciw istniejącemu zapotrzebowaniu przeprowadzono kompleksowe badania i rozważania teoretyczne których wyniki przedstawiono skrótowo w kolejnych rozdziałach niniejszej rozprawy.

3. CEL, ZAKRES PRACY I ZAŁOŻENIA

3.1. Cel pracy

Celem niniejszej rozprawy było ustalenie warunków wiązania i określenia optymalnych receptur oraz technologii układania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej betonów konstrukcyjnych ($R_w \geqslant 140$) dla potrzeb wykonania obudowy betonowej w szybach głębinowych metodą wiertniczą.

3.2. Zakres pracy

Założony wyżej cel został zrealizowany na drodze badawczo-teoretycznej w oparciu o kompleksowe badania laboratoryjne, modelowe i półprzemysłowe oraz rozważania teoretyczne.

W szczególności obejmowały one rozeznania literaturowe takich dziedzin jak:

- technologia wiercenia szybów i otworów wielkośrednicowych,
- technologia wykonania betonów i obudów w szybach wierconych,
- metody projektowania obudów dla tychże szybów.

W oparciu o dokonane rozeznanie zaprojektowano i wykonano kompleksowe badania, które obejmowały:

- badania laboratoryjne nad ustaleniem optymalnych receptur zaczynów cementowych,
- badania laboratoryjne nad doborem optymalnych receptur i ustaleniem warunków wiązania betonów cementowych układanych tradycyjnie oraz systemem podwodnym w środowisku iłowej płuczki wiertniczej,
- badania modelowe nad ustaleniem optymalnych receptur oraz technologii wykonania elementów obudowy betonowej szybów głębionych z zastosowaniem metod wiertniczych,
- próby półprzemysłowe zastosowania wybranych receptur oraz technologii układania przy półprzemysłowym betonowaniu elementów obudowy w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.

Wyniki badań wytrzymałościowych poddano analizie statystycznej. Uzyskane wyniki stworzyły podstawę dla opracowania wstępnych wytycznych dla cementacji oraz betonowania w środowisku płuczki oraz przeprowadzenia rozważań teoretycznych dotyczących ustalenia wpływu parametrów wytrzymało-

ściowych uzyskanego betonu konstrukcyjnego na wytrzymałość obudowy stalowo-betonowej szybu jako całości.

Całość zamykają wnioski końcowe dotyczące receptur i technologii wykonania oraz projektowania obudowy stalowo-betonowej.

3.3. Założenia

Przy realizacji założonego celu przyjęto następujące zasadnicze założenia:

1. Jako środowisko podstawowe, w którym następuje wiązanie i twardnienie zaczynów i betonów, przyjęto iłową płuczkę wiertniczą o średnich parametrach stosowaną najczęściej przy wierceniu szybów i otworów wielkośrednicowych.
2. W trakcie badań do wykonywania betonów i zapraw jako środki wiążące zastosowano spoiwa cementowe oparte na cementach produkowanych przez krajowy przemysł.
3. Do aktywacji cementu wybrano metodę mechaniczną opartą na produkowanych w kraju ultramikserach jako bardziej pewną i skuteczną.
4. W rozważaniach, teoretycznych związanych z obliczaniem obudowy szybów wierconych przyjęto przedstawioną w pracy [2] metodę Linka, która zdaniem autora ze znanych nam metod najlepiej odwzorowuje warunki szybów wierconych.
5. Podstawę dla projektowania i wykonania betonów rozdzielczych typu "Polcrete" stanowiły prace Brauna oraz prace ZBiD-BG [10 do 19 i 39] dotyczące rozdzielnego betonowania.

4. BADANIA NAD USTALENIEM OPTYMALNYCH RECEPTUR ORAZ TECHNOLOGII WYKONANIA ELEMENTÓW OBUDOWY Z BETONU MONOLITYCZNEGO W ŚRODOWISKU IŁOWEJ PŁUCZKI WIERTNICZEJ

4.1. Wprowadzenie

W oparciu o przeprowadzone rozeznanie i szerokie rozważania stwierdzono, że brak jest w literaturze bliższych danych dotyczących warunków wiązania zaczynów cementowych, zapraw czy betonów wprowadzanych w środowisko iłowej płuczki wiertniczej.

Wiadomo równocześnie, że przy wierceniu szybów i otworów wielkośrednicowych przestrzeń pomiędzy górotworem a obudową wypełnia się z reguły zaczynem cementowym (czasami betonem). Powstałe w tych warunkach tworzywo z braku bliższych informacji o jego parametrach wytrzymałościowych traktuje się jako wypełnienie i nie bierze pod uwagę przy ustalaniu grubości obudowy.

Brak bliższych danych o warunkach betonowania podwodnego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej stanowi również zasadniczą przeszkodę w zastosowaniu do obudowy szybów wierconych betonu monolitycznego układanego w takich warunkach za odeskowanie.

W celu bliższego rozeznania zagadnień związanych z technologią układania i warunków wiązania zaczynów oraz betonów cementowych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej przeprowadzono pod kierunkiem autora kompleksowe badania laboratoryjne, modelowe i półprzemysłowe. Przedmiotowe badania przeprowadzono w Zakładzie Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego w latach 1970/1973.

W szczególności obejmowały one:

1. Badania laboratoryjne nad ustaleniem warunków wiązania oraz parametrów wytrzymałościowych zaczynów cementowych wprowadzanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.
2. Badania laboratoryjne nad ustaleniem optymalnych receptur oraz warunków wiązania betonów cementowych układanych tradycyjnie lub systemem podwodnym w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.
3. Badania modelowe nad ustaleniem optymalnych receptur oraz technologii wykonania elementów betonowych obudowy dla szybów wierconych z zastosowaniem iłowej płuczki.

4. Próby półprzemysłowe zastosowania wybranych receptur oraz technologii układania przy betonowaniu elementów obudowy w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.

Zastosowaną metodykę badań oraz najważniejsze wyniki przedstawiono skrótowo w kolejnych punktach niniejszego rozdziału.

4.2. Badania laboratoryjne nad ustaleniem warunków wiązania oraz parametrów wytrzymałościowych zaczynów cementowych wprowadzanych w środowisko iłowej płuczki wiertniczej

4.2.1. Badania laboratoryjne iłowej płuczki wiertniczej i cementów

Badania obejmowały określenie cech fizykochemicznych i technicznych płuczki wiertniczej i cementów.

Cechy fizykochemiczne stosowanej do badań płuczki wiertniczej.

Określenie laboratoryjne własności fizykochemicznych pobranej płuczki wiertniczej iłowej polegało na:

- ustaleniu ciężaru właściwego płuczki, który informuje o koncentracji iłu bądź fazy stałej w wodzie,
- ustaleniu wiskozy czyli pelkości, która jest miarą wewnętrznego tarcia cieczy,
- określeniu wytrzymałości strukturalnej czyli statecznego oporu rozruchu służącego do określania szybkości zgalaretowania (zastygu) płuczki,
- ustaleniu filtracji płuczki, tj. określeniu zdolności oddawania wody przez płuczkę będącą w kontakcie z porowatym ciałem, czyli ściankami przewierconego otworu,
- ustaleniu wartości pH, określającej zasadowość lub kwasowość płuczki.

Ciężar właściwy badanej płuczki iłowej pomierzony na wadze typu Baroid wynosił średnio $1{,}17 \cdot 10^3$ kg/m^3.

Lepkość pomierzono przy użyciu lejka normalizowanego poprzez wypływ 500 cm^3 płuczki w czasie (sec.). Czas ten mierzony w sekundach jest wprost miarą lepkości, która wynosiła 34 sec.

Wytrzymałość strukturalna zmierzona przy użyciu szirometru wykazała przy pierwszym pomiarze 22 mg/cm^2. Drugi pomiar wykonany po 10 minutach pozostawienia płuczki w spokoju wynosił 51 mg/cm^3.

Pomiar filtracji dokonany na prasie filtracyjnej wykazał, że w ciągu 30 minut zostało odfiltrowane 18 cm^3 wody, co oznacza, że mamy do czynienia z płuczką średniej klasy.

Kwasowość pomierzona przy użyciu pehametru wykazała pH = 10, co oznacza, że płuczka jest lekko alkaliczna.

Cechy fizykochemiczne badanych cementów. W oparciu o dane literaturowe oraz przeprowadzone rozeznanie szczegółowe do badań laboratoryjnych wytypowano następujące cementy:

- portlandzki "350" z cementowni "Grodziec"
- portlandzki "450" z cementowni "Chełm"
- drogowy "325" z cementowni "Saturn"
- hutniczy "350" z cementowni "Nowa Huta"

charakteryzujące się najkorzystniejszą stabilnością wiązania.

Badania cech chemicznych otrzymanych do badań dostaw cementów, przeprowadziły na zlecenie zamawiającego laboratoria poszczególnych cementowni.

Badania cech fizycznych dokonano w laboratoriach Zakładu Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego, w którym pracę wykonywano.

Wyniki badań cech chemicznych i fizycznych przebadanych cementów zestawiono w pracy [39]. Jak wynika z zestawionych danych, wszystkie przebadane cementy pod względem cech fizykochemicznych odpowiadały wymogom odpowiednich norm.

4.2.2. Badania nad określeniem czasów wiązania cementów w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

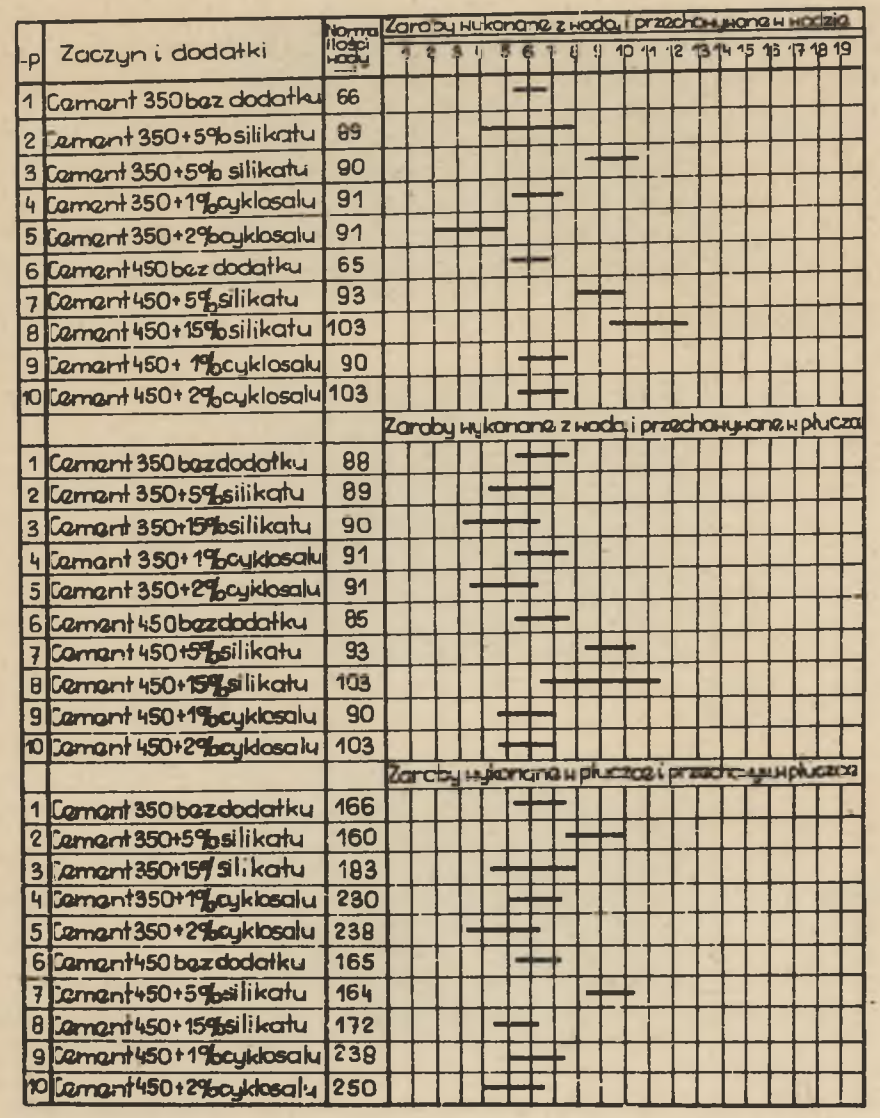
Badania czasów wiązania cementów dokonano dla wytypowanych cementów bez dodatków oraz z dodatkami w postaci silikatu i cyklosalu stosując każdorazowo następujące zasadnicze układy:

- zaczyn zarobiony i wiążący w wodzie wodociągowej,
- zaczyn zarobiony na wodzie wodociągowej i wiążący w płuczce,
- zaczyn zarobiony na płuczce i wiążący w płuczce.

Badania czasów wiązania cementów przeprowadzono zgodnie z obowiązującą Polską Normą. Uzyskane wyniki dla cementów portlandzkich "350" i "450" zestawiono przykładowo na rys. 4.1. Analizując bliżej wyniki zamieszczone na tym rysunku stwierdzono, że:

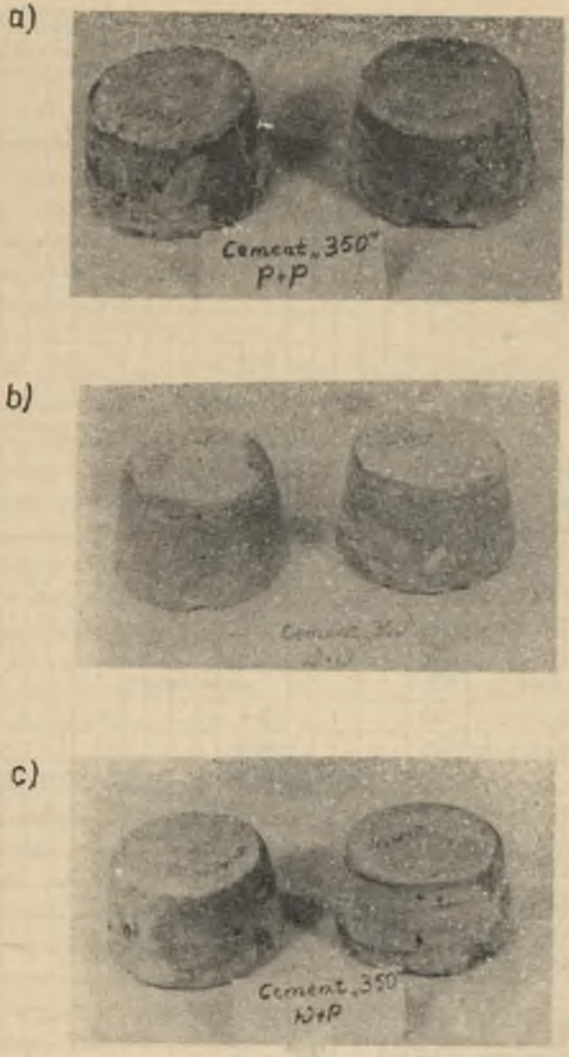
- przy pierwszym układzie istnieją większe rozpiętości w czasach wiązania w cemencie portlandzkim "350" niż "450". Ponadto stwierdzono, że dodatki w postaci silikatu i cyklosalu przyspieszają początek oraz wydłużają czas wiązania cementu portlandzkiego "350", zaś przy cemencie portlandzkim "450" zachowują się różnie;
- przy układach drugim i trzecim można było zaobserwować znaczną stabilizację czasów wiązania.

W trakcie badań stwierdzono, że zaczyny w postaci plecków wykonane według układu trzeciego aczkolwiek związały w normalnym czasie, to po 14 dniach dojrzewania zaczęły pękać i łuszczyć się, podczas gdy wykonane wg układu pierwszego i drugiego zachowały swój pierwotny wygląd (rys. 4.2).



L-p	Zaczyn i dodatki	Normalna ilość wody —
1	Cement 350 bez dodatku	66
2	Cement 350 + 5% silikatu	89
3	Cement 350 + 5% silikatu	90
4	Cement 350 + 1% cyklosalu	91
5	Cement 350 + 2% cyklosalu	91
6	Cement 450 bez dodatku	65
7	Cement 450 + 5% silikatu	93
8	Cement 450 + 15% silikatu	103
9	Cement 450 + 1% cyklosalu	90
10	Cement 450 + 2% cyklosalu	103
1	Cement 350 bez dodatku	88
2	Cement 350 + 5% silikatu	89
3	Cement 350 + 15% silikatu	90
4	Cement 350 + 1% cyklosalu	91
5	Cement 350 + 2% cyklosalu	91
6	Cement 450 bez dodatku	85
7	Cement 450 + 5% silikatu	93
8	Cement 450 + 15% silikatu	103
9	Cement 450 + 1% cyklosalu	90
10	Cement 450 + 2% cyklosalu	103
1	Cement 350 bez dodatku	166
2	Cement 350 + 5% silikatu	160
3	Cement 350 + 15% silikatu	183
4	Cement 350 + 1% cyklosalu	230
5	Cement 350 + 2% cyklosalu	238
6	Cement 450 bez dodatku	165
7	Cement 450 + 5% silikatu	164
8	Cement 450 + 15% silikatu	172
9	Cement 450 + 1% cyklosalu	238
10	Cement 450 + 2% cyklosalu	250

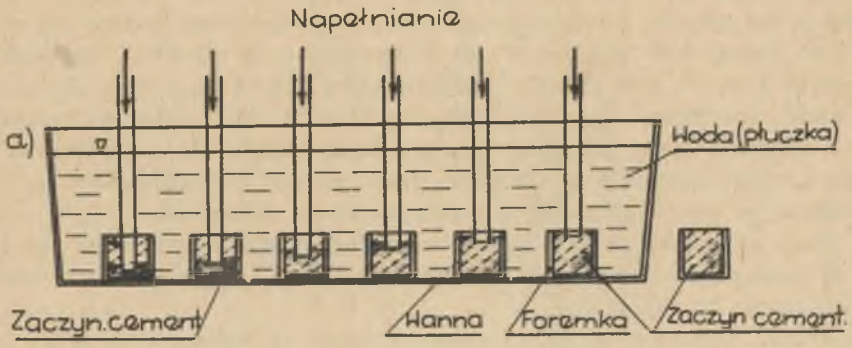
Rys. 4.1. Zestawienie graficzne czasów wiązania

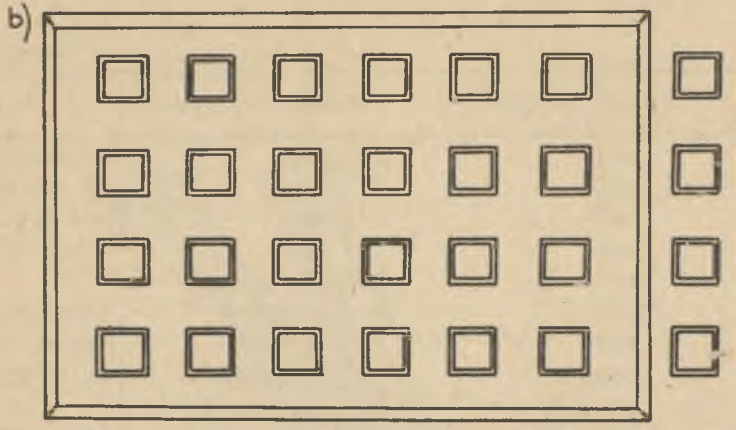


Rys. 4.2. Widok placków próbnych wykonanych na cemencie portlandzkim "350" a - zarobionych na płuczce i dojrzewających w płuczce, b - zarobionych na wodzie wodociągowej i wiążących na wodzie, c - zarobionych na wodzie wodociągowej i wiążących w płuczce

4.2.3. Badania laboratoryjne nad określeniem parametrów wytrzymałościowych zaczynów cementowych po związaniu

Zasadniczym celem przedmiotowych badań było uzyskanie informacji o parametrach wytrzymałościowych oraz strukturze wewnętrznej zaczynów cementowych wykonanych i wiążących w różnych warunkach.





Rys. 4.3. Schemat stanowiska badawczego do wykonywania ciał próbnych w skali laboratoryjnej

Użyte do badań zaczyny cementowe o ciężarze właściwym $\gamma_w = 1{,}8 \cdot 10^3$ kG/cm^3 ($\frac{W}{C} = 0{,}52$) wykonano z trzech rodzajów cementu, a mianowicie:

- portlandzkiego "350"
- portlandzkiego "450"
- drogowego "325"

bez domieszek oraz z domieszkami 5; 15% silikatu i 0,15% klutanitu.

Badania przeprowadzono w czterech zasadniczych układach, a mianowicie:
- zaczyn zalewany do wody - pielęgnowany w wodzie,
- zaczyn zalewany do wody - pielęgnowany w powietrzu,
- zaczyn zalewany do płuczki - pielęgnowany w powietrzu,

przy czym dla każdego z nich wykonano co najmniej 4 ciała próbne.

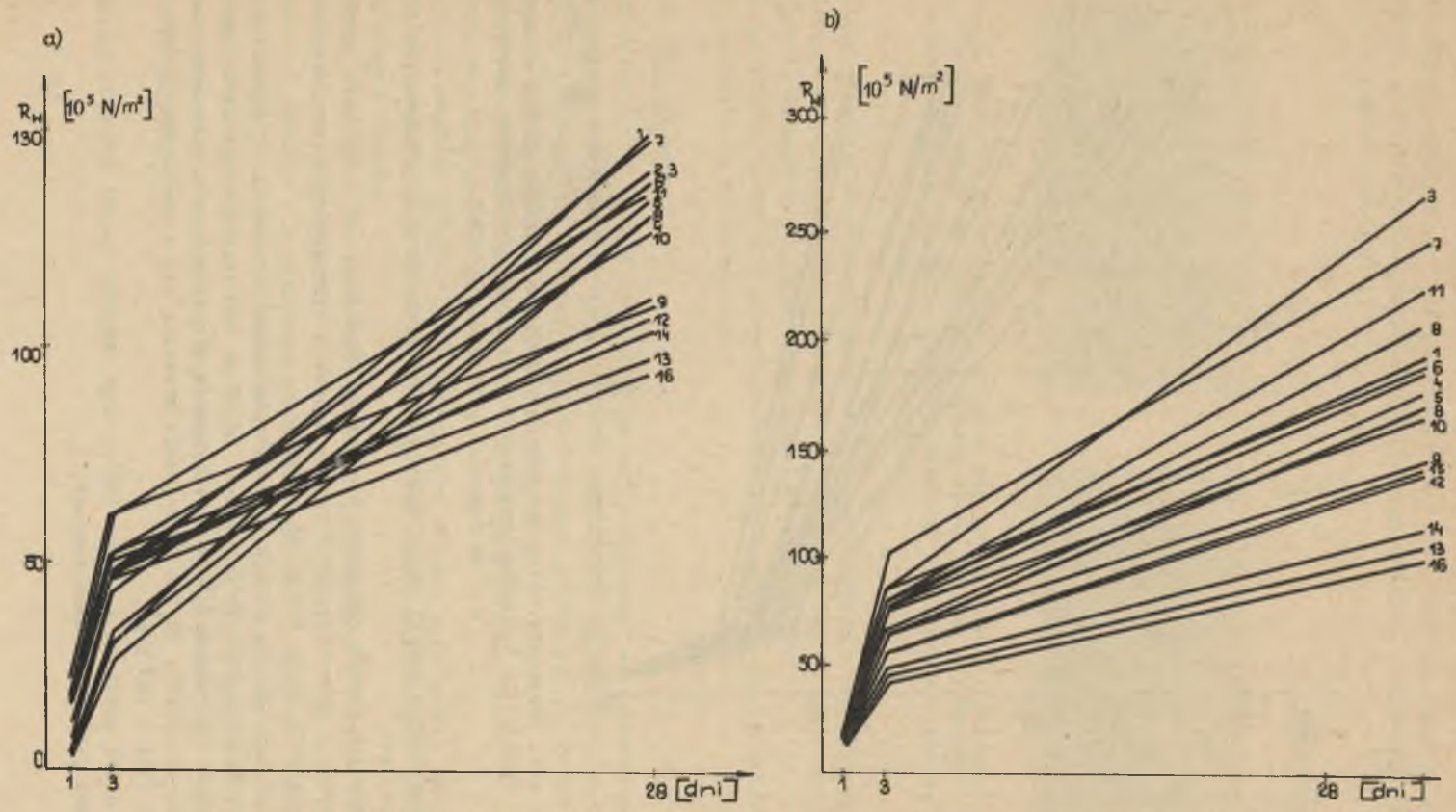
Ciała próbne w postaci sześcianów o wymiarach 15 x 15 x 15 cm wykonywano w ten sposób, że odmierzoną porcję wody zarobowej wlewano do mieszarki, do której następnie wsypywano odważoną porcję cementu. Czas mieszania wynosił 5 minut, zaś domieszki rozpuszczane były w odpowiednich porcjach w wodzie zarobowej. Zatopione wodą lub płuczką formy (rys. 4.3) zapełniano zaczynem poprzez rurę perforowaną. Zaczyn cementowy cięższy od wody bądź płuczki wypierał ją ku górze. Ciała próbne rozformowywano po 24 godzinach, po czym dojrzewały w zaprogramowanym środowisku.

Ciała próbne po upływie zaprojektowanego czasu dojrzewania, tj. po 1,3 i 28 dniach poddawano badaniom wytrzymałościowym na ściskanie i rozciąganie (metoda brazylijska).

Wyniki średnie z badań wytrzymałościowych na ściskanie zaczynów cementowych z cementów: portlandzkiego "350" i "450" oraz drogowego "325" wykonanych i pielęgnowanych w układach zestawionych w tablicy 4.1, przedstawiono graficznie na rysunku 4.4.

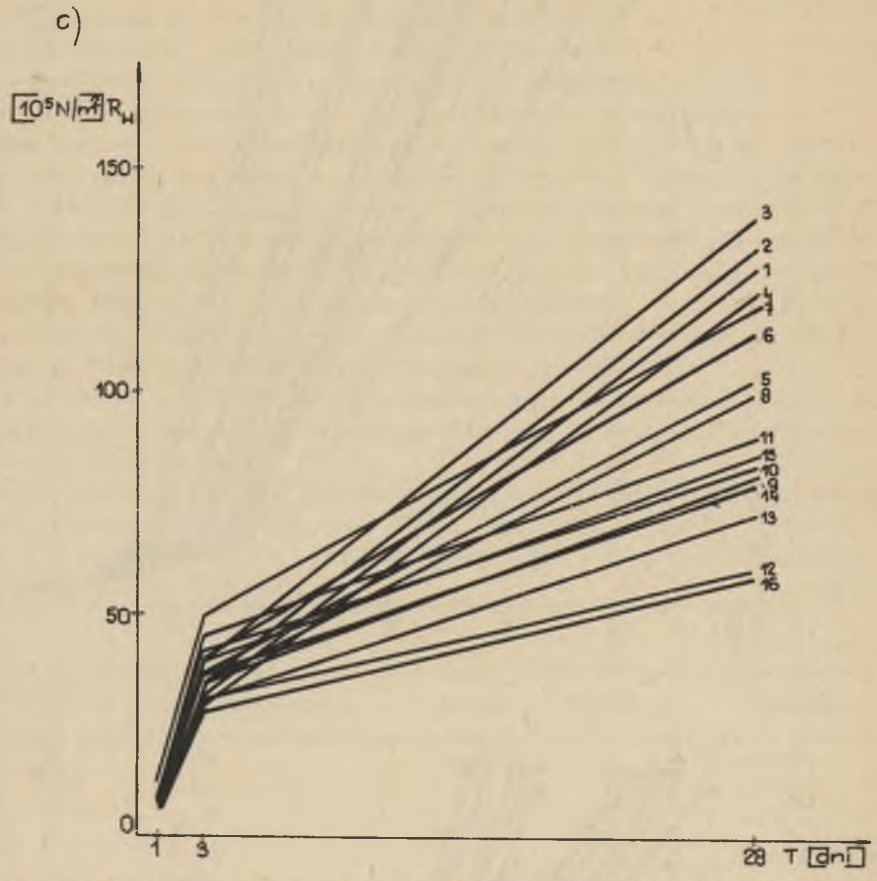
Tablica 4.1

Lp. krzywej	Rodzaj zalewania	Rodzaj pielęgnacji	Dodatek
1	woda	woda	5% silikat
2	woda	woda	5% silikat
3	woda	woda	15% silikat
4	woda	woda	0,15% klutanit
5	woda	powietrze	
6	woda	powietrze	5% silikat
7	woda	powietrze	15% silikat
8	woda	powietrze	0,15% klutanit
9	płuczka	płuczka	
10	płuczka	płuczka	5% silikat
11	płuczka	płuczka	15% silikat
12	płuczka	płuczka	0,15% klutanit
13	płuczka	powietrze	
14	płuczka	powietrze	5% silikat
15	płuczka	powietrze	15% silikat
16	płuczka	powietrze	0,15% klutanit



Rys. 4.4. Przyrosty wytrzymałości na ściskanie w czasie zaczynów cementowych o γ = 1,8 g/cm^3 wykonanych w czterech podstawowych układach

a - na cemencie drogowym "325", b - na cemencie portlandzkim "350"

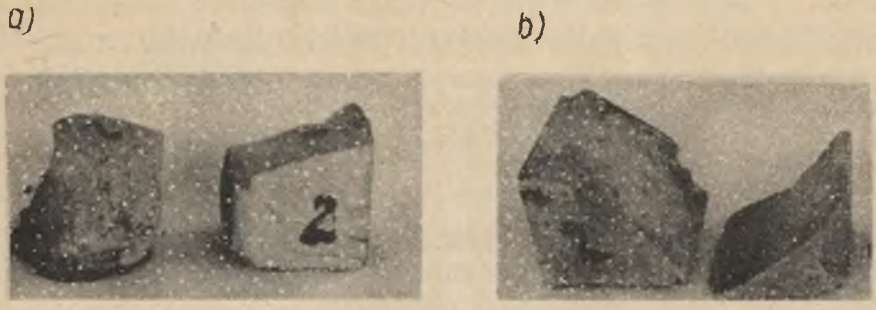


Rys. 4.4. Przyrosty wytrzymałości na ściskanie w czasie zaczynów cementowych o $\gamma = 1{,}8$ g/cm^3 wykonanych w czterech podstawowych układach c - na cemencie portlandzkim "450"

Analizując wyniki badań wytrzymałościowych zaczynów cementowych stwierdzono, że:

- stosując zaczyn cementowy o ciężarze właściwym $1{,}8 \cdot 10^3$ kg/m^3 próby zalewany i przechowywany w wodzie uzyskano wytrzymałości na ściskanie w granicach 38 do 45% marki cementu,
- stosując ten sam zaczyn cementowy zalewany do płuczki i dojrzewający w płuczce uzyskano wytrzymałości od 22 do 32% zastosowanej marki cementu,
- wyniki wytrzymałościowe na rozrywanie dla tych samych zaczynów i warunków po upływie 28 dni dojrzewania mieszczą się w granicach od $491 \cdot 10^3$ do $1374 \cdot 10^3$ N/m^2,
- dodatek silikatu w ilości 15% do wagi cementu wpływa dodatnio na uzyskiwane wyniki wytrzymałościowe.

W trakcie wykonywania ciał próbnych stwierdzono występowanie ujemnego zjawiska, jakim jest niewątpliwie sedymentacja zaczynu. Jej wielkość wahała się w granicach 7 do 13%.



Rys. 4.5. Widok fragmentów ciał próbnych uzyskanych poprzez zalewanie zaczynem cementowym form wypełnionych iłową płuczką wiertniczą
a - po badaniu na ściskanie, b - po badaniu na rozciąganie (metodą brazylijską)

Ciała próbne z zaczynu zalewane w wodzie po rozłupaniu bądź zgnieceniu posiadają budowę jednorodną, zaś zalewane w płuczce (rys. 4.5) wykazują niewielkie wkładki iłowe, które obniżają ich wytrzymałość.

Ciała próbne zalewane w płuczce wiertniczej a dojrzewające w powietrzu tracą wyraźnie na wytrzymałości.

4.2.4. Wnioski wstępne

Przeprowadzone badania laboratoryjne nad ustaleniem warunków wiązania i parametrów wytrzymałościowych zaczynów cementowych układanych i dojrzewających w środowisku iłowej płuczki wiertniczej pozwoliły na wysunięcie wstępnych wniosków, z których najważniejsze to:

- Środowisko płuczki wiertniczej nie posiada zasadniczego wpływu na warunki wiązania cementów.
- Zaczyn cementowy układany i dojrzewający w płuczce wiertniczej traci ponad 1/3 wytrzymałości w stosunku do takiego samego układanego i dojrzewającego w wodzie.
- Zaczyn układany w płuczce wiertniczej a dojrzewający w powietrzu traci znacznie na wytrzymałości.
- Tworzywo powstałe z wypełnienia zaczynem cementowym formy w środowisku płuczki wiertniczej może uzyskać przy zastosowaniu cementów marki "350" wytrzymałości rzędu 687 . 10^4 do 1324 . 10^4 N/m^2, zaś w przypadku cementu marki "450" wytrzymałości rzędu 981 . 10^4 do 216 . 10^5 N/m^2 (beton konstrukcyjny).

- Stosując zaczyny cementowe jako wypełnienie w środowisku iłowej płuczki wiertniczej uzyskuje się przy bardzo wysokim zużyciu deficytowego cementu mierne efekty wytrzymałościowe. Tworzywo uzyskane z zaczynu cementowego po stwardnięciu charakteryzuje się skłonnościami do skurczów i spękań.

W świetle przytoczonych faktów zachodziła potrzeba poszukiwania innego rodzaju wypełnienia, które przy zmniejszeniu zużycia cementu pozwoliłoby na uzyskanie w tych warunkach cech tworzywa konstrukcyjnego wchodzącego do współpracy z płaszczem obudowy ostatecznej.

4.3. Badania laboratoryjne nad ustaleniem receptur oraz warunków wiązania betonów cementowych układanych sposobem tradycyjnym i systemem podwodnym w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

Przedstawione w podrozdziale 4.2. stosunkowo niskie parametry wytrzymałościowe tworzywa uzyskiwanego poprzez wiązanie samych zaczynów cementowych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej jak również wysokie zużycie deficytowego cementu skłoniły autora do poszukiwania innych rozwiązań technologicznych i materiałowych dla konstrukcji wypełniających.

W pierwszej kolejności zwrócono uwagę na beton oparty na kruszywie i spoiwach cementowych. Aby uzyskać większą ilość informacji o warunkach wiązania i parametrach wytrzymałościowych betonu układanego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej, należało w badaniach wziąć pod uwagę zarówno beton wykonywany tradycyjnie jak i metodą rozdzielczą [4 do 19].

Badania przeprowadzone przez Bruxa i Brauna oraz przeprowadzone w ZBiD-BG prace badawcze wykazały, że dobre wyniki zarówno przy wykonywaniu betonu sposobem tradycyjnym jak i rozdzielczym daje zastosowanie do ich zarabiania zaczynów lub zapraw aktywowanych mechanicznie bądź na drodze chemicznej. Wspomniana wyżej aktywacja polega na zniszczeniu na drodze mechanicznej otoczek z ziarenek cementu, co w efekcie pozwala na szybsze i skuteczniejsze włączenie ich do procesu hydratacji.

Biorąc powyższe pod uwagę ustalono ostatecznie, że badania laboratoryjne nad możliwością zastosowania betonów układanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej zostaną przeprowadzone z zastosowaniem metody rozdzielnego betonowania oraz metody betonowania tradycyjnego z zastosowaniem w obu przypadkach aktywowanych mechanicznie zapraw.

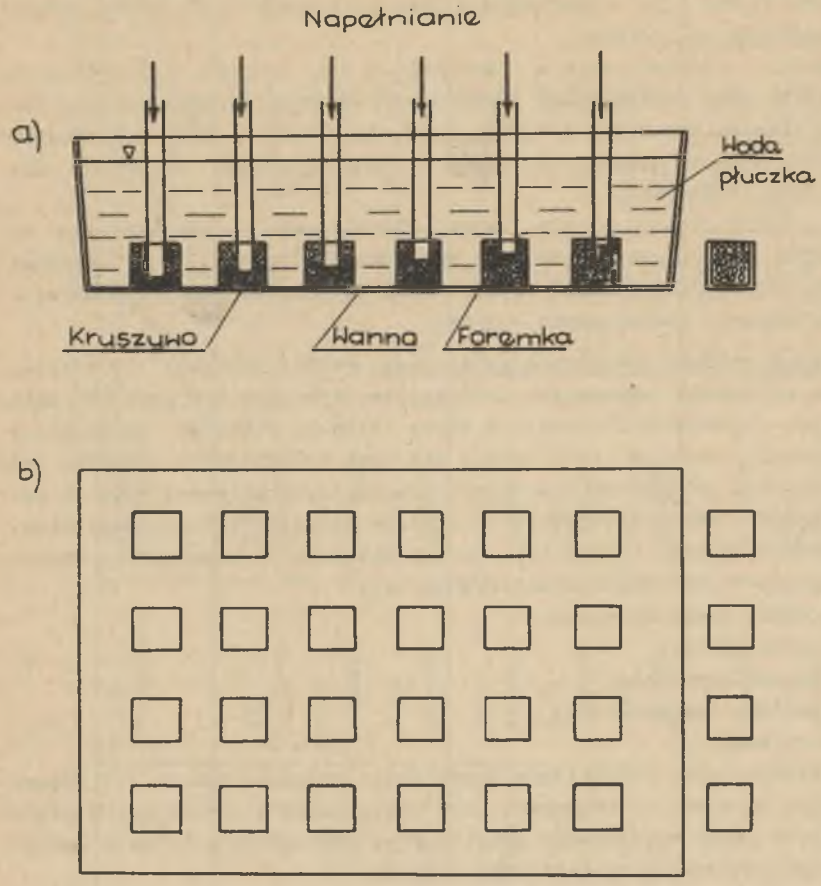
Całość omówionych niżej badań przeprowadzono pod kierunkiem autora w Zakładzie Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego przy współpracy z Instytutem Projektowania Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej.

W trakcie przeprowadzania badań wykorzystano wyniki wstępnych badań omówione w podrozdziale 4.2.

4.3.1. Beton rozdzielczy wykonywany dwuetapowo w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

Zasadniczym celem przedmiotowych badań było uzyskanie informacji o warunkach wiązania, parametrach wytrzymałościowych oraz strukturze betonu rozdzielczego wykonanego dwuetapowo systemem podwodnym w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.

W tym celu wykonano kilkadziesiąt serii badań laboratoryjnych. Ciała próbne wykonywano w ten sposób, że w wannę wypełnioną (rys. 4.6) wodą lub płuczką wiertniczą wkładano specjalnej konstrukcji formy blaszane o wymiarach 15 x 15 x 15 cm wypełniane odpowiednim kruszywem (kamieniwem).



Rys. 4.6. Schemat stanowiska badawczego do wykonywania betonowych ciał próbnych sposobem laboratoryjnym
a - przekrój podłużny przez wannę, b - widok z góry

Formy te wypełniano od dołu przy pomocy rury perforowanej grawitacyjnie zaprawą aktywowaną mechanicznie. Po upływie 24 godzin ciała próbne rozformowywano i następnie zgodnie z założonym reżimem pielęgnowano. Każda seria badawcza obejmowała następujące kombinacje:
- ciała próbne zalewane w wodzie i pielęgnowane w wodzie,
- ciała próbne zalewane w wodzie i pielęgnowane w powietrzu,
- ciała próbne zalewane w płuczce i pielęgnowane w płuczce,
- ciała próbne zalewane w płuczce i pielęgnowane w powietrzu.

Uzyskane w ten sposób ciała próbne poddawano badaniom wytrzymałościowym na ściskanie w terminach po 1, 3 i 28 dniach oraz na rozrywanie po 3 i 28 dniach, przy czym ilość ciał próbnych wynosiła każdorazowo co najmniej cztery. Przed i po badaniach wytrzymałościowych ciała próbne poddawano szczegółowym oględzinom.

Wykorzystując doświadczenia z podrozdziału 4.2 badania laboratoryjne przeprowadzono przy zastosowaniu kruszywa naturalnego i łamanego oraz cementów: portlandzkiego "450" i "350", drogowego "325" oraz hutniczego "350" dodając ponadto każdorazowo serię z 15% domieszką silikatu oraz 0,15% domieszką klutanitu.

Wyniki analizy sitowej piasku, kruszyw bazaltowego i otoczakowego oraz powstałych ze zmieszania pospółek zestawiono w pracy [33]. W przytoczonej wyżej pracy zamieszczono również dane dotyczące właściwości mieszanek aktywowanych mechanicznie zapraw.

Właściwości betonów wykonanych dwuetapowo. Betony wykonane dwuetapowo są odmienne od betonów wykonanych tradycyjnie. Stykające się punktowo ziarna kamieniwa - uprzednio ułożonego w formę stanowią szkielet posiadający pewną sztywność i nośność, nawet jeśli nie jest wypełniony mieszanką. Podstawowy parametr, jakim jest w betonach tradycyjnych stosunek wody do cementu, ustępuje w betonie dwuetapowym miejsca na rzecz jakości kamieniwa. Jak to wykazały badania [10 do 19], betony wykonane dwuetapowo w warunkach normalnych i pod wodą charakteryzują się:
- wytrzymałością średnich marek,
- małą kalorycznością,
- średnią mrozoodpornością,
- wysokim modułem sprężystości,
- małymi skurczami.

Próby betonowe przy rozdzielnym betonowaniu wykonano jak to już wspomniano poprzez napełnianie kruszywem form zatopionych w wodzie bądź w płuczce a następnie przez wypełnienie grawitacyjne przestrzeni wolnych pomiędzy kruszywem aktywowaną mechanicznie zaprawą.

Po 24 godzinach próby rozformowywano. Po rozformowaniu próbek betonowych w środowisku płuczki wiertniczej okazało się, że uzyskany beton posiada znaczną ilość por i szczelin, a płuczka w trakcie wypełniania zaprawą nie została dokładnie wyparta z kamieniwa i pozostaje w jego strukturze (rys. 4.7).

Tablica 4.2

Wytrzymałość średnia betonów na ściskanie (średnia seria 4 szt. kostek 15 x 15 x 15 cm)

w/c	c/p	Zalewanie w środowisku	Dojrzewanie w środowisku	Wytrzymałość na ściskanie (N/m^2) po dniach		Rodzaj cementu	Uwagi
				3	28		
0,4	1:0	woda	woda	$765 \cdot 10^4$	$167 \cdot 10^5$	cement portlandzki "350"	41% zarobu zerowego
0,4	1:0	płuczka	płuczka	$324 \cdot 10^4$	$696 \cdot 10^4$		
0,5	1:0,5	woda	woda	$471 \cdot 10^4$	$153 \cdot 10^5$		36% "
0,5	1:0,5	płuczka	płuczka	$167 \cdot 10^4$	$559 \cdot 10^4$		
0,55	1:1	woda	woda	$344 \cdot 10^4$	$1392 \cdot 10^4$		25% "
0,55	1:1	płuczka	płuczka	$118 \cdot 10^4$	$344 \cdot 10^4$		
0,4	1:0	woda	woda	$1248 \cdot 10^4$	$1863 \cdot 10^4$	cement portlandzki "450"	70% "
0,4	1:0	płuczka	płuczka	$981 \cdot 10^4$	$1307 \cdot 10^4$		
0,5	1:0,5	woda	woda	$761 \cdot 10^4$	$31 \cdot 10^6$		80% "
0,5	1:0,5	płuczka	płuczka	$506 \cdot 10^4$	$268 \cdot 10^6$		
0,55	1:1	woda	woda	$942 \cdot 10^4$	$1931 \cdot 10^4$		74% "
0,55	1:1	płuczka	płuczka	$716 \cdot 10^4$	$1432 \cdot 10^4$		
0,4	1:0	woda	woda	$579 \cdot 10^4$	$154 \cdot 10^5$	cement hutniczy "350"	60%v "
0,4	1:0	płuczka	płuczka	$373 \cdot 10^4$	$922 \cdot 10^4$		
0,5	1:0,5	woda	woda	$481 \cdot 10^4$	$1188 \cdot 10^4$		92% "
0,5	1:0,5	płuczka	płuczka	$392 \cdot 10^4$	$110 \cdot 10^5$		
0,55	1:1	woda	woda	$785 \cdot 10^4$	$1392 \cdot 10^4$		87% "
0,55	1:1	płuczka	płuczka	$314 \cdot 10^4$	$1218 \cdot 10^4$		

Rys. 4.7. Widok próbki betonowej wykonanej metodą rozdzielnego betonowa- w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

Średnie wytrzymałości uzyskanych betonów po 3 i 28 dobach przedstawiono w tablicy 4.2.

Dla uzyskania możliwości porównania wykonano równolegle na każdej recepturze ciała próbne (świadki) stosując metodę zarobu i formowania w powietrzu (formy z kamieniwem nie zalane).

W oparciu o uzyskane wyniki z laboratoryjnych badań wytrzymałościowych betonów wykonywanych metodą dwuetapową z zalewaniem w środowisku iłowej płuczki wiertniczej można było wysunąć szereg wniosków o znaczeniu praktycznym, które zamieszczono w pełnym wydaniu pracy [39].

4.3.2. Beton tradycyjny z zastosowaniem aktywowanej mechanicznie zaprawy

Podstawowym celem tej części badań było podobnie jak w podrozdziale 4.3.1 uzyskanie informacji o warunkach wiązania, parametrach oraz strukturze betonu tradycyjnego zarabianego aktywowaną mechanicznie zaprawą, układanego i dojrzewającego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.

W tym celu wykonano kilkadziesiąt serii badań laboratoryjnych. Ciała próbne formowano w ten sposób, że w wypełniony wodą bądź płuczką wiertniczą zbiornik wkładano formy blaszane o wymiarach 15 x 15 x 15 cm, w które następnie wpuszczano grawitacyjnie przy użyciu rurki beton wykonany metodą tradycyjną na zaprawie aktywizowanej mechanicznie (rys. 4.3).

Po upływie 24 godzin ciała próbne rozformowywano a następnie pielęgnowano zgodnie z założonym programem.

Podobnie jak w badaniach omówionych w podrozdziale 4.3.1 każda seria badawcza obejmowała następujące kombinacje:

- ciała próbne betonowane w wodzie i pielęgnowane w wodzie,
- ciała próbne betonowane w płuczce i pielęgnowane w płuczce.

Badania laboratoryjne przeprowadzono przy zastosowaniu kruszywa naturalnego i łamanego oraz cementów: portlandzkiego "450" i "350", drogowego "325" oraz hutniczego "350".

Dla zilustrowania przebiegu badań laboratoryjnych z betonem tradycyjnym w pełnym wydaniu pracy przedstawiono przykładowo jedną z serii wykonaną przy wykorzystaniu:

- cementu portlandzkiego "350",
- piasku o uziarnieniu od 0 do 2 mm,
- grysu granitowego o frakcji 16 do 25 mm.

Beton dla każdej serii wykonywano w ten sposób, że przygotowaną wg receptury podanej w tablicy 4.3 zaprawę aktywowaną w ultramikserze wlewano w betoniarkę, do której następnie dodawano odważone kruszywo granitowe. Wymienione w tablicy 4.4 receptury gwarantowały uzyskanie betonu o konsystencji ciekłej, którym zalewano grawitacyjnie poprzez rurę Ø 70 mm formy począwszy od dna.

Tablica 4.3

Nr zarobu	c:p	w:c	Uwagi
1	1:0	0,4	
2	1:0,5	0,5	
3	1:1	0,55	
4	1:1,5	0,7	

Tablica 4.4

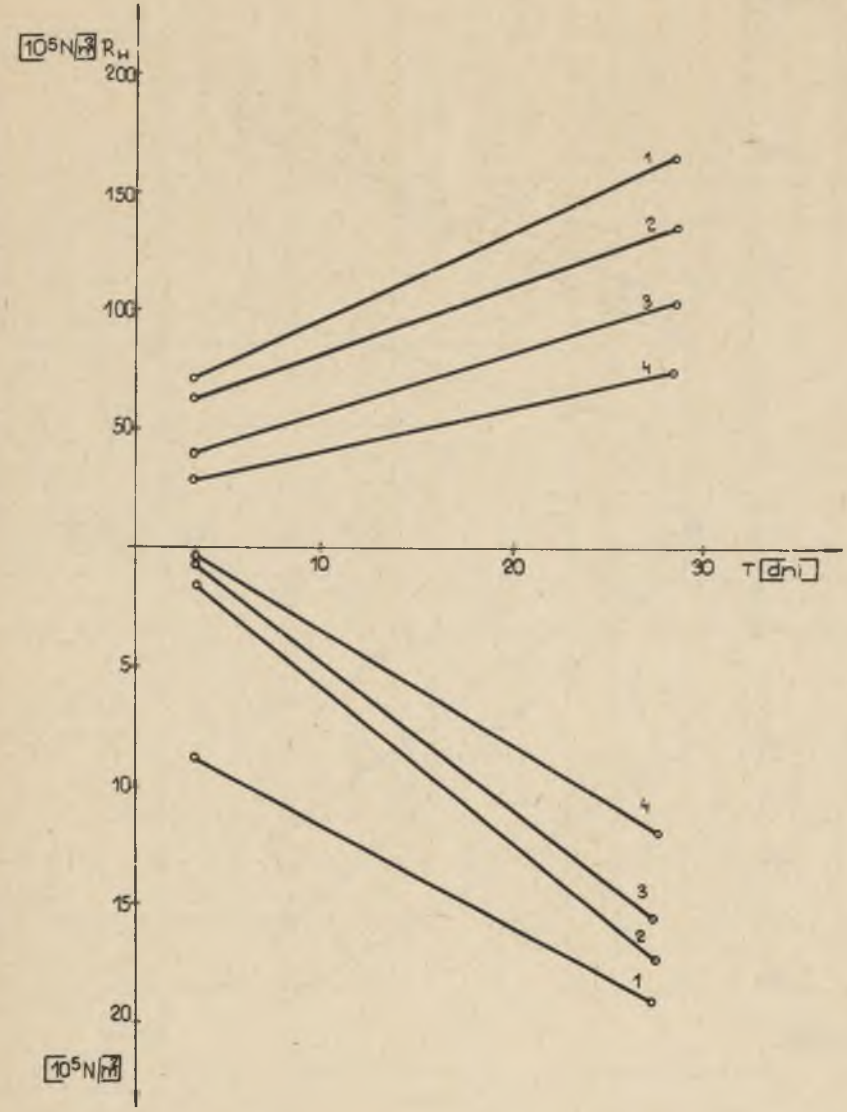
Składniki betonu	Ilość składników na 1 m^3 w kg			
	R e c e p t u r a			
	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4
Cement portl. "350"	660	427	410	327
Woda wodociągowa	264	213	229	228
Piasek 0/2 mm	0	213	416	490
Granit 8/16 mm	948	1024	860	863
Granit 16/25 mm	473	512	420	447
w/c	0,4	0,5	0,55	0,7

Tak wykonane ciała próbne po programowym okresie dojrzewania we właściwym ośrodku poddawano badaniom wytrzymałościowym na ściskanie (rys. 4.8) i rozciąganie (rys. 4.9), zaś uzyskane wyniki zamieszczono w odpowiednich tablicach oraz graficznie na rysunkach w pracy [39]. Przykładowo dla wspomnianych wyżej serii uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 4.10 i 4.11.

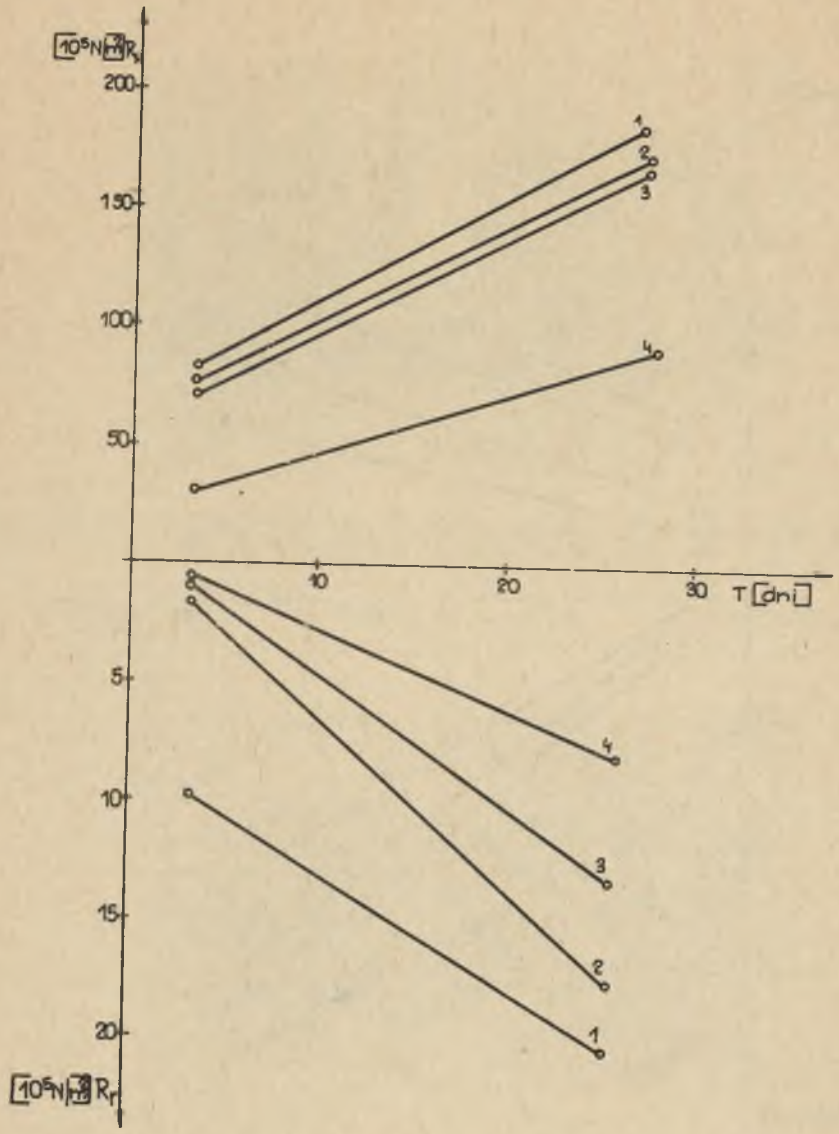
Na podstawie uzyskanych wyników z badań laboratoryjnych betonów wykonywanych sposobem tradycyjnym na zaprawach aktywowanych mechanicznie, układanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej można było sprecyzować szereg szczegółowych wniosków, które zestawiono w pełnym wydaniu pracy.

Rys. 4.8. Widok zewnętrzny ciał próbnych wykonanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej po badaniu na ściskanie

Rys. 4.9. Widok zewnętrzny ciał próbnych wykonanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej po badaniu na rozciąganie (metodą brazylijską)



Rys. 4.10. Przyrosty wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie w czasie betonów wykonanych i dojrzewających w środowisku iłowej płuczki wiertniczej



Rys. 4.11. Przyrosty wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie w czasie be
tonów wykonanych i dojrzewających w wodzie

Receptury robocze na masę betonową

Składniki masy betonowej		c:p = 1,05 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 1						c:p = 1,1 $\frac{w}{c}$ = 0,55 Receptura 2						c:p = 1:0,5 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 3						c:p= Receptura 4					
		Cement portl. 450 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo otocz. 5÷10 kg	Kruszywo otocz. 10÷20 kg	Uwagi	Cement portl. 450 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo otocz. 5÷10 kg	Kruszywo otocz. 10÷20 kg	Uwagi	Cement portl. 450 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo granit. 5÷10 kg	Kruszywo granit. 10÷20 kg	Uwagi	Cement portl. 450 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo granit. 5÷10 kg	Kruszywo granit. 10÷20 kg	Uwagi
1		2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
Receptura laboratoryjna (składniki suche) na 1 m^3 masy betonowej		450	225	225	485	970		450	247,5	450	398	776,0		450	226,0	226,0	485,0	970		450	247,5	450	388,0	776,0	
Receptura na 1 m^3 masy bet. przy użyciu kruszyw wilgotnych	% wilgoci			1,8	0,5	0,1				1,8	0,5	0,1				2,3	0,9	0,1				4	0,5	0,1	
	wagowo	450	216,4	230,17	487,42	970,92		450	236,62	458,10		776,18		450	216,44	230,17		270,91		450	226,5	468,0	390,0	777	
Receptura na 1 zarób betoniarki	wagowo	18,0	8,64	9,24	17,52	38,92		18,0	9,470	18,70		31,05		16,0	8,54	9,23	19,52	38,90		18,0	9,15	18,70	15,60	31,10	

Składniki masy betonowej		c:p = 1:1 $\frac{w}{c}$ = 0,55 Receptura 5						c:p = 1,05 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 6						c:p = 1:1 $\frac{w}{c}$ = 0,55 Receptura 7						c:p = 1:0,5 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 8					
		Cement hutn. 350	Woda	Piasek	Kruszywo granit. 2÷10	Kruszywo granit. 10÷20	Uwagi	Cement hutn. 350	Woda	Piasek	Kruszywo granit. 2÷10	Kruszywo granit. 10÷20	Uwagi	Cement portl. 450	Woda	Piasek	Kruszywo granit. 2÷10	Kruszywo granit. 10÷20	Uwagi	Cement portl. 450	Woda	Piasek	Kruszywo granit. 2÷10	Kruszywo granit. 10÷20	Uwagi
1		2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
Receptura laboratoryjna (składniki suche) na 1 m^3 masy betonowej		450,0	247,5	450,0	388,0	776,0		450,0	225,0	225,0	450,0	270,0		450,0	247,5	450,0	366,0	776,0		450,0	225,0	225,0	485,0	970,0	
Receptura na 1 m^3 masy bet. przy użyciu kruszyw wilgotnych	% wilgoci			3,7	2,15	1,50				3,0	2	0,6				5,7	2,4	0,6				1,8	0,3	0,2	
	wagowo	450,0	210,88	466,69	346,33	797,64		450,0	202,73	231,75	494,70	975,82		450,0	207,88	475,66	397,33	780,65		450,0	218,52	229,09	486,45	970,97	
Receptura na 1 zarób betoniarki	wagowo	18,0	8,45	18,65	15,85	31,50		16,0	8,11	9,27	19,35	34,60		18,0	8,30	19,05	15,90	31,35		18,0	8,73	9,15	19,45	38,85	

Receptura robocza na masę betonową

Składniki masy betonowej		c:p = 1:0,5 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 9					c:p = 1:1 $\frac{w}{c}$ = 0,55 Receptura 10					c:p = 1:0,5 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 11					c:p = 1:1 $\frac{w}{c}$ = 0,55 Receptura 12				
		Cement hutn. 350 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo otocz. 20-40 kg	Uwagi	Cement hutn. 350 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo otocz. 20-40 kg	Uwagi	Cement portl. 450 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo otocz. 20-40 kg	Uwagi	Cement portl. 450 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo otocz. 20-40 kg	Uwagi
1		2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Receptura laboratoryjna (składniki suche) na 1 m^3 masy betonowej		450,0	225,0	225,0			450,0	247,5	450,0			450,0	225,0	225,0			450,0	247,5	450,0		
Receptura na 1 m^3 masy bet. przy użyciu kruszyw wilgotnych	% wilgoci			1,8					1,8					1,2					2		
	wagowo	450,0	220,95	229,09			450,0	239,4	458,10			460,0	223,30	227,7			450,0	237,37	9,50		
Receptura na 1 zarób betoniarki	wagowo	18,0	8,84	9,16			18,0	9,58	18,32			18,0	8,89	9,11			18,0	9,50	18,37		

Składniki masy betonowej		c:p = 1:0,5 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 13					c:p = 1:1 $\frac{w}{c}$ = 0,55 Receptura 14					c:p = 1:0,5 $\frac{w}{c}$ = 0,5 Receptura 15					c:p = 1:1 $\frac{w}{c}$ = 0,55 Receptura 16				
		Cement hutn. 350 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo łamane granit. 20-40 kg	Uwagi	Cement hutn. 350 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo granit. 20-40 kg	Uwagi	Cement portl. 450 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo granit. 20-40 kg	I Uwagi	Cement portl. 350 kg	Woda l	Piasek kg	Kruszywo granit. 20-40 kg	Uwagi
1		2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
Receptura laboratoryjna (składniki suche) na 1 m^3 masy betonowej		450,0	225,0	225,0			450,0	247,5	450,0			450,0	225,0	275,0			450,0	247,5	450,0		
Receptura na 1 m^3 wody betonowej przy użyciu kruszyw wilgotnych	% wilgoci		- 4,73	- 2,1					2,4				- 4,39	1,95				-12,5	- 2,59		
	wagowo	450,0	220,27	229,73			450,0	226,7	460,8			450,0	220,61	229,39			450,0	235,0	462,50		
Receptura na 1 zarób betoniarki	wagowo	18,00	8,81	9,19			36,0	18,2	36,86			36,0	17,64	18,74			36,0	18,80	37,0		

4.3.3. Wnioski z badań laboratoryjnych betonów układanych w środowisko iłowej płuczki wiertniczej

Próby laboratoryjne betonowania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej wykonane z zastosowaniem metody tradycyjnej i rozdzielnego betonowania z wykorzystaniem aktywowanej mechanicznie zaprawy wykazały, że w założonych warunkach można uzyskać betony niskich i średnich marek i tak:

- wykonując betony metodą rozdzielnego betonowania z kruszywem zalanym wodą uzyskuje się tworzywo o wytrzymałości około 50% marki cementu, zaś zalanym płuczką iłową - tworzywo o wytrzymałości około 30% tejże marki. W pierwszym przypadku beton dojrzewał w wodzie, w drugim w płuczce,
- wykonując betony metodą tradycyjną z zastosowaniem aktywowanej zaprawy w warunkach jak wyżej analogiczne wielkości wynosiły w pierwszym przypadku 60, zaś w drugim 40%.

Wytrzymałości betonów od 1374 . 10^4 do 1669 . 10^4 N/m^2 uzyskane w środowisku iłowej płuczki wiertniczej przy zastosowaniu tradycyjnego betonu oraz mechanicznego aktywowania zaprawy wykazują, że istnieje możliwość uzyskania tą drogą betonów konstrukcyjnych pod warunkiem zastosowania jako stosu okruchowego kruszywa łamanego szlachetnego (granit, bazalt, andezyt) lub płukanego, frakcjonowanego kruszywa otoczakowego oraz odpowiedniej marki cementu.

Najkorzystniejsze wyniki w laboratoryjnych badaniach uzyskano przy zastosowaniu cementów: portlandzkiego "450" i hutniczego "350".

Dla wyeliminowania wpływu efektu skali uzyskane wyniki pozytywne z badań laboratoryjnych należało sprawdzić na modelach. Przy badaniach w powiększonej skali należało wziąć pod uwagę również empiryczne opracowanie technologii wykonania elementów obudowy w szybach wykonywanych metodą wiertniczą.

4.4. Badania modelowe nad ustaleniem optymalnych receptur oraz technologii wykonania elementów betonowych obudowy szybów wierconych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

Zasadniczym celem przedmiotowych badań było sprawdzenie na modelach elementów obudowy skuteczności i warunków wiązania betonów układanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej wykonanych na wytypowanych w trakcie badań laboratoryjnych recepturach.

Badania obejmowały część technologiczną i wytrzymałościową dla:

- betonów tradycyjnych z aktywowanymi mechanicznie zaprawami,
- betonów rozdzielczych.

Na część technologiczną wykonaną wg założonego programu w laboratorium ZBiD-BG złożyły się:

- badania normowe materiałów wsadowych i płuczki iłowej,
- określenie parametrów zapraw i betonów w stanie ciekłym,

- obserwacje procesu betonowania w środowisku płuczki,
- opis struktury ciał próbnych i rdzeni.

Badania wytrzymałościowe uzyskanych ciał próbnych przeprowadzone jak wyżej w laboratoriach ZBiD-BG obejmowały każdorazowo:
- określenie wytrzymałości na ściskanie,
- określenie wytrzymałości na rozciąganie,
- określenie modułu sprężystości,
- pomiary sklerometryczne,
- pomiary ultradźwiękowe,
- określenie ciężaru objętościowego,
- określenie nasiąkliwości.

Zgodnie z cytowanym na wstępie szczegółowym programem badania skuteczności warunków wiązania betonów tradycyjnych z aktywowanymi mechanicznie zaprawami układanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej przeprowadzono na ośmiu wytypowanych recepturach, których charakterystykę szczegółową przedstawiono w tablicy 4.5.

Analogiczne parametry dla betonu rozdzielczego układanego systemem podwodnym w środowisku iłowej płuczki wiertniczej przebadano również na ośmiu wytypowanych recepturach, które scharakteryzowano szczegółowo w tablicy 4.6.

Dla uzyskania odpowiedniej bazy porównawczej dla każdej z przytoczonych w tablicach 4.5 i 4.6 receptur obok próbek "świadków", równolegle z wykonywaniem ciał próbnych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej wykonywano w analogicznym modelu betonowanie w środowisku wodnym i powietrzu.

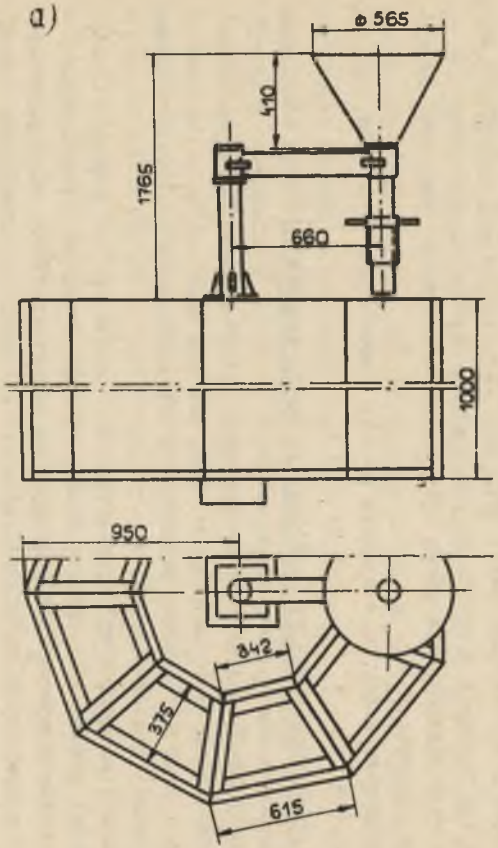
Założony zakres badań modelowych zrealizowano w oparciu o specjalnie do tego celu skonstruowane stanowisko, którego budowę i wymiary podstawowe pokazano schematycznie na rysunku 4.12. Urządzenie to po zmontowaniu pokazano na rys. 4.12b.

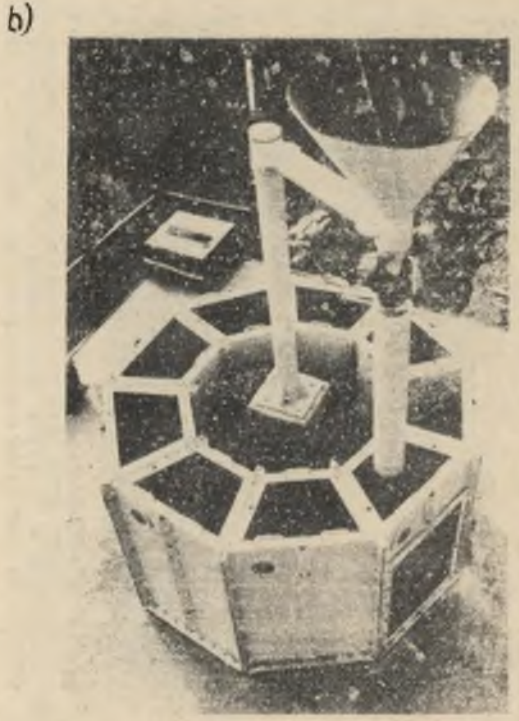
4.4.1. Charakterystyka przebiegu badań technologicznych

Zgodnie z przedstawionymi w tablicy 4.5 i 4.6 recepturami do badań modelowych zastosowano następujące materiały wsadowe:
- woda zarobowa,
- cement hutniczy "350",
- cement portlandzki "450",
- piasek o frakcji 0÷2 mm,
- kruszywo otoczakowe 5÷10 mm (żwir),
- kruszywo granitowe 2÷10 mm,
- kruszywo granitowe 10÷20 mm,
- kruszywo granitowe 20÷40 mm.

oraz jako ośrodek jeden rodzaj stosowanej powszechnie iłowej płuczki wiertniczej.

Podane wyżej materiały wsadowe oraz uzyskane z nich zaprawy i betony w stanie ciekłym poddano szczegółowym badaniom normowym.





Rys. 4.12. Stanowisko do badań modelowych betonów wiążących w środowisku iłowej płuczki wiertniczej
a - schemat stanowiska, b - widok stanowiska po zmontowaniu

Rys. 4.13. Widok podstawowych ciał próbnych (elementów obudowy) wykonanych metodą tradycyjną z kruszywa otoczakowego na cemencie hutniczym "350 w środowisku płuczki wiertniczej

Podstawowe ciała próbne (bloki betonowe o wymiarach 55/32 x 35 x 60 cm - rys. 4.13 (przy zastosowaniu betonu tradycyjnego) wykonano w ten sposób że w wypełnione iłową płuczką wodą bądź powietrzem naczynie (segment obudowy szybowej) wprowadzono beton grawitacyjnie poprzez lej zakończony rurą. Przy tej metodzie wypróbowano dwa sposoby układania, a mianowicie:

- końcem rury umieszczonym przez cały okres betonowania tuż pod zwierciadłem ośrodka,
- z podciąganiem końca rury w miarę postępu betonowania od dna aż do zwierciadła.

Przy zastosowaniu metody rozdzielnego betonowania podstawowe ciała próbne wykonywano w ten sposób, że po ułożeniu kruszywa (kamieniwa) w naczyniu (zamodelowany segment obudowy szybowej) z umieszczoną rurą perforowaną w środku zalewano je całkowicie iłową płuczką bądź wodą a następnie przez lej i rurę perforowaną iniektowano pod ciśnieniem grawitacyjnym aktywowaną mechanicznie zaprawą.

Dla każdej receptury wykonywano trzy podstawowe ciała próbne w środowisku iłowej płuczki wiertniczej oraz po jednym w wodzie i powietrzu.

Zarówno dla pierwszej jak i drugiej metody wykonywania ciał próbnych, aktywacji mechanicznej zapraw dokonywano przy użyciu ultramiksera UM-4. Dozowanie poszczególnych składników zaprawy wykonywano wagowo i objętościowo.

Płuczkę iłową o stałych parametrach wytwarzano przy wykorzystaniu iłomieszałki zlokalizowanej łącznie z basenem w tym samym budynku.

Próbki świadki przy betonowaniu tradycyjnym wykonywano zgodnie z PN, zaś przy betonowaniu rozdzielonym przez zainiektowanie ułożonego uprzednio w foremkę normową kamieniwa (otoczakowego bądź łamanego). W sposób analogiczny wykonywano próbki normowe do badania modułu sprężystości, z tym że foremki posiadały wówczas wymiary 16 x 32 cm.

Próbki technologiczno-wytrzymałościowe wykonywano dla obu metod w ten sposób, że podstawowe ciała próbne przewiercano wzdłuż przy użyciu wiertnicy rdzeniowej (rys. 4.14). Uzyskane w ten sposób rdzenie o średnicy około 7 cm pozwalały dokonać oceny struktury uzyskanego betonu, a następnie pocięte przy użyciu piły do betonów na walce o długości 7 cm były wykorzystane do wszechstronnych badań wytrzymałościowych.

Przebieg procesu betonowania dla obu metod w poszczególnych środowiskach (płuczce iłowej, wodzie i powietrzu) obserwowano poprzez specjalnie do tego celu skonstruowane wzierniki w postaci ścianki ze szkła organicznego.

W trakcie całego cyklu badawczego obserwowano zjawiska związane z przebiegiem procesu betonowania a następnie wiązanie i twardnienie betonów. Strukturę uzyskanych betonów badano mikroskopowo na podstawowych ciałach próbnych, próbkach rdzeniowych, przełomach i szlifach. W podobny sposób obserwowano próbki świadki.

4.4.2. Charakterystyka przebiegu badań wytrzymałościowych

Beton tradycyjny. Badania wytrzymałościowe betonów tradycyjnych (z aktywizowaną mechanicznie zaprawą) obejmowały:
- określenie wytrzymałości na ściskanie walców Ø 16/16 cm (próbek świadków),
- określenie wytrzymałości na rozciąganie walców Ø 16/16 cm (próbek świadków),
- określenie modułu sprężystości walców Ø 15/32 cm,
- określenie wytrzymałości na ściskanie walców Ø 7/7 cm (uzyskanych z rdzeni),
- określenie wytrzymałości na rozciąganie walców Ø 7/7 cm (uzyskanych z rdzeni),
- przeprowadzenie pomiarów sklerometrycznych walców Ø 16/16 cm,
- przeprowadzenie pomiarów ultradźwiękowych walców Ø 16/16 cm, walców Ø 7/7 cm oraz bloków betonowych (podstawowych ciał próbnych)

w terminach 3, 7 i 28 dni od momentu zabetonowania. Dla każdej receptury i terminu badania prowadzono na co najmniej 6 próbkach. Ponadto określono ciężar objętościowy oraz nasiąkliwość próbek świadków.

Wytrzymałość betonu na ściskanie określono na próbkach Ø 16/16 cm oraz Ø 7/7 cm. Próbki poddawano obciążeniu w prasie hydraulicznej typu WPM-50 o zakresie obciążeń 0÷50 ton lub prasie WK÷150 o zakresie obciążeń 0÷150 ton.

Wyniki zestawione w odpowiednich protokołach zamieszczono w pracy [39]

Wytrzymałość betonu wyznaczono każdorazowo w zależności

$$R_w = \frac{1}{n}\sum \frac{P_i}{F_i} \tag{4.1}$$

Wytrzymałość betonu na rozciąganie określano na próbkach Ø 16/16 cm oraz Ø 7/7 cm metodą brazylijską. Próbki poddawano obciążeniu w prasie hydraulicznej WPM-50, układając je bezpośrednio na płytach stalowych. Wyniki badań zestawiono w protokołach. Wytrzymałość betonu na rozciąganie wyznaczono w zależności:

$$R_r = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot l} \tag{4.2}$$

$$R_r = \sum \frac{R_r^i}{n} \tag{4.3}$$

gdzie:

P - siła niszcząca,
d - średnica próbki,
l - długość próbki,
n - ilość próbek.

Moduł sprężystości betonu przy ściskaniu określono zgodnie z PN na próbkach Ø 16/32 cm. Próbki poddano obciążeniu na prasie hydraulicznej WPM-50. Dokonywano 5-krotnego obciążenia do 0,5 R_w i odciążenia do zera. Pomiaru odkształceń betonu dokonywano modułomierzem produkcji WSI - Opole o bazie 200 mm z czujnikami zegarowymi o dokładności 0,001 mm. Wyniki badań zestawione w odpowiednich protokołach zamieszczono w pracy [39]. Moduł sprężystości określono dla 5 cyklu obciążenia z zależności

$$E_b = \frac{P}{F \cdot \varepsilon_{0,5}} \tag{4.4}$$

$$\varepsilon_{0,5} = \frac{\Delta L_{0,5}}{L_b} \tag{4.5}$$

gdzie:

P - siła odpowiadająca 0,5 R_w,
F - przekrój próbki,
$\varepsilon_{0,5}$ = odkształcenie przy poziomie naprężeń $\sigma = 0,5\ R_w$,
ΔL - skrócenie włókień,
L_b - długość bazy pomiarowej.

Pomiarom sklerometrycznym poddano próbki Ø 16/16 cm wykorzystując do tego celu młotek Schmidta typu N. Próbki umieszczono w prasie WK-150 i po wywarciu wstępnego obciążenia 2 ton dokonywano odczytu liczby odbicia uderzając w 7 różnych punktach pobocznicy walca. Wyniki zestawiono w odpowiednich protokołach, które zamieszczono w pracy [39].

Pomiarom ultradźwiękowym poddano próbki Ø 16/16 cm, Ø 7/7 cm oraz bloki betonowe. Pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej dokonano przy pomocy betonoskopu BI-SR-M66 wyposażonego w głowicę G-40. Drogę impulsu w przypadku walców mierzono suwmiarką z dokładnością do 0,5 mm, natomiast dla bloków betonowych calówką z dokładnością do 1,0 mm. Prędkość przejścia fali ultradźwiękowej przez beton wyznaczono w zależności:

$$V_b = \frac{S}{t} \tag{4.6}$$

gdzie:

S - droga impulsu,

t - czas przejścia impulsu.

Wyniki badań zestawiono każdorazowo w protkołach, które zamieszczono w pracy [39].

Ciężar objętościowy betonu określano na walcach Ø 16/16 cm. Próbki ważono na wadze uchylnej o udźwigu 98,1 N z dokładnością do $9{,}81 \cdot 10^{-2}$ N.

Ciężar objętościowy wyznaczono z zależności

$$\gamma_{ob} = \frac{4\,G_b}{\pi \cdot d^2 \cdot l} \tag{4.7}$$

gdzie:

G_b - ciężar próbki,

d - średnica próbki,

l - wysokość próbki.

Wyniki zestawiono w odpowiednich protokołach i zamieszczono w pracy [39]

Nasiąkliwość betonu określano na walcach Ø 16/16 cm. Próbki suszono do stałego ciężaru w suszarce laboratoryjnej w temperaturze + 105°C. Następnie próbki nasycono wodą metodą kąpieli. Nasiąkliwość betonu wyznaczano z zależności

$$n = \frac{G_{bn} - G_{bs}}{G_{bs}} \cdot 100\% \tag{4.8}$$

G_{bn} - ciężar próbki w stanie nasycenia,

G_{bs} - ciężar próbki w stanie suchym.

Uzyskane wyniki zestawiono w odpowiednich protokołach i zamieszczono w pracy.

Beton rozdzielczy. Program badań wytrzymałościowych betonów uzyskanych metodą rozdzielczą obejmował określenie cech fizykomechanicznych na ciałach próbnych typu walcowego Ø 16/16 cm, 15/32 cm i Ø 7/7 cm oraz na blokach betonowych (podstawowe ciała próbne) o wymiarach 55/32 x 35 x 42 cm.

Dla próbek walcowych Ø 16/16 cm określono

- ciężar objętościowy,
- nasiąkliwość,
- liczbę odbicia,
- prędkość przejścia fali ultradźwiękowej,
- wytrzymałość na ściskanie,
- wytrzymałość na rozciąganie.

Dla próbek Ø 15/32 cm określono moduł sprężystości przy poziomie naprężeń

$$\sigma = 0{,}5\ R_w$$

Na blokach betonowych przeprowadzono sprawdzające pomiary ultradźwiękowe. Podobnie jak dla betonu tradycyjnego parametry wytrzymałościowe betonu mierzono na ciałach próbnych o wieku t = 3, 7 i 28 dni przy wykorzystaniu analogicznych metod pomiarowych.

4.4.3. Sposób opracowania materiału pomiarowego i wyniki badań

Materiały wsadowe. Wyniki badań normowych cementów: hutniczego "350" i portlandzkiego "450" użytych do badań zestawione tabelarycznie w pracy [39], odpowiadały wymogom odpowiednich norm. Podobnie użyte do badań kruszywa i piasek posiadały własności nie odbiegające od wymagań normowych.

Wyniki badań użytej iłowej płuczki wiertniczej wykazują, że posiada ona parametry prawie identyczne jak w badaniach laboratoryjnych.

Użytą do badań wodą jako zarobową i w postaci środowiska, w którym następowało betonowanie ciał próbnych, była woda pitna, a więc jej własności nie odbiegały od wymagań normy.

Zaprawy aktywizowane mechanicznie. Własności wykonanych wg założonych receptur aktywizowanych mechanicznie zapraw zestawiono w tablicy 4.7.

Wyniki obserwacji procesu betonowania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

Beton tradycyjny z aktywizowaną mechanicznie zaprawą. Jak to wspomniano na wstępie dla betonu tradycyjnego wypróbowano dwa sposoby betonowania. Badania wykazały, że beton układany sposobem pierwszym daje bardzo słabe rezultaty. W trakcie opadania betonu przez środowisko płuczki następuje zawirowanie, w wyniku którego część mleczka cementowego przechodzi do płuczki zaś część płuczki do układanej masy betonowej. W efekcie tego na powierzchni naczynia zalewanego powstaje kożuch płuczkowo-cementowy,

Tablica 4.7

Dane stosowanej zaprawy aktywowanej

1. Czasy wiązań mieszanek

Stosunek wagowy		Wiązania po godz.	
Cement do piasku	Woda do cementu	Początek	Koniec
1:0,5	0,5	4^{40}	6^{30}
1:1	0,55	5^{00}	6^{50}

2. Sedymentacja mieszanki

Stosunek wagowy		Sedymentacja w %		
Cement do piasku	Woda do cementu	po godz.		
		0,5	1	4
1:0,5	0,5	0	0	0
1:1	0,55	0,5	0,8	0,8

3. Wytrzymałość mieszanki

Stosunek wagowy		Wytrzymałość				
Cement do piasku	Woda do cementu	na ściskanie R_w N/m^2 po dniach			na rozrywanie R_r N/m^2 po dniach	
		1	3	28	3	28
1:0,5	0,5	314.10^4	1178.10^4	328.10^5	1962.10^5	441.10^4
1:1	0,55	412.10^4	108.10^5	2325.10^4	1768.10^5	3925.10^5

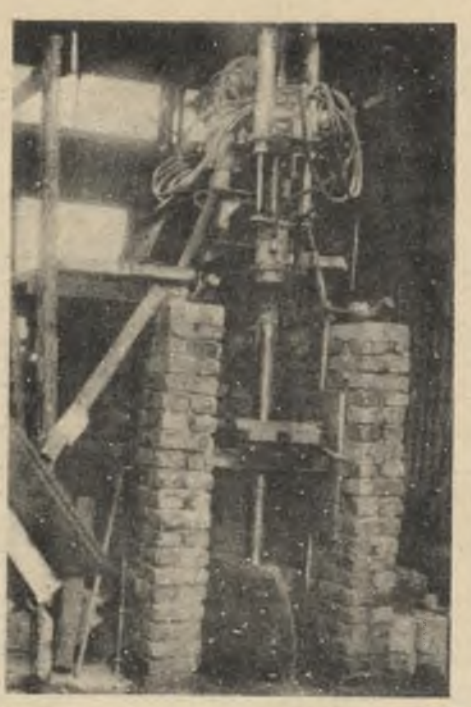
zaś właściwa masa betonowa zostaje pozbawiona części cementu oraz wymieszana z płuczką, co wpływa bardzo niekorzystnie na proces wiązania i formowania struktury betonu.

Znacznie korzystniejszy okazał się drugi sposób betonowania. Tym sposobem uzyskano monolityczne bloki (podstawowe ciała próbne) betonowe (rys 4.13).

Struktura uzyskanego w ten sposób betonu niewiele różni się od struktury betonu układanego w środowisku wodnym czy powietrznym.

Rozdzielne betonowanie. Kamieniwo ułożone w naczyniu zalane iłową płuczką wiertniczą powoduje, że poszczególne ziarna na swej powierzchni otaczane są powłoką wodno-iłową. Aktywizowana mechanicznie zaprawa w trakcie iniekcji wypiera wprawdzie płuczkę, jednakże nie uwalnia powierzchni ziarn kamieniwa z części ilastych. W efekcie tego niekorzystnego zjawiska po

a)

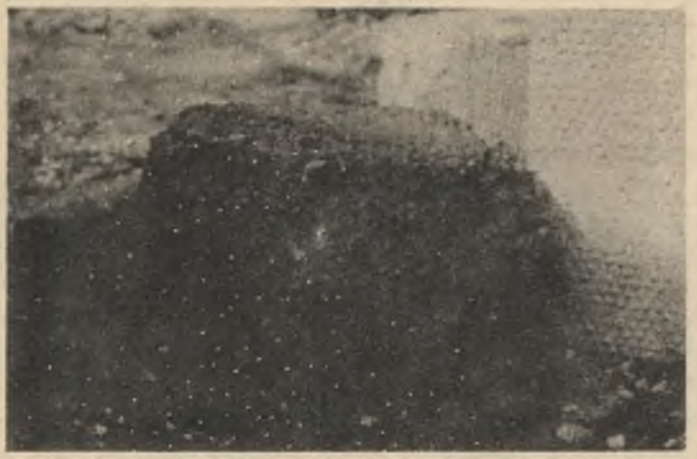


b)

Rys. 4.14. Pobieranie prób rdzeniowych

a - widok wiertnicy w trakcie pobierania prób rdzeniowych, b - przełom podstawowego ciała próbnego po pobraniu próbek rdzeniowych

a)



b)

Rys. 4.15. Widok podstawowego ciała próbnego wykonanego metodą rozdzielnego betonowania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej z kruszywa otoczakowego na cemencie hutniczym "350"

a - widok bloku, b - zbliżenie

związaniu poszczególne ziarna kamieniwa nie zostają związane z otaczającą je zaprawą i mogą być w łatwy sposób wyłuskiwane z calizny (rys. 4.15) - nie stanowią monolitu.

Próby wiercenia rdzeniowego tak uzyskanego betonu (rys. 4.14) nie dały pozytywnego rezultatu. Rdzeń rozsypywał się przed wyjęciem z rdzeniówki.

Zarejestrowane w trakcie badań zjawisko tłumaczy niską wytrzymałość uzyskanych tą metodą bloków betonowych (nie przekraczającą 110 kG/cm^2).

Potwierdzenie słabszego wiązania ziarn kamieniwa z zaprawą uzyskano również przez obserwację przełomów i płaszczyzn przecięcia bloków, których wyniki udokumentowano w pracy [39].

Wyniki badań wytrzymałościowych

Beton tradycyjny z aktywowaną mechanicznie zaprawą (receptura 1÷8). Porównanie przyrostu w czasie średnich parametrów wytrzymałościowych pomierzonych na próbkach świadkach Ø 16/16 cm i próbkach rdzeniowych Ø 7/7 cm przedstawiono dla poszczególnych receptur na rysunku 4.16.

Porównanie przyrostu średnich parametrów wytrzymałościowych w czasie dla betonów tradycyjnych wykonanych na podstawie poszczególnych receptur (1÷8) pomierzonych na próbkach świadkach Ø 16/16 cm przedstawiono na rys. 4.17 zaś na próbkach rdzeniowych Ø 7/7 cm na rys. 4.18.

Beton rozdzielczy (receptury 9÷16). Średnie wartości (z 6 próbek) mierzonych cech fizykomechanicznych betonu (po 3, 7 i 28 dniach wiązania) wykonanego według receptur 9 do 16 określono na walcach Ø 16/16 cm zestawiono w tablicy 4,8.

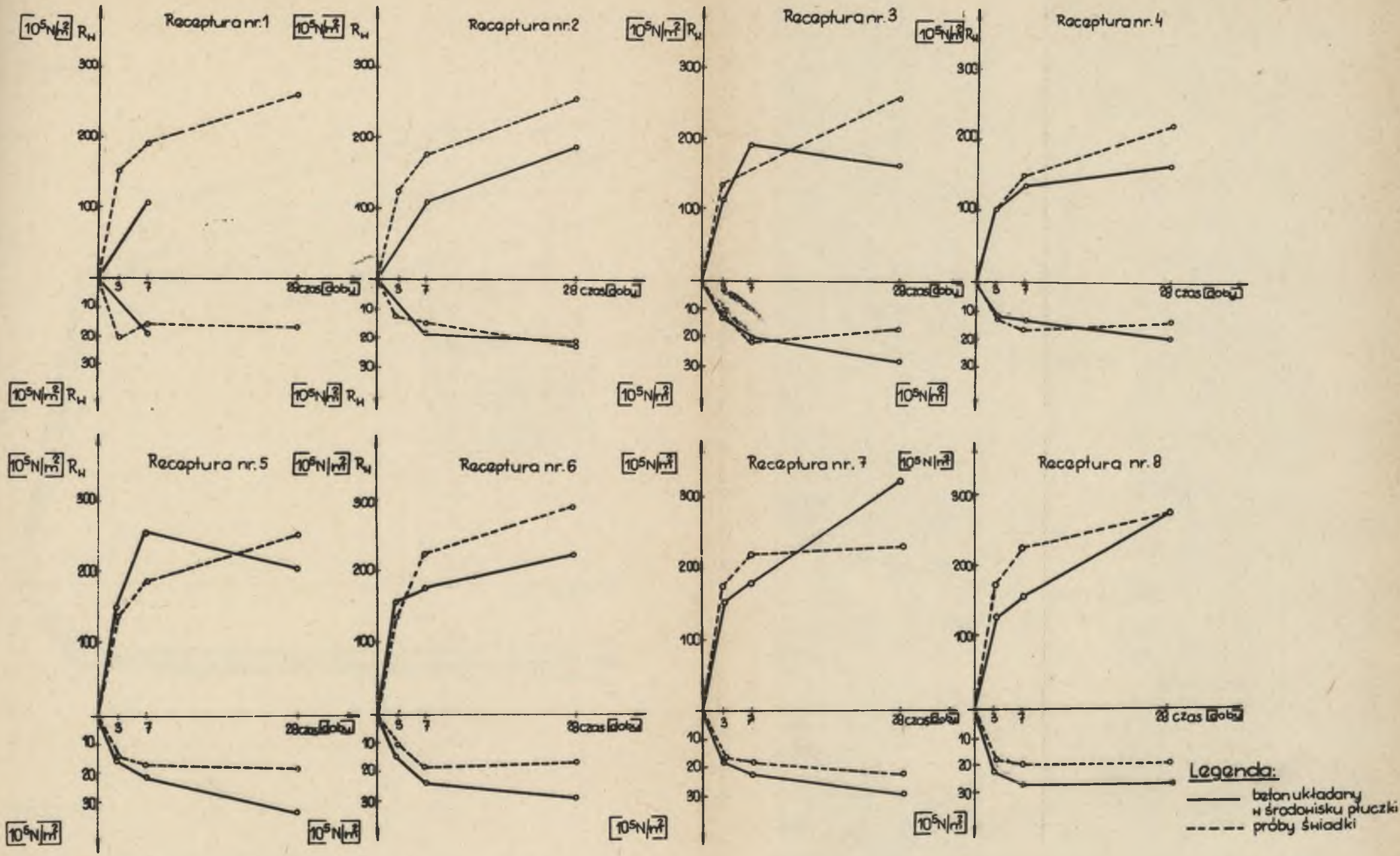
Wyniki badań betonoskopowych bloków betonowych zestawiono w tablicy 4.9. Porównanie powyższych parametrów wytrzymałościowych betonów wykonanych na podstawie poszczególnych receptur pokazano na rys. 4.19.

4.4.4. Analiza statystyczna wyników badań wytrzymałościowych

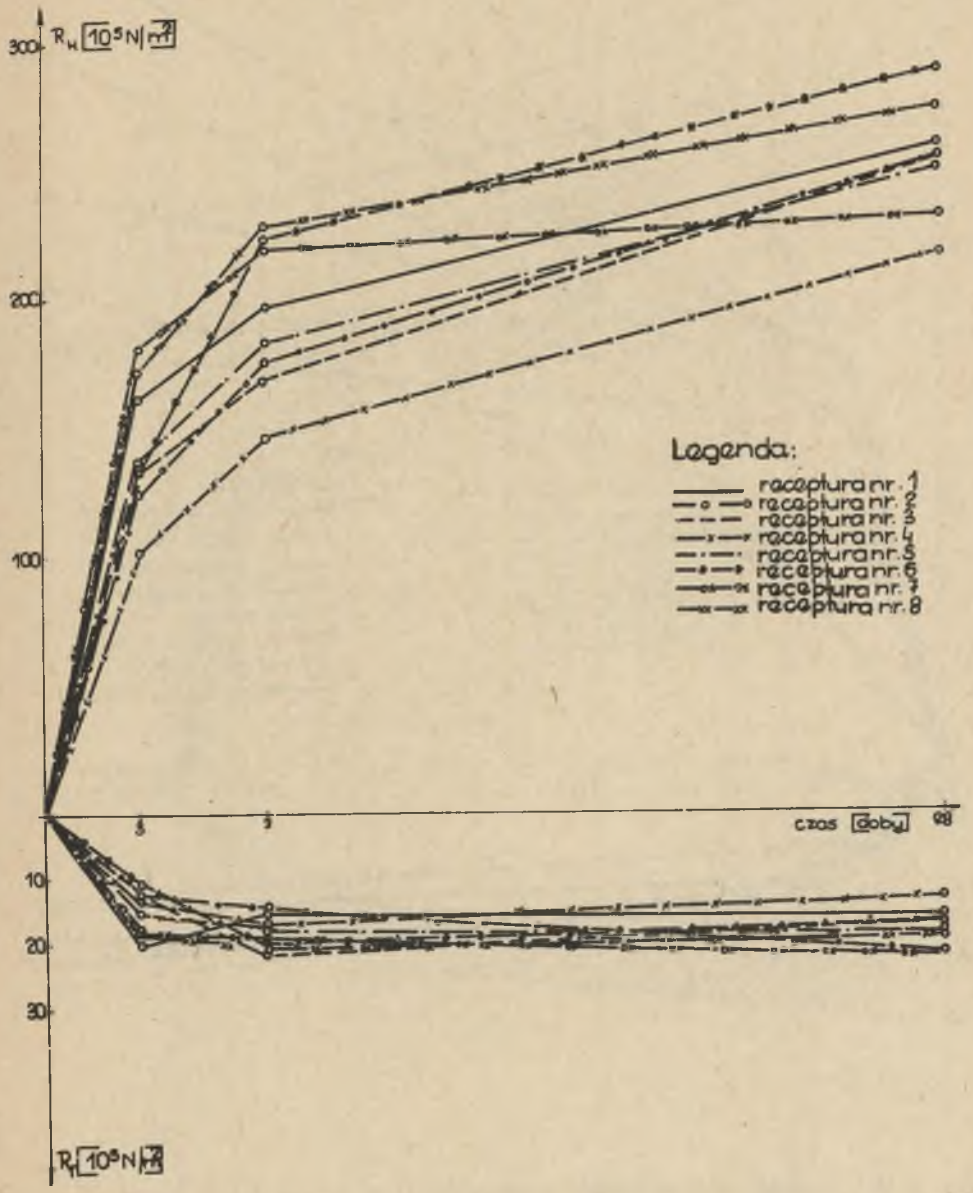
Uzyskane w efekcie przeprowadzonych badań modelowych wyniki poddano obróbce statycznej:

I tak dla betonów tradycyjnych układanych i dojrzewających w środowisku iłowej płuczki wiertniczej określono kolejno:

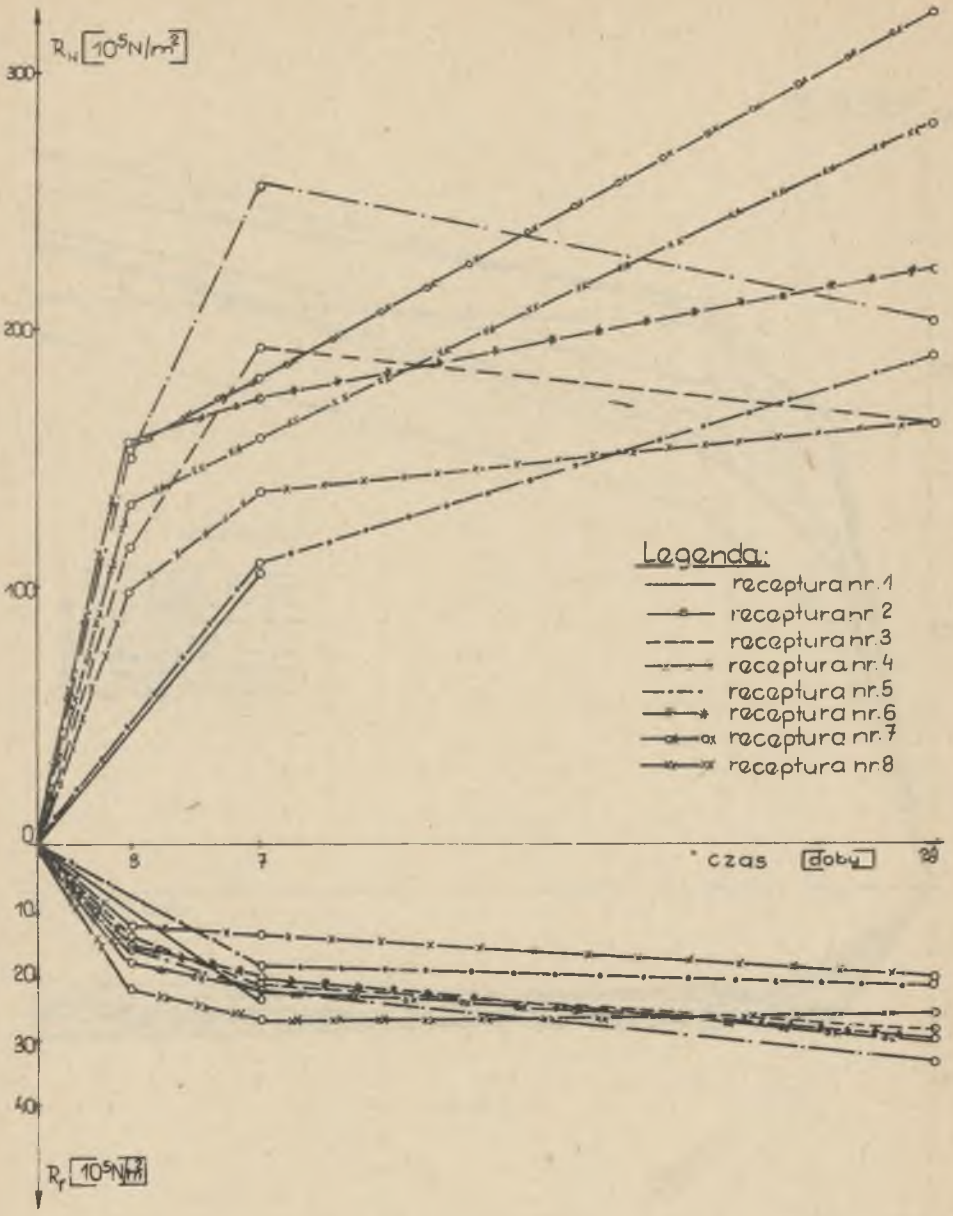
1. Związek statystyczny pomiędzy wytrzymałością betonu na ściskanie (mierzoną na walcach próbnych Ø 16/16 cm) a liczbą odbicia $R_{w16} = f(L)$.
2. Związki statystyczne pomiędzy wytrzymałością betonu na ściskanie i rozciąganie (mierzoną na walcach próbnych Ø 16/16 cm) a prędkością przejścia fali ultradźwiękowej - $R_{w16} = f(V_b)$; $R_{r16} = f(V_b)$
3. Związek statystyczny pomiędzy wytrzymałością na ściskanie (mierzony na walcach Ø 7/7 cm) a prędkością fali ultradźwiękowej - $R_{w7} = f(V_b)$.



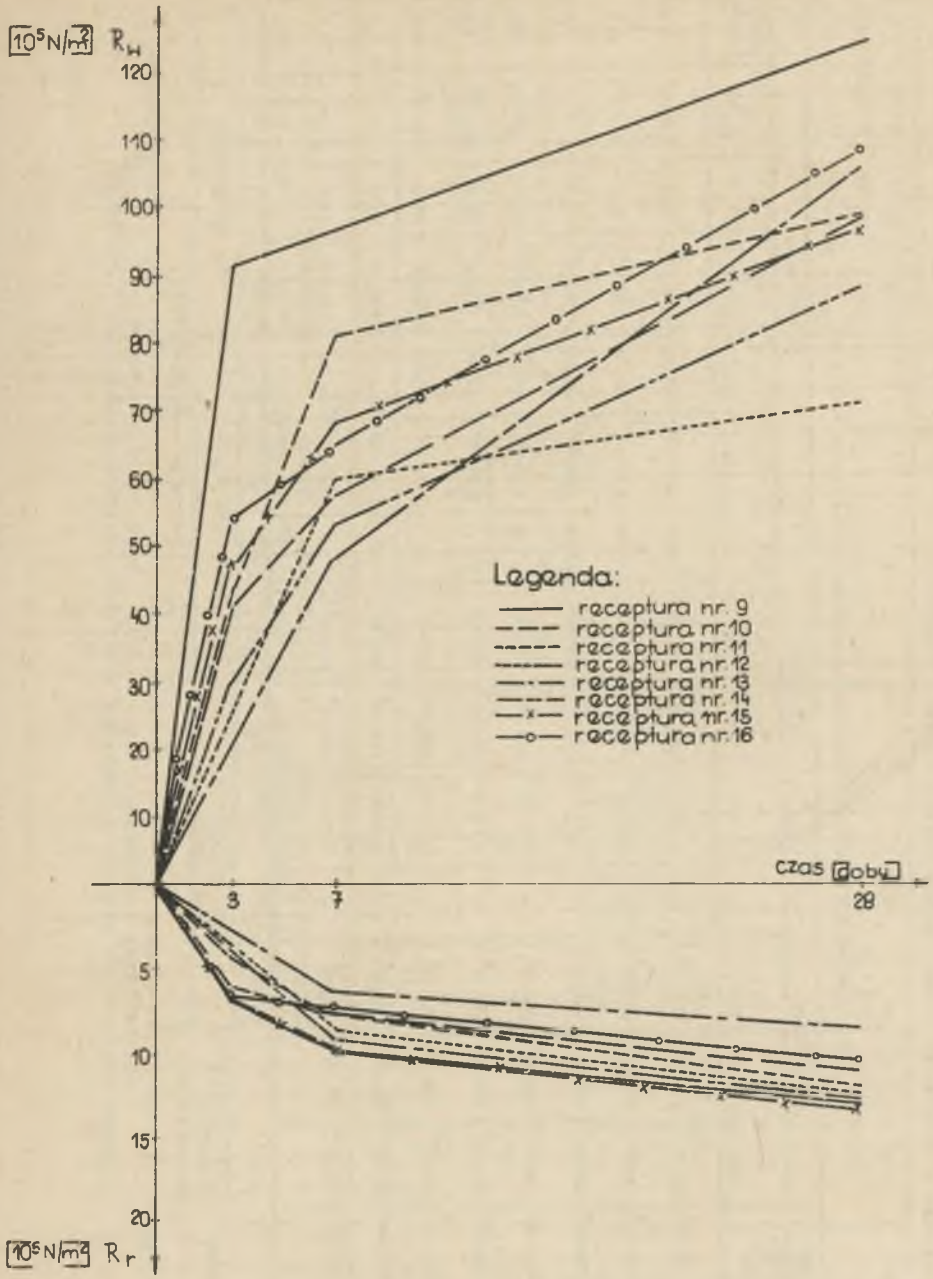
Rys. 4.16. Przyrosty wytrzymałości w czasie dla betonów wykonanych metodą tradycyjną wg receptur 1 do 8 w środowisku iłowej płuczki wiertniczej i powietrzu



Rys. 4.17. Porównanie przyrostów wytrzymałości w czasie dla betonów tradycyjnych wykonanych na recepturach 1 do 8 pomierzonych na próbkach świadkach ø 16/16 cm (beton układany i dojrzewający w powietrzu)



Rys. 4.18. Porównanie przyrostów wytrzymałości w czasie dla betonów tradycyjnych wykonanych wg receptur 1 do 8, pomierzonych na próbkach przyciętych z rdzeni Ø 7/7 cm (beton układany i dojrzewający w środowisku iłowej płuczki wiertniczej



Rys. 4.19. Porównanie przyrostów wytrzymałości w czasie dla betonów rozdzielczych wykonanych na recepturach 9 do 16, pomierzonych na próbkach świadkach Ø 16/16 cm (beton wykonywany w wodzie i dojrzewający w powietrzu)

Tablica 4.8

Średnie parametry fizykomechaniczne betonu rozdzielonego (próby świadki ϕ 16/16 cm)

Receptury nr	Ciężar objętościowy γ/m^3	Po 3 dniach				Po 7 dniach				Po 28 dniach					
		V m/s	R_w N/m^2	R_r N/m^2	L	V m/s	R_w N/m^2	R_r N/m^2	L	V m/s	R_w N/m^2	R_r N/m^2	L	E_B N/m^2	Nasiąkliwość
9	$2.247.10^3$	$4,26.10^{-3}$	902.10^4	647.10^3	20,8	$4,32.10^{-3}$	893.10^4	981.10^3	22,9	$4,27.10^{-3}$	1208.10^4	1248.10^3	29,5	2085.10^9	4,8
10	$2.273.10^3$	$3,78.10^{-3}$	412.10^4	403.10^3	12,5	$4,52.10^{-3}$	569.10^4	746.10^3	19,8	$4,07.10^{-3}$	958.10^4	108.10^4	29,2	432.10^9	6,7
11	$2.276.10^3$	$4,23.10^{-3}$	132.10^4	589.10^3	17,7	$4,37.10^{-3}$	795.10^4	755.10^3	22,9	$4,06.10^{-3}$	971.10^4	1159.10^3	31,8	-	7,3
12	$2.253.10^3$	$3,39.10^{-3}$	216.10^4	304.10^3	-	$3,94.10^{-3}$	589.10^4	922.10^3	21,8	$4,23.10^{-3}$	706.10^4	628.10^3	24,6	-	5,4
13	$2.189.10^3$	$3,11.10^{-3}$	255.10^4	334.10^3	-	$3,18.10^{-3}$	471.10^4	608.10^3	-	$3,67.10^{-3}$	102.10^5	825.10^3	26,0	451.10^9	8,7
14	$2.231.10^3$	$3,14.10^{-3}$	294.10^4	245.10^3	-	$3,43.10^{-3}$	520.10^4	893.10^3	-	$3,83.10^{-3}$	864.10^4	1237.10^3	27,7	308.10^9	3,4
15	$2.192.10^3$	$3,33.10^{-3}$	261.10^4	638.10^3	-	$3,36.10^{-3}$	666.10^4	971.10^3	-	$3,67.10^{-3}$	952.10^4	1306.10^3	33,3	-	7,0
16	$2.225.10^3$	$3,28.10^{-3}$	530.10^4	638.10^3	-	$3,28.10^{-3}$	648.10^4	716.10^3	-	$3,56.10^{-3}$	106.10^5	105.10^4	27,3	334.10^9	2,7

Tablica 4.9

Wyniki kontrolnych badań betonoskopowych bloków betonowych wykonanych metodą rozdzielnego betonowania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

Receptura	Oznaczenie podstawow. ciała próbn.	Pomierzone parametry przy badaniu ultradźwiękami								
		po 3 dniach			po 7 dniach			po 28 dniach		
		Grub. ciała próbn. S	Czas przepł. fali t	Prędkość przepływu fali V_b	Grub. ciała próbn. S	Czas przepł. fali t	Prędkość przepływu fali V_b	Grub. ciała próbn. S	Czas przepł. fali t	Prędkość przepływu fali V_b
		mm	sec	m/s	mm	sec	m/s	mm	sec	m/s
9	9 S	-	-	-	-	-	-	358	82,0	$4{,}36 \cdot 10^{-3}$
9	9 W	-	-	-	-	-	-	357	83,6	$4{,}27 \cdot 10^{-3}$
10	10 S	-	-	-	359	100,2	$3{,}58 \cdot 10^{-3}$	359	88,5	$4{,}05 \cdot 10^{-3}$
10	10 W	-	-	-	362	93,2	$3{,}88 \cdot 10^{-3}$	362	85,6	$4{,}22 \cdot 10^{-3}$
11	11 S	-	-	-	365	92,1	$3{,}93 \cdot 10^{-3}$	365	85,8	$4{,}25 \cdot 10^{-3}$
11	11 W	-	-	-	354	92,7	$3{,}81 \cdot 10^{-3}$	354	86,0	$4{,}11 \cdot 10^{-3}$
12	12 S	358	108,3	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	-	-
12	12 W	358	107,2	$3{,}33 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	-	-
13	13 S	345	110,2	$2{,}13 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	-	-
13	13 W	365	115,0	$3{,}17 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	-	-
14	14 S	-	-	-	-	-	-	355	83,8	$4{,}23 \cdot 10^{-3}$
14	14 W	-	-	-	-	-	-	360	84,6	$4{,}25 \cdot 10^{-3}$
15	15 S	-	-	-	-	-	-	354	83,5	$4{,}23 \cdot 10^{-3}$
15	15 W	-	-	-	-	-	-	353	85,8	$4{,}11 \cdot 10^{-3}$
16	16 S	-	-	-	-	-	-	358	84,6	$4{,}23 \cdot 10^{-3}$
16	16 W	-	-	-	-	-	-	357	84,5	$4{,}22 \cdot 10^{-3}$

Uwagi: Literą S oznaczono ciało próbne dojrzewające w powietrzu
Literą W " " " " w wodzie.

Z przeprowadzonej analizy, której szczegóły zamieszczono w pracy [39], wynika, że:

- w przypadku pierwszym istnieje zależność pomiędzy marką betonu a liczbą która wyraża się równaniem prostej regresji w postaci $R_w = 8.65.L-57,8$,
- w przypadku drugim stwierdzano brak korelacji pomiędzy prędkością przejścia fali ultradźwiękowej a wytrzymałością betonu na ściskanie i rozciąganie,
- podobnie w przypadku trzecim uzyskana wartość liniowego współczynnika korelacji wskazuje na brak korelacji pomiędzy prędkością przejścia fali ultradźwiękowej przez beton a jego wytrzymałością na ściskanie.

Dla betonu rozdzielczego korzystając z rachunku statystycznego ustalono równania prostych regresji pomiędzy wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie (mierzoną na walcach Ø 16/16 cm) a szybkością przejścia fali ultradźwiękowej:

$$R_w = 49,2 + 31,97 \cdot V_b$$

$$R_r = 3,83 + 3,33 \cdot V_b$$

Wykorzystując wyprowadzone zależności oraz dane zamieszczone w tablicy 4.9 można było ustalić wytrzymałości R_w i R_r uzyskanych ciał próbnych (bloków betonowych). Jak to wynika z przeprowadzonych przeliczeń beton rozdzielczy w badanych seriach charakteryzuje się stosunkowo niską wytrzymałością odpowiadającą R_w = "70 do 110".

4.4.5. Wnioski z badań modelowych

Po przeanalizowaniu uzyskanych wyników nasuwają się następujące wnioski:

Betony wykonane metodą tradycyjną dały wyniki pozytywne. Betony wykonane metodą rozdzielnego betonowania posiadały wytrzymałość na ściskanie $108 \cdot 10^2$ N/m^2, a więc mogą stanowić jedynie wypełnienie przestrzeni pomiędzy górotworem a właściwą obudową.

Metoda betonowania tradycyjnego z zastosowaniem aktywowanych zapraw zarówno dla kruszyw otoczakowych jak i granitowych zagwarantowała uzyskanie w środowisku iłowej płuczki wiertniczej betonów konstrukcyjnych marki "200" do "300" ($1962 \cdot 10^4 \div 2943 \cdot 10^4$ N/m^2).

W trakcie badań wytrzymałościowych betonów tradycyjnych zaobserwowano, że układane w środowisku iłowej płuczki wiertniczej tracą (w stosunku do próbek świadków) na wytrzymałości na ściskanie, natomiast ich wytrzymałość na rozciąganie nieco wzrasta.

W oparciu o szczegółową analizę uzyskanych wyników do badań półprzemysłowych wytypowano betony tradycyjne z aktywowanymi zaprawami wykonane według następujących receptur:

- dla kruszywa otoczakowego receptury nr 2 z cementem portlandzkim "450" oraz nr 3 z cementem hutniczym "350",
- dla kruszywa łamanego granitowego receptur nr 6 z cementem hutniczym "350" i nr 7 z cementem portlandzkim "450".

4.5. Próby półprzemysłowe zastosowania wybranych receptur oraz technologii układania, przy betonowaniu elementów obudowy w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

4.5.1. Omówienie przeprowadzonych badań półprzemysłowych

Zasadniczym celem badań półprzemysłowych było praktyczne sprawdzenie skuteczności wiązania oraz możliwości przeprowadzenia procesu betonowania w skali przemysłowej, w środowisku iłowej płuczki wiertniczej dla receptur betonów wytypowanych w trakcie badań modelowych. Zgodnie z wnioskami przedstawionymi w rozdziale 4.4 próbom poddano cztery wytypowane receptury betonu tradycyjnego z aktywowanymi mechanicznie zaprawami, obejmując cement hutniczy "350" i portlandzki "450" oraz kruszywa otoczakowe i granitowe. Zakres badań obejmował:

- próby technologiczne wytwarzania, transportu i układania masy betonowej
- obserwację przebiegu procesu wiązania,
- badania wytrzymałościowe,
- badania makrospokowe wykonanej konstrukcji obudowy oraz struktury pobranych rdzeni.

W trakcie prób półprzemysłowych zastosowano następujące materiały wsadowe:

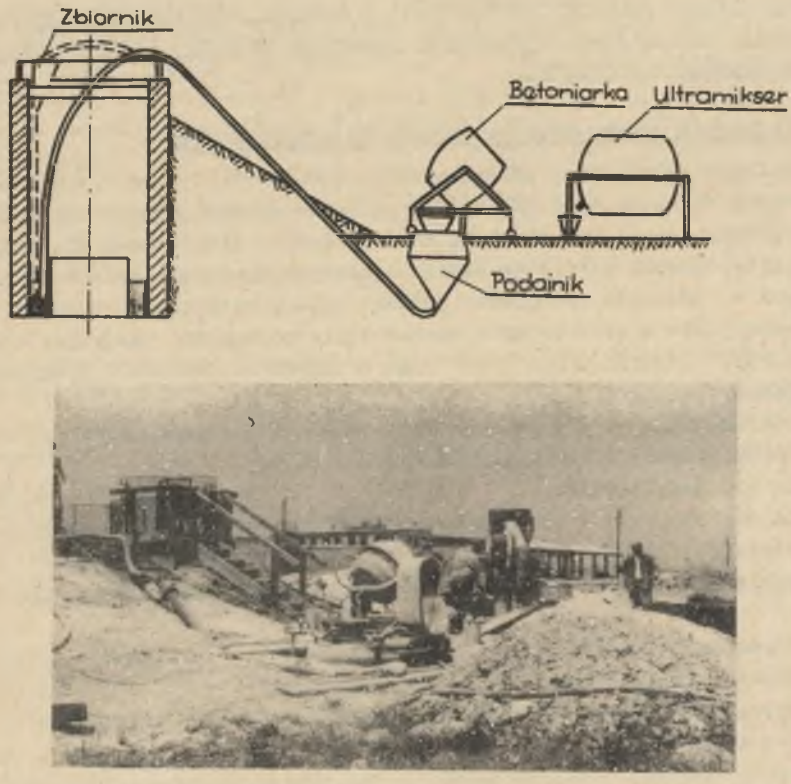
- cement portlandzki "450",
- cement hutniczy "350",
- kruszywo otoczakowe,
- kruszywo granitowe,
- piasek,

ściśle według receptury 2; 3; 6 i 7 zestawionych w tablicy 4.5. Również wykorzystana płuczka iłowa wykonana przy użyciu iłomieszałki posiada zbliżone parametry jak w badaniach laboratoryjnych i modelowych.

Do przeprowadzenia właściwych badań wykorzystano szyb doświadczalny o średnicy w świetle 7,0 m, głębokości 6,0 m, wykonany w obudowie betonowej zlokalizowany na terenie Podziemnego Zakładu Doświadczalnego Dołowego - Wiszowiec IV. Dla uzyskania możliwości przeprowadzenia badań w skali przemysłowej zaprojektowano i wykonano w odpowiedniej konstrukcji odeskowanie

(szalunek). Ciąg technologiczny do wykonania badań technologicznych (rys. 4.20) składał się z:

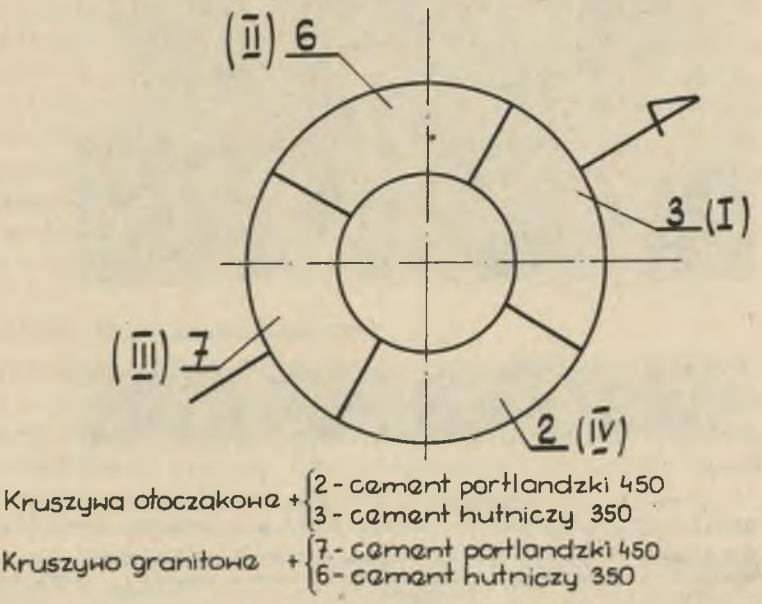
- ultramiksera UM-6,
- wagi,
- betoniarki BW-150,
- podajnika pneumatycznego,
- zbiornika wyrównawczego,
- końcówki przewodu Ø 100 zakończonej jaskółczym ogonem.



Rys. 4.20. Ciąg technologiczny do prób półprzemysłowych
a - schemat, b - widok ciągu technologicznego

Masę betonową wykonywano przy wykorzystaniu betoniarki wolnospadowej typu BW-150-E-II. Zaprawę cementową aktywowano mechanicznie przy wykorzystaniu ultramiksera UM-C. Po zarobieniu masę betonową podawano grawitacyjnie z betoniarki wprost do podajnika pneumatycznego, który podawał ją bezpośrednio na miejsce układania bądź do zbiornika dczującego, skąd grawitacyjnie opadała w środowisko iłowej płuczki wiertniczej.

Dla zabezpieczenia stałości warunków betonowania, głównie parametrów iłowej płuczki wiertniczej, przestrzeń pomiędzy szalunkiem a wnętrzem szybu odizolowano folią górniczą tak, że zalane w poszczególne segmenty medium nie mieszało się z wodą wypełniającą środek szybu. Cały obwód szybu podzielono na cztery segmenty, umożliwiające wypróbowanie wybranych receptur (rys. 4.21). Podczas betonowania każdego odcinka doświadczalnego prowadzono szczegółową obserwację przebiegu procesu..

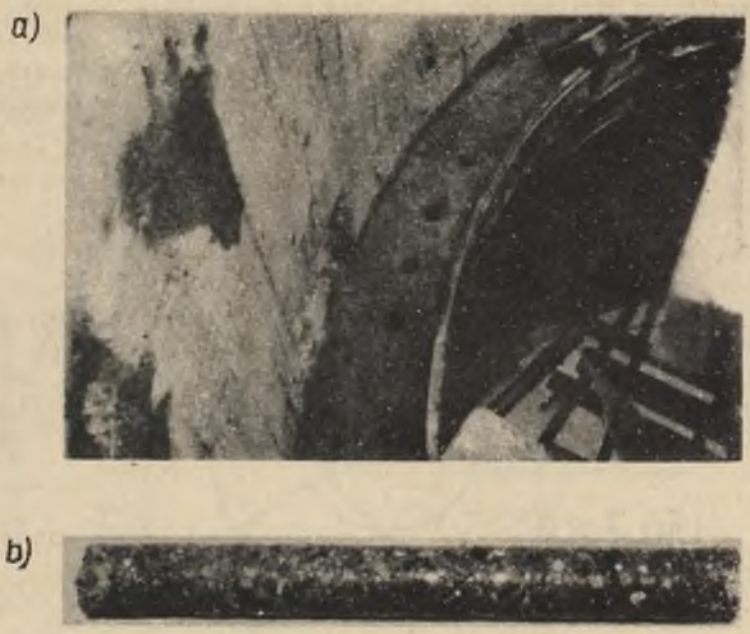


Rys. 4.21. Schematyczny podział obudowy szybu doświadczalnego na segmenty wykonywane wg występowanych receptur

Dla przeprowadzenia badań wytrzymałościowych betonów uzyskanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej, w trakcie betonowania pobierano świadki (6 próbek Ø 16/16 cm), a następnie po upływie 28 dni w konstrukcji obudowy wiercono rdzenie (rys. 4.22) przy wykorzystaniu wiertnic MDR-06e i MDS-06W, które następnie cięto na próbki o wymiarach Ø 7,3/7,3 cm. Uzyskane w ten sposób próbki poddano badaniom wytrzymałościowym na ściskanie i rozciąganie. Ponadto ustalono nasiąkliwość betonu.

Przy badaniach wytrzymałościowych zastosowano dla próbek świadków 3 metody, a mianowicie:

- betonoskopową (ultradźwiękową),
- sklerometryczną,
- zgniatanie na prasie,



Rys. 4.22. Pobieranie prób rdzeniowych z segmentów (doświadczalnych) obudowy betonowej szybu wykonanej w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

a - widok fragmentu obudowy z nawierconymi otworami podłużnymi, b - widok rdzenia pobranego z receptury (kruszywo granitowe + cement portlandzki "450")

Rys. 4.23. Widok fragmentu obudowy wykonanej w środowisku iłowej płuczki wiertniczej po odwinięciu folii uszczelniającej (styk kolejnych segmentów)

zaś dla próbek Ø 7,3/7,3 cm:
- betonoskopową,
- zgniatanie na prasie,
które przedstawiono bliżej w rozdziale 4.4.

Badania na rozciąganie przeprowadzono w obu przypadkach metodą brazylijską, zaś badania modułu sprężystości na próbkach Ø 25/32 cm.

Całość badań wytrzymałościowych przeprowadzono pod kierunkiem autora w Zakładzie Badań i Doświadczeń Budownictwa Węglowego - Katowice.

Po zakończeniu okresu dojrzewania obudowy wykonanej w środowisku iłowej płuczki wiertniczej zdjęto odeskowanie i wypompowano wodę ze środka szybu, a następnie po odwinięciu folii (rys. 4.23) całość (głównie stronę wewnętrzną szybu) poddano szczegółowym oględzinom.

Niezależnie od powyższego, strukturę uzyskanych konstrukcji, badano poprzez oględziny próbek rdzeniowych wierconych w kierunku wzdłuż i po promieniu obudowy szybu doświadczalnego. Na ciekawszych próbkach dokonano szlifów i wykonano dokumentację fotograficzną (rys. 4.24).

4.5.2. Wyniki badań półprzemysłowych

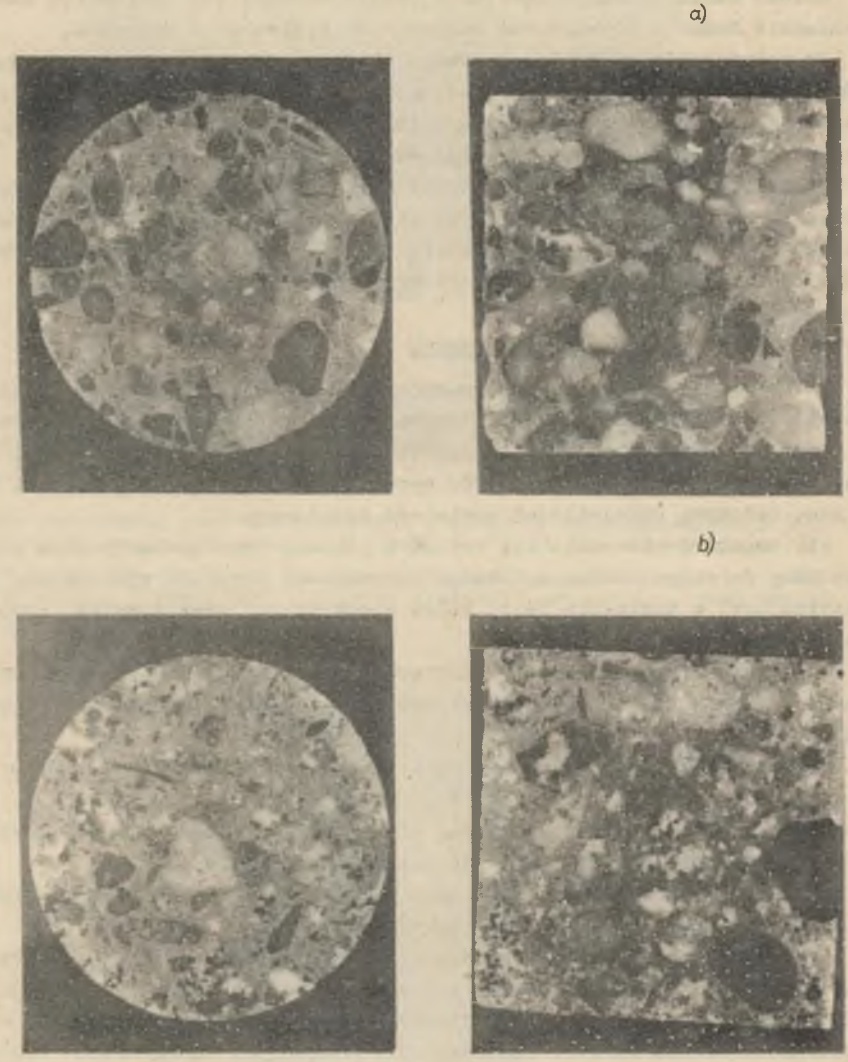
Do betonowania I segmentu (wg receptury nr 6) przystąpiono w dniu 15.05.1973 r. wprowadzając masę betonową przewodem bezpośrednio do płuczki. Z uwagi na występujące gwałtowne zawirowania betonowanie przerwano. Powodem zaobserwowanego zjawiska było wprowadzenie w środowisko płuczki razem z masą betonową dużej ilości powietrza sprężonego.

Aby zapobiec mieszaniu się betonu z płuczką przy pneumatycznym podawaniu masy do ciągu technologicznego wprowadzono zbiornik wyrównawczy (odpowietrzający) w kształcie leja, który zapewnił jej grawitacyjne podawanie za odeskowanie.

W oparciu o przeprowadzone obserwacje procesu półprzemysłowego betonowania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej nasuwają się następujące uwagi:
- słup podawanej masy betonowej od zbiornika do wylotu rury winien być ciągły,
- końcówka wylotowa rury podającej winna tkwić w rozprowadzonej uprzednio masie betonowej (gwarantuje równomierne wypieranie płuczki),
- dla właściwego rozprowadzania masy betonowej wskazane jest zapewnienie ruchu poziomego końcówki rury wylotowej.

Przy tych warunkach betonowanie kolejnych segmentów (I do IV) przebiegało sprawnie. Płuczka o pewnym zanieczyszczeniu cementem była wypierana przez beton i w końcowej fazie pozostała z niej jedynie w górnej części szalowania cienka warstwa iło-cementu o obniżonych parametrach wytrzymałościowych.

Wyniki badań wytrzymałościowych na ściskanie i rozciąganie oraz moduł sprężystości próbek świadków jak również nasiąkliwości zestawiono w odpo-



Rys. 4.24. Widok przekrojów wykonanych na pobranych rdzeniach z betonu wykonanego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

a - charakterystyczny przekrój podłużny i poprzeczny rdzenia pobranego z segmentu I, b - charakterystyczny przekrój podłużny i poprzeczny rdzenia pobranego z segmentu II

c)

d)

Rys. 4.24. Widok przekrojów wykonanych na pobranych rdzeniach z betonu wykonanego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

c - charakterystyczny przekrój podłużny i poprzeczny rdzenia pobranego z segmentu III, d - charakterystyczny przekrój podłużny i poprzeczny rdzenia pobranego z segmentu IV

wiednich tablicach i zamieszczono w pracy [39]. Podobnie wyniki badań wytrzymałościowych próbek uzyskanych z rdzeni (wiercenia pionowe i poziome) dla poszczególnych receptur zestawione w tablicy zamieszczono w tejże pracy. Średnie wartości mierzonych cech fizykomechanicznych przebadanych betonów wykonanych wg założonych receptur w seriach I do IV zestawiono w tablicy 4.10.

Tablica 4.10

Lp.	Badana cecha	Jedn.	Seria			
			I	II	III	IV
1	Wytrzymałość na ściskanie R_w Ø 16/16	N/m^2	1718.10^4	1854.10^4	211.10^4	216.10^5
2	Wytrzymałość na ściskanie R_w Ø 7/7	N/m^2	$\frac{1238.10^4}{1403.10^4}$	$\frac{16.10^6}{148.10^5}$	$\frac{152.10^5}{149.10^5}$	$\frac{1189.10^4}{1198.10^4}$
3	Wytrzymałość na ściskanie R_w Ø 16/16 = 0,85 · R_w Ø 7/7	N/m^2	$\frac{1050.10^4}{1199.10^4}$	$\frac{1354.10^4}{1258.10^4}$	$\frac{1297.10^4}{1268.10^4}$	$\frac{1011.10^4}{1021.10^4}$
4	Wytrzymałość na rozciąganie R_r Ø 16/16	N/m^2	104.10^4	206.10^4	1903.10^4	162.10^4
5	Wytrzymałość na rozciąganie R_r Ø 7/7	N/m^2	$\frac{246.10^4}{281.10^4}$	$\frac{212.10^4}{271.10^4}$	$\frac{212.10^4}{298.10^4}$	$\frac{237.10^4}{281.10^4}$
6	Moduł sprężystości E_b 0,5 R_w	N/m^2	148.10^8	1327.10^8	222.10^8	242.10^8
7	Prędkość impulsu ultradźwięk. V_b	km/sec m/s	$3,97.10^3$	$3,8.10^3$	$4,14.10^3$	$4,36.10^3$
8	Liczba odbicia L	-	32,0	32,0	34,0	33,1
9	Ciężar objęt. w stanie pow.-such. ob	N/m^3	2195.10^4	2189.10^4	2210.10^4	$2,20.10^4$
10	Nasiąkliwość n_b	%	4,8	6,6	3,8	2,9

W wierszach 2 i 5 podano w liczniku wartości uzyskane dla próbek z odwiertu pionowego, w mianowniku z odwiertu poziomego.

Jak z powyższego widać przy zastosowaniu współczynników zmniejszających dla walców Ø 7,3 cm jedynie serie II i III, a więc receptury 6 i 7, pozwalają na uzyskanie w środowisku płuczki wiertniczej betonów $R_w \geq 1373 \cdot 10^4$ N/m^2.

Badania makrospokowe przeprowadzone po rozdeskowaniu i zdjęciu folii wykazały:

- brak zasadniczych różnic powierzchniowych pomiędzy poszczególnymi segmentami wykonanymi wg różnych receptur,
- występowanie warstwy płuczki o grubości 0,5 do 1 cm na stronie wewnętrznej obudowy (beton czysty jedynie lokalnie),
- lokalne kawerny zamkniętej betonem płuczki,
- poziome lub ukośne rysy na segmencie I powstałe na skutek przerw w betonowaniu.

Odpowiednią dokumentację fotograficzną z wyglądu zewnętrznego uzyskanych segmentów obudowy zamieszczono w pracy [39].

Przygotowane do badań wytrzymałościowych próbki rdzeniowe z badanych segmentów przycięto na pile tarczowej wzdłuż i poprzecznie (rys. 4.24). Obserwacja szczegółowa płaszczyzn przecięcia wykazała niewielką ilość ciał obcych w postaci cząstek iłu. Jakość i jednorodność betonu ułożonego w konstrukcji można uznać jako zadowalającą.

4.5.3. Statyczna analiza wyników badań wytrzymałościowych

Na podstawie uzyskanych w trakcie prób półprzemysłowych wyników badań wytrzymałościowych podjęto próbę określenia związków statystycznych pomiędzy następującymi wielkościami fizycznymi:

- wytrzymałością na ściskanie pomierzoną na próbkach świadkach Ø 16/16 cm a liczbą odbicia $R_{w16} = f(L)$,
- wytrzymałością na ściskanie pomierzoną na próbkach świadkach Ø 16/16 cm a prędkością przejścia impulsu ultradźwiękowego V_b ($R_{w16} = f\ V_b$),
- wytrzymałością na ściskanie pomierzoną na próbkach rdzeniowych Ø 7/7 cm a prędkością przejścia impulsu ultradźwiękowego V_b $R_{w7} = f\ V_b$,
- wytrzymałością na rozciąganie pomierzoną na próbkach rdzeniowych Ø 7/7 cm a prędkością przejścia impulsu ultradźwiękowego V_b $R_{r7} = f\ V_b$.

Niezależnie od powyższych badań sprawdzono możliwość stosowania przy opracowywaniu wyników badań równań regresji wyznaczonych na podstawie wyników badań omówionych w podrozdziale 4.4.

I tak sprawdzono równanie regresji

$$R_w = 8{,}65 \cdot L - 57{,}8$$

oraz

$$R_w = -191{,}6 + 95{,}4 \cdot V_b$$

Średnie kwadratowe odchylenie względne ν w pierwszym przypadku wynosi 16% w drugim zaś zaledwie 10,6%, co upoważnia zgodnie z wymogami instrukcji ITB [57 i 58] do ich wykorzystania przy wyznaczeniu wytrzymałości betonu zarówno na podstawie pomiarów sklerometrycznych jak i ultradźwiękowych.

4.5.4. Ocena wyników badań wytrzymałościowych przeprowadzonych w trakcie prób półprzemysłowych

Średnia wytrzymałość betonu wykonanego w warunkach normalnych w rozumieniu normy [60] odpowiada dla wszystkich serii marce "200". Wytrzymałość tego samego betonu ułożonego w płuczce wiertniczej spadła do wartości przeliczeniowej R_w Ø 16/16 = 102 . 10^5 do 1354 . 10^4 N/m^2, co odpowiada marce betonu "110" do "140".

Wytrzymałość betonu na rozciąganie określona na próbkach Ø 7/7 cm jest znacznie wyższa.

Średnia wartość stosunku

$$V = \frac{R_r \text{ Ø } 7/7}{R_r \text{ Ø } 16/16} = \frac{26,60}{18,97} = 1,40$$

Wartości te określono z wyłączeniem wyników R_r Ø 16/16 dla serii I. Wskazuje ona na wzrost wytrzymałości betonu na rozciąganie przy jego układaniu, dojrzewaniu w środowisku płuczki wiertniczej w porównaniu do normalnych warunków dojrzewania.

Statystyczna analiza wyników badań wykazała zgodność otrzymanych wartości z badaniami przeprowadzonymi w rozdziale 4.4.
Wykazała ona możliwość korzystania z równania regresji:

$$R_w = 8,65 \cdot L - 57,8$$

przy wyznaczeniu wytrzymałości betonu na podstawie pomiarów sklerometrycznych oraz z równania:

$$R_w = - 191,6 + 95,4 \cdot V_b$$

przy wyznaczaniu wytrzymałości betonu na podstawie pomiarów ultradźwiękowych.

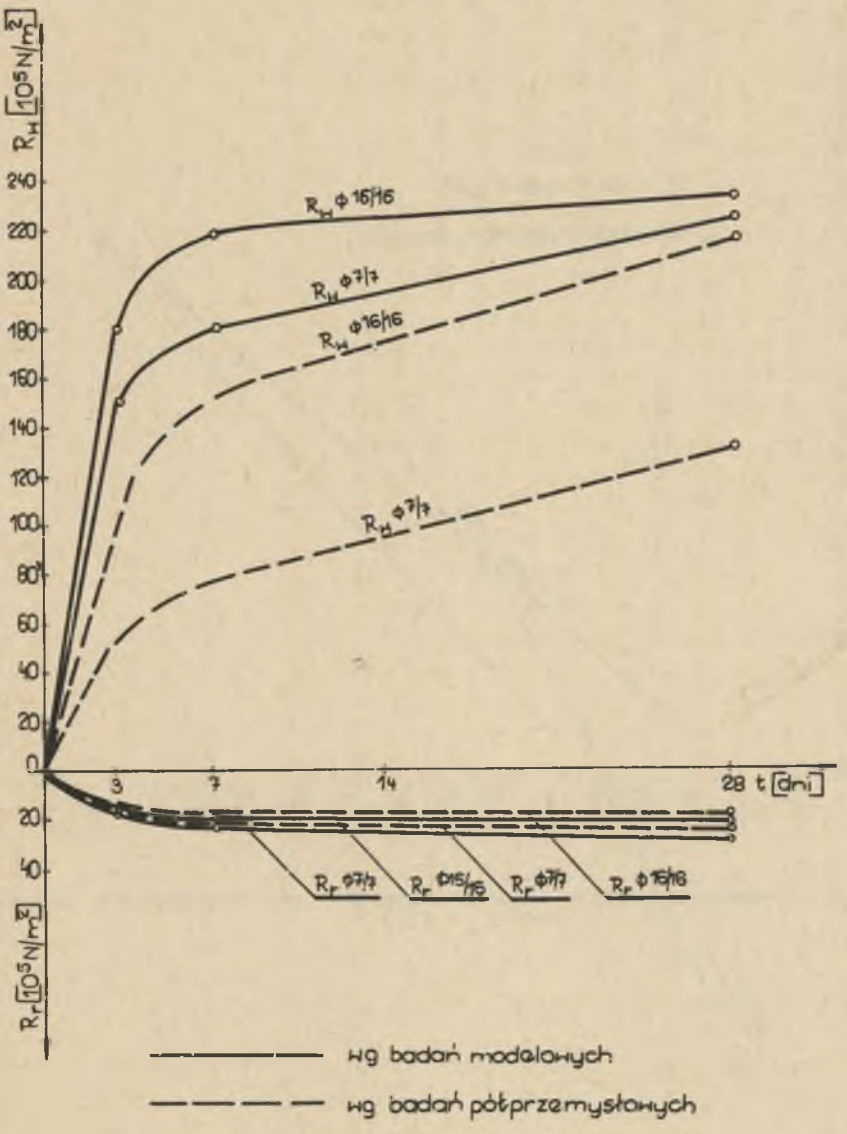
Nie stwierdzono natomiast zależności statystycznej pomiędzy R_r a L lub V_b.

4.6. Ocena wyników badań wytrzymałościowych betonów i wnioski

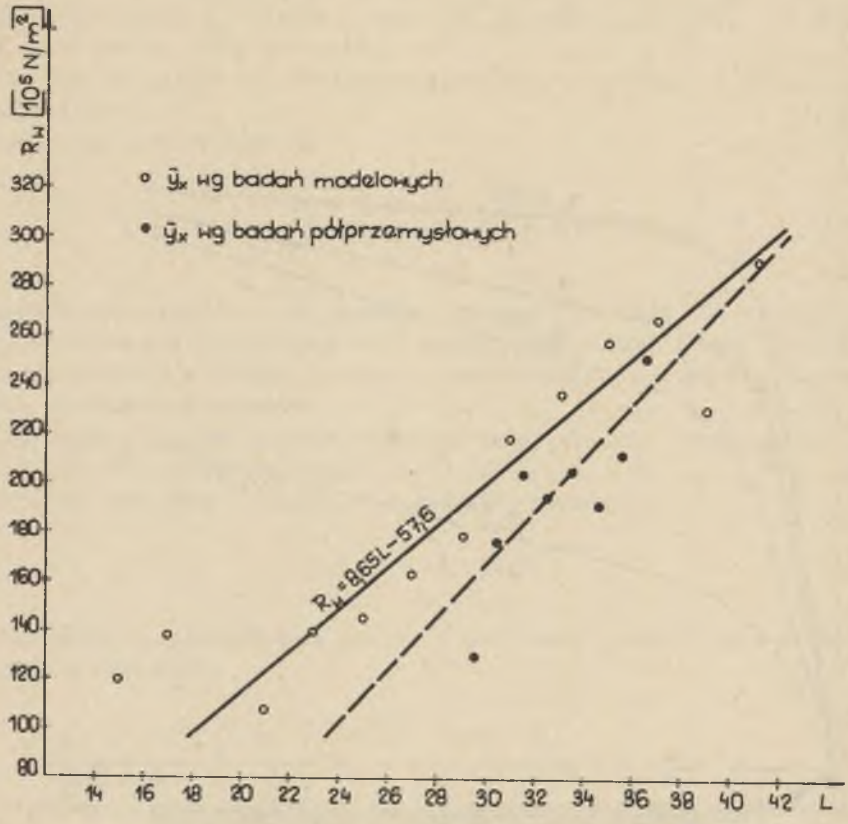
4.6.1. Porównanie wyników badań laboratoryjnych, modelowych i półprzemysłowych

Zrealizowane badania betonu układanego w środowisku płuczki wiertniczej prowadzone były w trzech fazach:

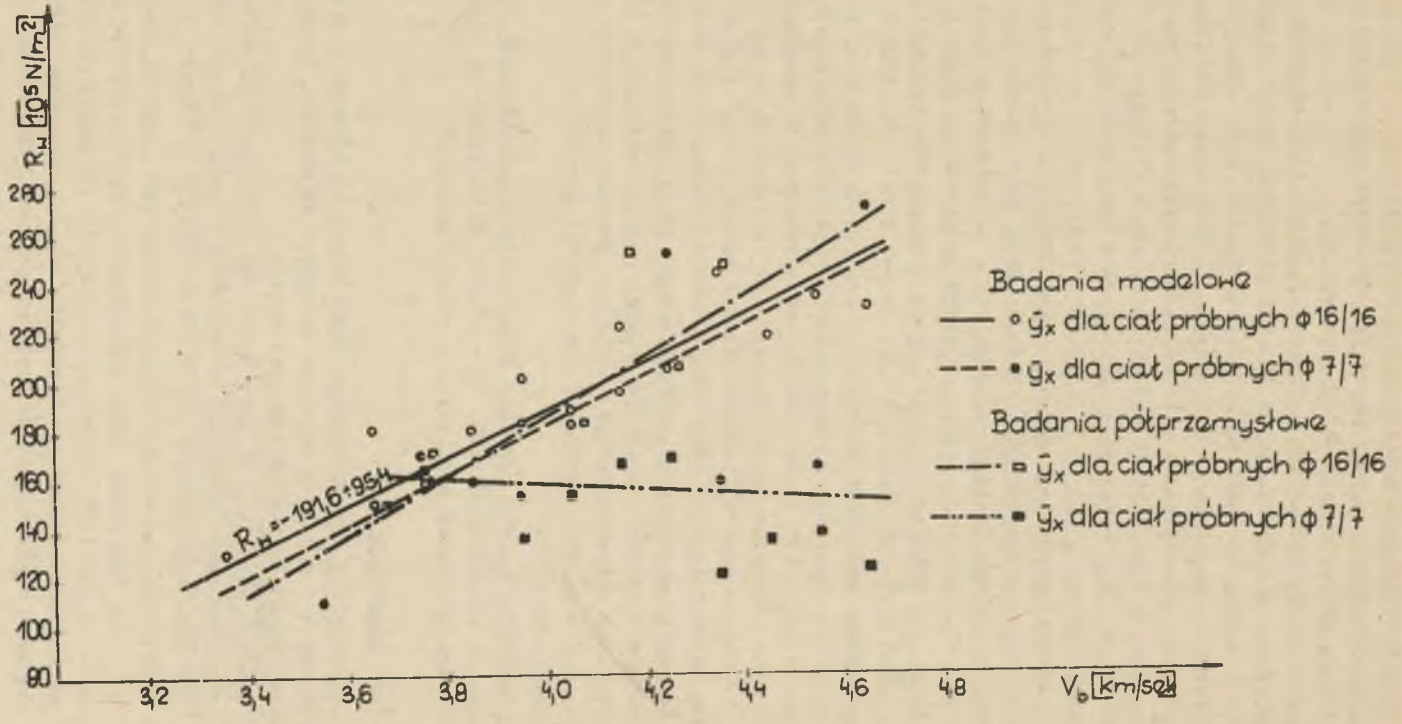
- laboratoryjnej, na podstawie której dokonano wyboru optymalnych receptur betonu,



Rys. 4.25. Porównanie wyników badań modelowych i półprzemysłowych. Zależność $R_w = \Psi(t)$ i $R_r = \varphi(t)$



Rys. 4.26. Porównanie wyników badań modelowych i półprzemysłowych. Zależność $R_w = f(L)$



Rys. 4.27. Porównanie wyników badań modelowych i półprzemysłowych. Zależność $R_w = \delta(V_b)$

- modelowej, w oparciu o którą sprawdzono dwie technologie układania betonu w środowisku płuczki wiertniczej oraz
- półprzemysłowej, która pozwoliła sprawdzić rzeczywiste parametry technologiczno-wytrzymałościowe betonu.

Z uwagi na zróżnicowany stopień zachowania określonego reżimu technologicznego w poszczególnych fazach, otrzymano wyniki wytrzymałościowe betonu o różnej wartości wskaźnika zmienności $\nu(R)$. Zaobserwowano, zgodnie z oczekiwaniem narastanie wielkości $\nu(R)$ w kolejnych fazach badań.

W celu prześledzenia wielkości zmian cech wytrzymałościowych betonu naniesiono na rys. 4.25 do 4.27 funkcje $R_w = \Psi(t)$ $R_r = \varphi(t)$, $R_w = f(L)$ oraz $R_w = \delta(V_b)$ opracowane na podstawie wyników badań modelowych i półprzemysłowych.

Analizując powyższe wykresy można stwierdzić pokrywanie się wyników badań wytrzymałościowych ciał próbnych Ø 16/16 - świadków wykonanych zarówno w trakcie badań modelowych jak i półprzemysłowych z ciałami próbnymi Ø 7/7 pobranymi z modeli. Dotyczy to przebiegu funkcji $R_w = \Psi(t)$, $R_r = \varphi(t)$ jak również $R_w = \delta(V_b)$. Od tych wyników odbiegają wyraźnie wyniki badań wytrzymałościowych ciał próbek Ø 7/7 pobranych z obudowy wykonanej w skali półprzemysłowej.

Uzyskane wartości R_w są w tym przypadku wyraźnie zaniżone. Również zależność $R_w = \delta(V_b)$ ma odmienny przebieg aniżeli równanie regresji wyznaczone na podstawie badań świadków czy też badań modelowych.

Zaniżenie cech wytrzymałościowych betonu w obudowie wykonanej w warunkach półtechnicznych było następstwem niepełnego opanowania technologii betonowania w warunkach płuczki wiertniczej. Dla porównania wyników badań sklerometrycznych i ultradźwiękowych przeprowadzonych w trakcie badań modelowych i półprzemysłowych określono średnie kwadratowe odchylenie względne ν_k, w odniesieniu do równań regresji wyznaczonych w oparciu o wyniki badań modelowych.

Wartość ν_k dla pomiarów sklerometrycznych wyniosła $\nu_k = 16\%$, zaś dla pomiarów ultradźwiękowych $\nu_k = 10{,}6\%$, co wskazuje na dostateczną zgodność wyników badań modelowych i półprzemysłowych.

4.6.2. Wnioski z badań

W oparciu o przeprowadzone badania nad ustaleniem parametrów wytrzymałościowych i warunków wiązania betonów w środowisku iłowej płuczki wiertniczej nasuwają się następujące wnioski:

1. Badania wykazały, że przy zastosowaniu niektórych receptur istnieje realna możliwość uzyskania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej betonów konstrukcyjnych o $R_w \geqslant$ "140" ($1373 \cdot 10^4$ N/m^2).
2. Z wytypowanych w trakcie badań modelowych czterech podstawowych receptur przy badaniach półprzemysłowych w dwóch przypadkach uzyskano betony o $R_w \geqslant$ "140". Były to receptury 6 i 7 oparte na kruszywie granitowym oraz cementach: portlandzkim "450" i hutniczy "350". Jednorodność betonów wykonywanych na tych recepturach była zadowalająca.

3. Z badań wynika, że zasadnicze znaczenie dla uzyskania odpowiedniej marki posiada w tych warunkach obok aktywowanej zaprawy kruszywo.
4. Przy betonowaniu konstrukcji w środowisku iłowej płuczki wiertniczej należy wyeliminować w maksymalnym stopniu zawirowania świeżej masy betonowej. W tym celu końcówka rury przewodu betonacyjnego winna być stale zanurzona w już ułożonym świeżym betonie. Unosząca się w miarę betonowania masa betonowa winna wypierać do góry płuczkę.
5. Zastosowanie aktywacji mechanicznej zaprawy obok poprawy konsystencji zwiększa aktywność wiązania cementu.
6. Uzyskany wg receptur 6 i 7 beton może być traktowany w obliczeniach wytrzymałościowych jako część składowa konstrukcji obudowy.
7. Wyniki badań laboratoryjnych, modelowych i półprzemysłowych nad ustaleniem technologii i receptur dla wykonania obudów betonowych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej upoważniają do opracowania "wstępnych wytycznych betonowania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej", dla badań przemysłowych na dużych głębokościach.
8. Uzyskano dostateczną zgodność wyników badań modelowych i półprzemysłowych.

   Średnie kwadratowe odchylenie względne ν_k wyników badań półprzemysłowych od równań regresji określonych na podstawie badań modelowych wyniosły odpowiednio:

   dla zależności $R_w = f(L)$ $\quad \nu_k = 16\%$, zaś

   dla zależności $R_w = \varphi(V_b)$ $\quad \nu_k = 10{,}6\%$.
9. Wyznaczone przez autora równania regresji pomiędzy wytrzymałością betonu a liczbą odbicia na sklerometrze Schmidta

$$R_w = 8{,}65 \; L = 57{,}8$$

   oraz pomiędzy wytrzymałością betonu a prędkością przejścia fali ultradźwiękowej

$$R_w = -191{,}6 + 95{,}4 \cdot V_b$$

   mogą być podstawą do oceny wytrzymałości betonu układanego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.
10. Wytrzymałość betonu na rozciąganie układanego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej jest ok. 40% wyższa od wytrzymałości betonu o analogicznej recepturze układanego w warunkach normalnych w rozumieniu normy [60].

5. PRÓBA TEORETYCZNEGO UJĘCIA WPŁYWU UZYSKANEGO PIERŚCIENIA Z BETONU KONSTRUKCYJNEGO NA WYTRZYMAŁOŚĆ KOŃCOWĄ OBUDOWY STALOWO-BETONOWEJ

Badania przeprowadzone w podrozdziałach 4.2 do 4.5 wykazały, że przy zastosowaniu wytypowanych receptur oraz zachowaniu odpowiedniego reżimu technologicznego można uzyskać w środowisku iłowej płuczki wiertniczej beton konstrukcyjny o wytrzymałości $R_w \geqslant 140$ kG/cm^2 ($1373 \cdot 10^4$ N/m^2). W tej sytuacji stanowiący dotychczas wypełnienie pierścień betonowy zawarty pomiędzy ociosem a pierścieniem obudowy stalowej staje się konstrukcją zdolną do przenoszenia części obciążeń działających na obudowę.

Z uwagi na istotny wpływ proponowanej konstrukcji obudowy na jej pracę statyczną zaszła konieczność określenia metodyki jej projektowania.

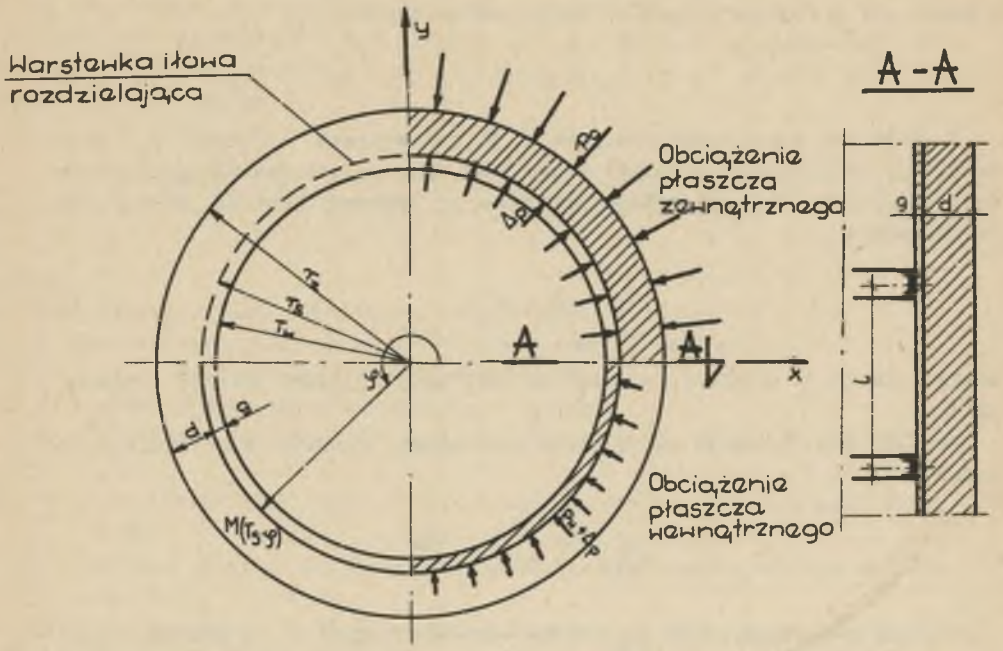
5.1. Przyjęte założenia

1. Konstrukcja obudowy szybu wierconego obejmuje dwa współśrodkowe pierścienie:
   - zewnętrzny z betonu na marce $R_w \geqslant 140$, wykonanego w środowisku płuczki wiertniczej,
   - wewnętrzny z blachy stalowej wzmocnionej pierścieniami z kształtowników.
2. W następstwie wykonania płaszcza betonowego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej powstaje warstewka iłu pomiędzy wewnętrzną pobocznicą płaszcza betonowego a zewnętrzną pobocznicą płaszcza stalowego. Warstewka ta eliminuje wzajemne powiązanie obydwu płaszczy obudowy.
3. Z uwagi na strukturę betonu układanego w środowisku płuczki wiertniczej przyjęto uważać go za wodoprzepuszczalny.
4. W związku z założeniem 3 na obudowę szybu działają obciążenia:
   a) na płaszcz betonowy:
      - na zewnętrzną pobocznicę ciśnienia górotworu p_g,
      - na wewnętrzną pobocznicę oddziaływanie płaszcza stalowego Δp,
   b) na płaszcz stalowy:
      - na zewnętrzną pobocznicę ciśnienia wody p_w,
      - zwiększone o nacisk płaszcza betonowego Δp.

5.2. Określanie podstawowych zależności

5.2.1. Wyznaczenie wielkości wzajemnego oddziaływania pierścieni Δp

Na rysunku 5.1 przedstawiono schemat obudowy wraz z przyjętymi oznaczeniami.



Rys. 5.1. Schemat obudowy szybu wierconego z betonowym pierścieniem zewnętrznym wykonanym w środowisku iłowej płuczki wiertniczej

Pod wpływem ciśnień zewnętrznych $p_g + p_w$ następują radialne przemieszczenia poszczególnych punktów w obydwu pierścieniach obudowy.

Dla punktów położonych na powierzchni styku obudowy warstw możliwe są trzy przypadki wzajemnych przemieszczeń:

1. Radialne przemieszczenie punktu M pod wpływem ciśnienia p_g przynależnego do pierścienia zewnętrznego jest większe od radialnego przemieszczenia punktu M pod wpływem ciśnienia p_w przynależnego do pierścienia wewnętrznego

$$U_M^z > U_M^w \tag{5.1}$$

wówczas następuje wzajemne oddziaływanie obydwu pierścieni i pojawia się cisnienie Δp odciążające pierścień betonowy a dociążające pierścień stalowy.

2. Radialne przemieszczenia punktów M przynależnych do obydwu warstw są sobie równe

$$U_M^z = U_M^w \tag{5.2}$$

wówczas nie występuje wzajemne oddziaływanie pierścieni

$$\Delta p = 0$$

3. Radialne przemieszczenia punktu M pod wpływem ciśnienie p_g przynależnego do pierścienia zewnętrznego jest mniejsze od radialnego przemieszczenia punktu M pod wpływem ciśnienia p_w przynależnego do pierścienia wewnętrznego

$$U_M^z < U_M^w \tag{5.3}$$

Wówczas obydwa pierścienie z uwagi na brak przyczepności pracują niezależnie.

Wartość Δp wyznacza się z warunku równości przemieszczeń radialnych punktu M

$$U_M^{p_g - \Delta p} = U_M^{p_w + \Delta p} \tag{5.4}$$

Wartość przemieszczenia U_M można określić wychodząc z założenia, że płaszcz obudowy stanowią pierścienie cienkościenne lub, że płaszcze te są pierścieniami grubościennymi.

W pierwszym przypadku rozwiązanym przez Niesiołowskiego wartość Δp opisana jest wzorem (5.2).

$$\Delta p = p_g \frac{1 - \frac{p_w}{p_g} \cdot \frac{r_{cw}^2}{r_{cz}^2} \cdot \frac{E_b \cdot F_b}{E_a \cdot F_a}}{1 + \frac{r_{cw}^2}{r_{cz}^2} \frac{E_b \cdot F_b}{E_a \cdot F_a}} \tag{5.5}$$

gdzie:

r_{cw} - promień środkowych włókien płaszcza stalowego

$$r_{cw} = \frac{r_w + r_s}{2}$$

r_{cz} - promień środkowych włókien płaszcza betonowego

$$r_{cz} = \frac{r_s + r_z}{2}$$

E_b, E_a - moduły sprężystości odpowiednio betonu i stali,

F_b, F_a - przekroje poprzeczne odpowiednio betonu i stali.

Traktując natomiast płaszcz obudowy jako pierścienie grubościenne otrzymamy radialne przemieszczenie punktu M wg Lamego, w postaci podanej przez A. Sałustowicza

$$U = \frac{1+\nu}{E}\left[(1-2\nu)\frac{b^2 \cdot p_b - a^2 \cdot p_a}{b^2-a^2} r + \frac{b^2}{b^2-a^2}(p_b-p_a)\cdot\frac{a^2}{r}\right] \qquad (5.6)$$

gdzie:

ν - liczba Poissona materiału rozpatrywanej warstwy,

E - moduł sprężystości materiału rozpatrywanej warstwy,

b - promień zewnętrzny rozpatrywanej warstwy,

a - promień wewnętrzny rozpatrywanej warstwy,

p_b - ciśnienie działające na zewnętrzną pobocznicę rozpatrywanej warstwy,

p_a - ciśnienie działające na wewnętrzną pobocznicę rozpatrywanej warstwy,

r - promień punktu M, dla którego określa się przemieszczenie radialne U.

Przyjmując w równości (5.4) wartość U wg wzoru (5.6) oraz wprowadzając przyjęte na wstępie oznaczenia otrzymamy równość:

$$\frac{1+\nu_b}{E_b}\left[(1-2\nu_b)\frac{r_z^2 \cdot p_g - r_s^2 \cdot \Delta p}{r_z^2 - r_s^2}\cdot r_s + \frac{r_z^2}{r_z^2 - r_s^2}(p_r - \Delta p)\cdot\frac{r_s^2}{r_s}\right] =$$

$$= \frac{1+\nu_a}{E_a}\left[(1-2\nu_a)\frac{r_s^2 \cdot (p_s+\Delta p) - r_s^2 \cdot 0}{r_s^2 - r_w^2}\cdot r_s + \frac{r_s^2}{r_s^2 - r_w^2}(p_w + \Delta p - 0)\cdot\frac{r_w^2}{r_s}\right]$$

stąd po przekształceniach wzajemne oddziaływanie warstw Δp opisać można zależnością:

$$\Delta p = \frac{\frac{2/1-\nu_b^2}{E_b}\cdot\frac{r_z^2 \cdot r_s}{r_z^2 - r_s^2}\cdot p_g - \frac{1+\nu_a}{E_a}\cdot\frac{r_s}{r_s^2 - r_w^2}\left[(1-2\nu_a)\, r_s^2 + r_w^2\right] p_w}{\frac{1+\nu_b}{E_b}\cdot\frac{r_s}{r_z^2 - r_s^2}\left[r_s^2(1-2\nu_b) + r_z^2\right] + \frac{1+\nu_a}{E_a}\cdot\frac{r_s}{r_s^2 - r_w^2}\left[r_s^2(1-2\nu_a) + r_w^2\right]} \qquad (5.7)$$

gdzie:

p_g - ciśnienie górotworu,

p_w - ciśnienie wody.

Ciśnienie to można przyjąć wg Linka.

Wzór (5.5) prowadzi do niższych wartości Δp aniżeli wzór (5.7).

Z uwagi na stosunkowo niską wytrzymałość płaszcza betonowego bezpieczniej jest przyjąć większą wartość Δp, gdyż prowadzi to do odciążenia płaszcza betonowego zmuszając równocześnie do zaprojektowania silniejszego płaszcza stalowego.

Wobec powyższego przyjęto w dalszych rozważaniach Δp wg wzoru (5.7).

5.2.2. Sprawdzenie naprężeń

5.2.2.1. Płaszcz betonowy

Naprężenia styczne σ_t w dowolnym punkcie o promieniu r opisane są wzorem Lamego

$$\sigma_t = \frac{r_z^2 \cdot p_g - r_s^2 \cdot \Delta p}{r_z^2 - r_s^2} + \frac{r_z^2}{r_z^2 - r_s^2} (p_r - \Delta p) \cdot \frac{r_s^2}{r^2} \qquad (5.8)$$

zaś naprężenia radialne σ_r opisane są wzorem

$$\sigma_r = \frac{r_z^2 \cdot p_g - r_s^2 \cdot \Delta p}{r_z^2 - r_s^2} - \frac{r_z^2}{r_z^2 - r_s^2} (p_g - \Delta p) \cdot \frac{r_s^2}{r^2} \qquad (5.9)$$

Z budowy wzoru (5.9) wynika, że naprężenia styczne osiągają maksymalną wartość na wewnętrznej pobocznicy dla $r = r_s$.

Naprężenia te muszą być mniejsze od dopuszczalnych określonych normą.

Naprężenia σ_r zmieniają się od wartości Δp do p_g i w praktyce nigdy nie przekraczają wartości dopuszczalnych określonych normą dla ściskania przy zginaniu.

5.2.2.2. Płaszcz stalowy

Naprężenia styczne opisane są wzorem:

$$\sigma_t = \frac{(p_w + \Delta p) \cdot r_s^2}{r_s^2 - r_w^2} \left(1 + \frac{r_w^2}{r^2}\right) \qquad (5.10)$$

naprężenia promieniowe

$$\sigma_r = \frac{(p_w + \Delta p) \cdot r_s^2}{r_s^2 - r_w^2} \left(1 - \frac{r_w^2}{r^2}\right) \qquad (5.11)$$

Maksymalne naprężenia styczne występujące na obwodzie zewnętrznym dla $r = r_s$ muszą być mniejsze od naprężeń dopuszczalnych określonych normą. Naprężenia σ_r zmieniają się od wartości zerowej na pobocznicy wewnętrznej do wartości $p_w + \Delta p$ na pobocznicy zewnętrznej. Nie wymagane jest sprawdzenie tych naprężeń.

Wpływ wprowadzonego płaszcza betonowego na obniżenie wartości naprężeń stycznych w płaszczu stalowym przedstawiono na rysunku 5.2.

5.2.3. Sprawdzenie stabilności pierścieni

Spotykane w literaturze technicznej [30] [55] wzory na smukłość i na ciśnienie krytyczne przy wyboczeniu oparte są na analizie stabilności cienkościennych naczyń poddanych ciśnieniu zewnętrznemu. W obudowie szybowej pierścień pracuje w znacznie korzystniejszych warunkach, gdyż nie posiada on swobody deformacji skierowanych na zewnątrz.

W związku z tym rzeczywista nośność pierścienia obudowy jest znacznie wyższa aniżeli wynika to ze wzorów cytowanych przez Linka [30] czy przepisów Dozoru Technicznego [55].

W świetle powyższego pominięto sprawdzenie pierścieni na wyboczenie.

5.2.4. Sprawdzenie odporności pierścieni na lokalne zagniecenie

Przy proponowanej konstrukcji obudowy istnieje duże niebezpieczeństwo lokalnej utraty stateczności płaszcza stalowego pod działaniem ciśnienia $p_w + \Delta p$.

Według [40] wartości najbardziej zbliżone do wyników badań doświadczalnych uzyskuje się na podstawie wzoru M. Meinckego.

Przy przyjęciu proponowanych oznaczeń wzór ten przedstawia się następująco:

$$g \geqslant 4{,}26 \cdot r_w \sqrt{\frac{(p_w + \Delta p) \cdot s(1 - \nu_a^2)}{E_a\left(0{,}2 + \frac{r_w}{I}\right)}} + C_1 + C_2 \qquad (5.12)$$

gdzie:

C_1 - dodatek do grubości uwzględniający nierównomierność grubości,

C_2 - dodatek do grubości uwzględniający korozję.

Z uwagi na fakt wcześniejszego założenia grubości płaszcza stalowego, należy drogą prób wyznaczyć ze wzoru (5.12) rozstaw pierścieni usztywniających "b", podstawiając do lewej strony równocześnie przyjętą grubość "g"

5.2.5. Przyjęcie obciążeń obudowy

Obciążenia obudowy proponuje się przyjąć wg Linka [30]

$$p_w = \gamma_w \cdot \frac{h}{10} \tag{5.13}$$

γ_w - ciężar właściwy wody (10^3 kg/m^3),
h - wysokość słupa wody (m),

$$p_g = \lambda_g \left[\left(\gamma_{gw} \cdot \frac{h}{10} + \gamma_g \frac{H-h}{10} \right) \right] \tag{5.14}$$

gdzie:
H - głębokość rozpatrywanej warstwy (m),
λ_g - współczynnik parcia górotworu,
γ_g - ciężar objętościowy górotworu w stanie suchym (10^3 kg/m^3),
γ_{gw} - ciężar objętościowy górotworu w wodzie (10^3 kg/m^3),

$$\gamma_{gw} = \gamma_g - (1 - n_p) \cdot \gamma_w \tag{5.15}$$

gdzie:
n_p - objętość pór w górotworze.

Link [30] proponuje przyjęcie następujących wartości parametrów występujących w powyższych wzorach:

$$\gamma_g = 1{,}85 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_w = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$n_p = 0{,}3$$

$$\lambda_g = 0{,}26$$

5.3. Ocena kształtowania się naprężeń w obudowie

Dla dokonania oceny kształtowania się wartości naprężeń w obudowie o proponowanej konstrukcji rozpatrzono pracę statyczną obudowy o parametrach podanych poniżej:

$$r_w = 200 \text{ cm}$$
$$r_s = 202 \text{ cm}$$
$$r_z = 232 \text{ cm}$$
$$l = 400 \text{ cm}$$

$$R_w = 1373 \cdot 10^4 \ N/m^2$$

$$E_b = 1863 \cdot 10^4 \ N/m^2$$

$$\nu_b = \frac{1}{6}$$

$$\nu_a = 0,3$$

$$E_a = 206 \cdot 10^9 \ N/m^2$$

5.3.1. Określenie wartości Δp

Po podstawieniu do wzoru (5.7) otrzymamy:

$$\frac{\Delta p}{p_g} = \frac{\frac{2(1-0167^2)}{140000} \cdot \frac{232^2 \cdot 202}{232^2-202^2} - \frac{1+0,3}{2100000} \cdot \frac{202}{202^2-200}}{\frac{1+0167}{140000} \cdot \frac{202}{232^2-202^2}\left[202^2(1-2.0.167) + 232^2\right]}$$

$$\frac{2\left[(1-2.0,3)202^2 + 200^2\right]\frac{p_w}{p_g}}{+\frac{1+0,3}{2100000} \cdot \frac{202}{202^2-200^2}\left[202^2(1-2.0,3) + 200^2\right]}$$

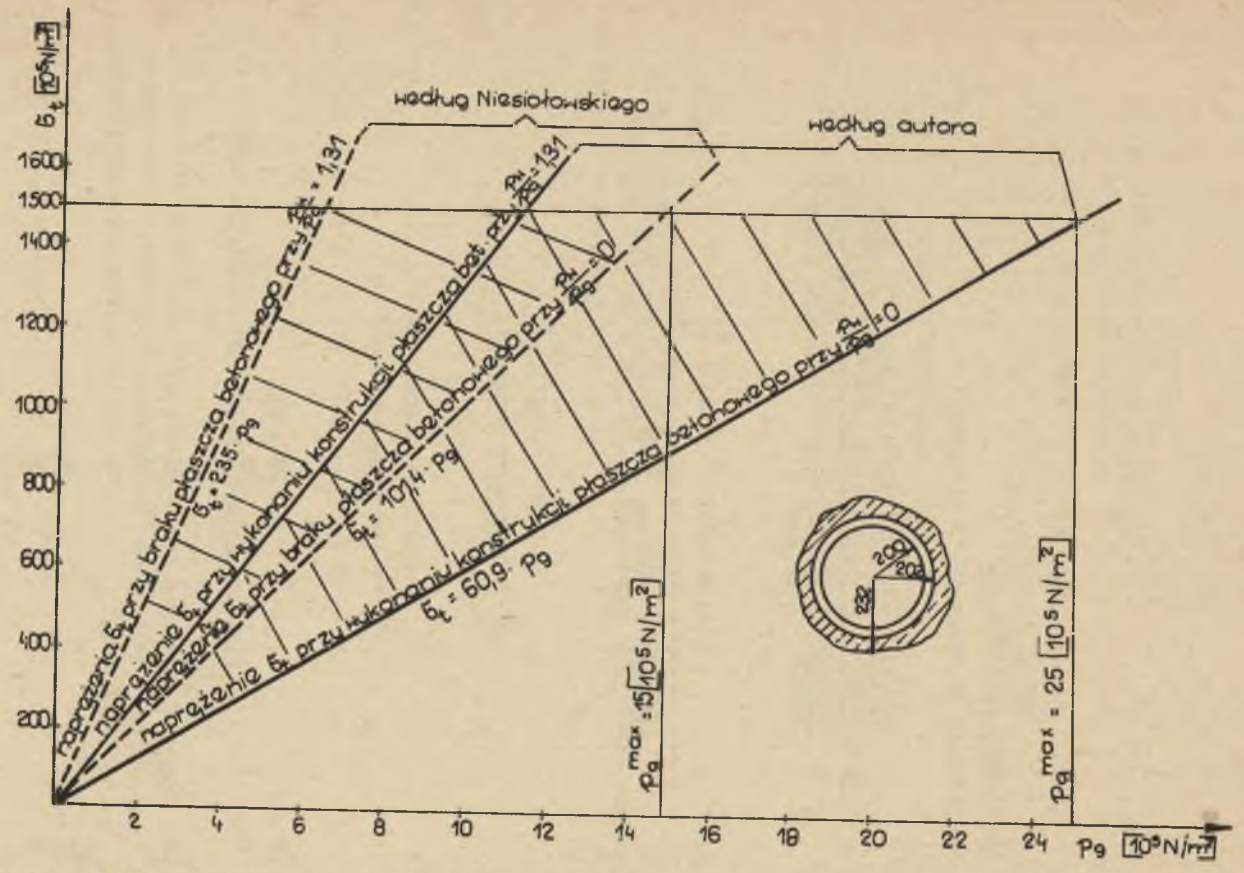
$$\frac{\Delta p}{p_g} = \frac{0,0115 - 0,00877\frac{p_w}{p_g}}{0,01043 + 0,00877}$$

$$\frac{\Delta p}{p_g} = \frac{0,00115 - 0,00877\frac{p_w}{p_g}}{0,0192}$$

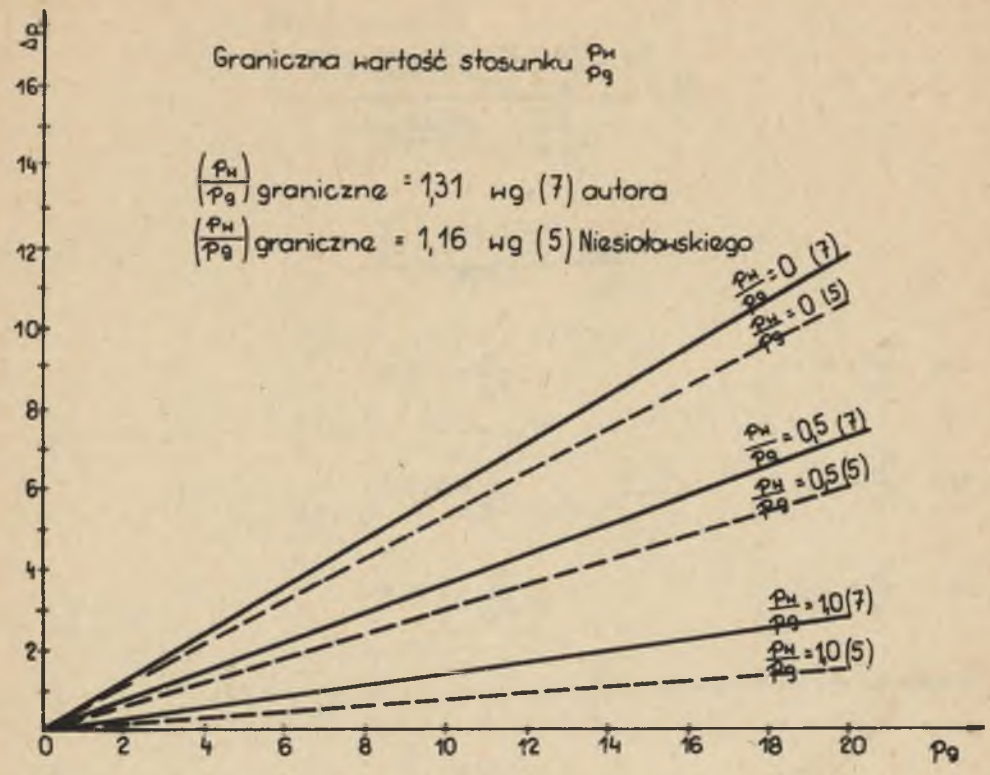
dla $\frac{p_w}{p_g} = 0$ $\qquad \frac{\Delta p}{p_g} = 0,6$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0,5$ $\qquad \frac{\Delta p}{p_g} = 0,37$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 1,0$ $\qquad \frac{\Delta p}{p_g} = 0,14$



Rys. 5.2. Wpływ wprowadzonego płaszcza betonowego na obniżenie wartości naprężeń stycznych w płaszczu stalowym



Rys. 5.3. Zależność $\Delta_p = f/p_g$, $\frac{p_w}{p_g}$ ustalona wg wzoru (5.5) i (5.7)

$$0 = \frac{0{,}0115 - 0{,}00877 \frac{p_w}{p_g}}{0{,}0192}$$

$$\frac{p_w}{p_g} = \frac{0{,}0115}{0{,}00877} = 1{,}31$$

Jest to graniczna wartość stosunku $\frac{p_w}{p_g}$.

Powyżej tej wartości przemieszczenia pierścienia wewnętrznego są większe od przemieszczeń pierścienia zewnętrznego.

Wg wzoru (5.5)

$$\frac{\Delta_p}{p_g} = \frac{1 - \frac{p_w}{p_g} \cdot \frac{201^2}{217^2} \frac{140000 \cdot 30}{2100000 \cdot 2}}{1 + \frac{201^2}{217^2} \cdot \frac{140000 \cdot 30}{2100000 \cdot 2}}$$

$$\frac{\Delta_p}{p_g} = \frac{1 - 0{,}859 \cdot \frac{p_w}{p_g}}{1{,}859}$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0$ $\qquad \frac{\Delta_p}{p_g} = 0{,}538$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0{,}5$ $\qquad \frac{\Delta_p}{p_g} = 0{,}307$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 1{,}0$ $\qquad \frac{\Delta_p}{p_g} = 0{,}076$

graniczna wartość stosunku $\frac{p_w}{p_g}$

$$0 = \frac{1 - 0{,}859 \cdot \frac{p_w}{p_g}}{1{,}859}$$

$$\frac{p_w}{p_g} = \frac{1}{0{,}859} = 1{,}16$$

Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 5.3.

5.3.2. Naprężenie styczne

5.3.2.1. Płaszcz betonowy

Maksymalne naprężenie obwodowe w obudowie określono wg następujących wzorów:

$$\sigma_t = p_g \left[\frac{232^2 - 202^2 \frac{\Delta_p}{p_g}}{232^2 - 202^2} + \frac{232^2}{232^2 - 202^2} \left(1 - \frac{\Delta_p}{p_g}\right) \cdot \frac{202^2}{202^2} \right]$$

$$\sigma_t = p_g\left[\frac{5{,}38 - 4{,}08\,\frac{\Delta p}{p_g}}{1{,}2996} + 4{,}15\,\left(1 - \frac{\Delta p}{p_g}\right)\right]$$

$$\sigma_t = p_g\left(8{,}30 - 7{,}298 \cdot \frac{\Delta p}{p_g}\right)$$

dla $\frac{p_w}{p_f} = 0$ $\qquad \frac{\Delta p}{p_g} = 0{,}6$ zatem

$$\sigma_t = p_g(8{,}30 - 4{,}37) = 3{,}93 \cdot p_g$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0$ $\qquad \frac{\Delta p}{p_g} = 0{,}37$

$$\sigma_t = p_g(8{,}30 - 2{,}70) = 5{,}60 \cdot p_g$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 1{,}0$ $\qquad \frac{\Delta p}{p_g} = 0{,}14$

$$\sigma_t = p_g(8{,}30 - 1{,}02) = 7{,}28 \cdot p_g$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 1{,}31$ $\qquad \frac{\Delta p}{p_g} = 0$

$$\sigma_t = 8{,}300 \cdot p_g$$

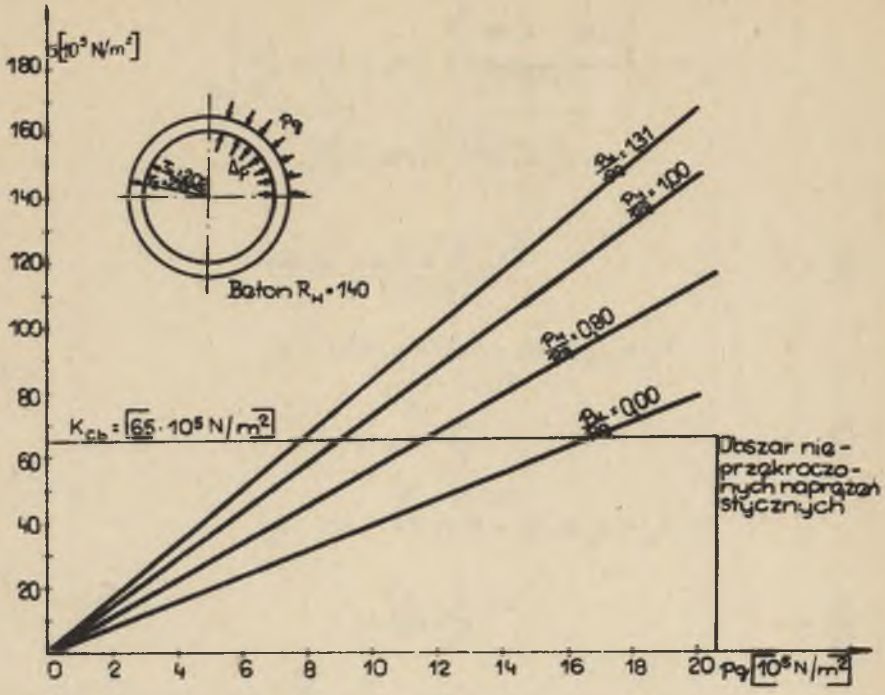
Wartości naprężenia maksymalnego σ_{tmax} dla różnych wielkości ciśnienia górotworu p_g i stosunku $\frac{p_w}{p_g}$ przedstawiono na rysunku 5.4.

5.3.2.2. Płaszcz stalowy

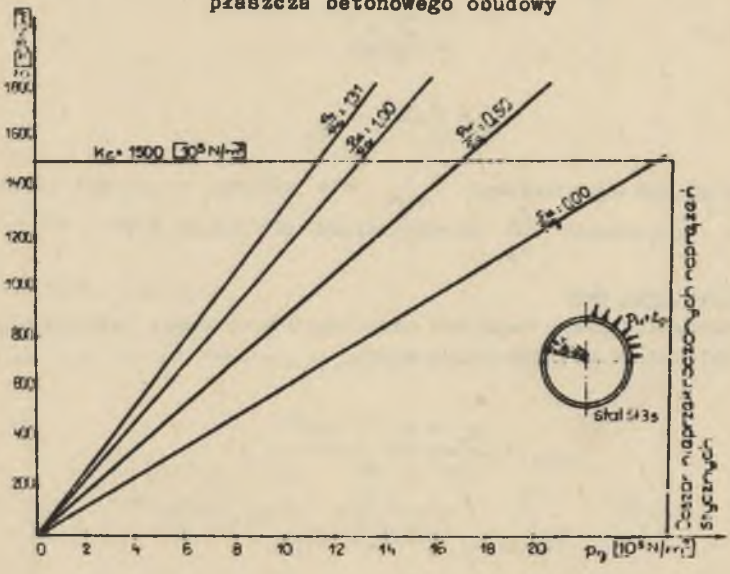
Dla prześledzenia stanu naprężeń obwodowych w obudowie stalowej przeprowadzono obliczenia wykorzystując wzór:

$$\sigma_{tmax} = \frac{(p_w + \Delta p) \cdot 202^2}{202^2 - 200^2} \cdot 2$$

$$\sigma_{tmax} = 101{,}4(p_w + \Delta p)$$



Rys. 5.4. Kształtowanie się wartości $\sigma_{tmax} = f/p_g$, $\frac{p_w}{p_g}$ dla zewnętrznego płaszcza betonowego obudowy



Rys. 5.5. Kształtowanie się wartości $\sigma_{tmax} = \varphi/p_g$, $\frac{p_w}{p_g}$ dla płaszcza stalowego obudowy

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0 \longrightarrow p_w = 0, \quad \Delta p = 0{,}6 \cdot p_g$ zatem

$$\sigma_{tmax} = 101{,}4(0 + 0{,}6 \cdot p_g) = 60{,}9 \cdot p_g$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0{,}5 \longrightarrow p_w = 0{,}5 \cdot p_g, \quad p = 0{,}37 \cdot p_g$

$$\sigma_{tmax} = 10{,}4(0{,}5 \cdot p_g + 0{,}37 \cdot p_g) = 88{,}20 \cdot p_g$$

dla $\frac{p_w}{p_g} \cdot 1{,}0 \longrightarrow p_w = p_g, \quad \Delta p = 0{,}14 \cdot p_g$

$$\sigma_{tmax} = 101{,}4(1{,}0 \cdot p_g + 0{,}14 \cdot p_g) = 115{,}8 \cdot p_g$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 1{,}31 \longrightarrow p_w = 1{,}31 \cdot p_g, \quad \Delta p = 0$

$$\sigma_{tmax} = 132{,}9 \cdot p_g$$

Wartości naprężenia maksymalnego σ_{tmax} dla różnych wielkości ciśnień górotworu p_g i stosunku $\frac{p_w}{p_g}$ przedstawiono na rys. 5.5.

5.3.3. Określenie minimalnej grubości płaszcza stalowego

Minimalna grubość płaszcza stalowego określona wzorem (5.12) wynosi przy założeniu współczynnika pewności s = 2,0

$$g_{min} = 4{,}26 \cdot 200\sqrt{\frac{(p_w + \Delta p)\ 2\ (1-0{,}3^2)}{2100000\ (0{,}2 + \frac{200}{400})}}$$

$$g_{min} = 0{,}946 \cdot \sqrt{(p_w + \Delta p)}$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0 \longrightarrow p_w = 0, \quad \Delta p = 0{,}6 \cdot p_g$

$$g_{min} = 0{,}732 \cdot \sqrt{p_g}$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 0,5 \longrightarrow p_w = 0,5 \cdot p_g, \quad \Delta p = 0,37 \cdot p_g$

$$g_{min} = 0,872 \cdot \sqrt{p_g}$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 1,0 \longrightarrow p_w = p_g, \quad \Delta p = 0,14 \cdot p_g$

$$g_{min} = 1,011 \cdot \sqrt{p_g}$$

dla $\frac{p_w}{p_g} = 1,31 \longrightarrow p_w = 1,31 \cdot p_g, \quad \Delta p = 0$

$$g_{min} = 1,083 \cdot \sqrt{p_g}$$

Minimalne grubości płaszcza stalowego dla różnych wielkości ciśnień górotworu p_g i stosunku $\frac{p_w}{p_g}$ przy granicznych rozstawach pierścieni usztywniających przedstawiono na rysunku 5.6.

Jak wynika z wykresu dlaprzyjętego rozstawu pierścieni usztywniających $l = 400$ cm płaszcz stalowy o grubości 20 mm jest zdolny do przeniesienia stosunkowo niewielkich ciśnień górotworu. Zmniejszenie rozstawu np do $l = 100$ cm w istotny sposób zwiększa nośność obudowy stalowej (rys. 5.6b).

Wówczas

$$g_{min} = 0,535\sqrt{p_w + \Delta p}$$

5.4. Ocena wpływu płaszcza betonowego na nośność obudowy

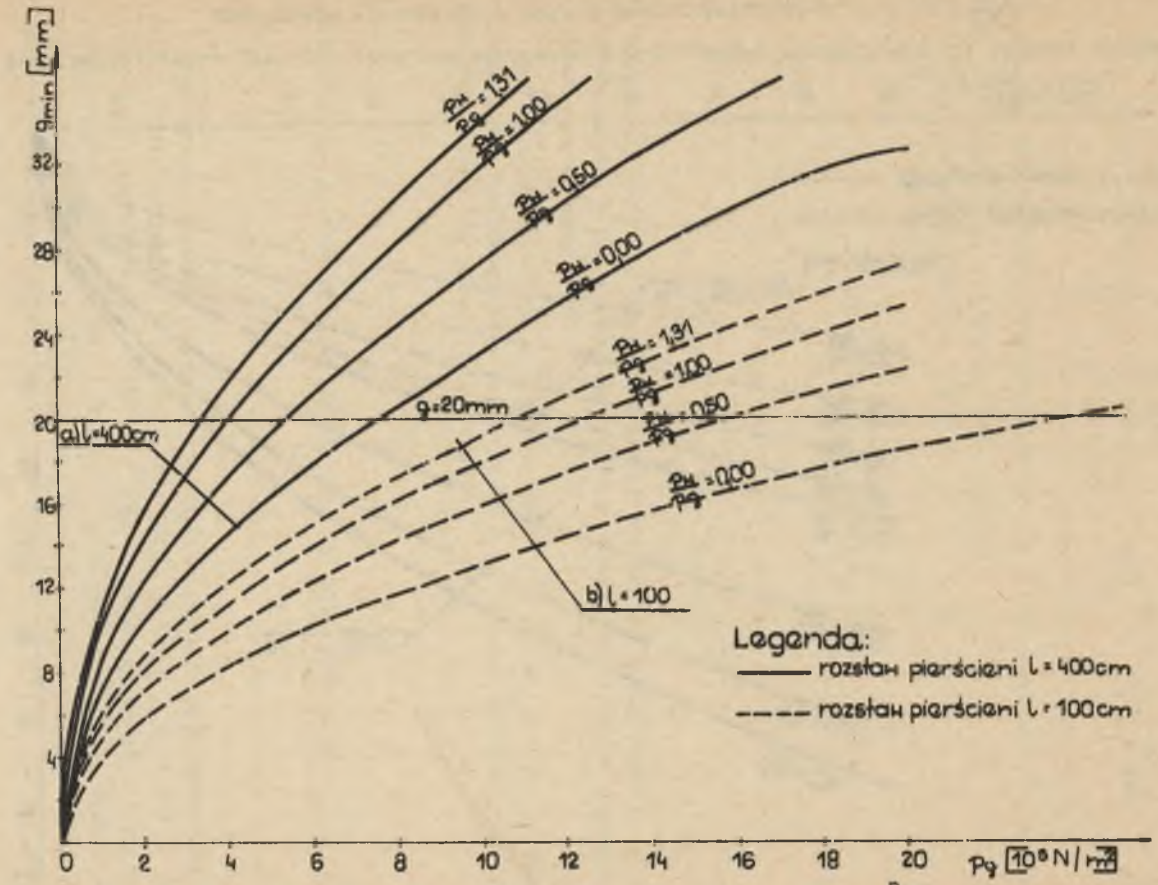
W następstwie wykonania zewnętrznego płaszcza z betonu konstrukcyjnego następuje odciążenie płaszcza stalowego.

Wielkość obciążenia przyjmowanego przez płaszcz betonowy wynosi

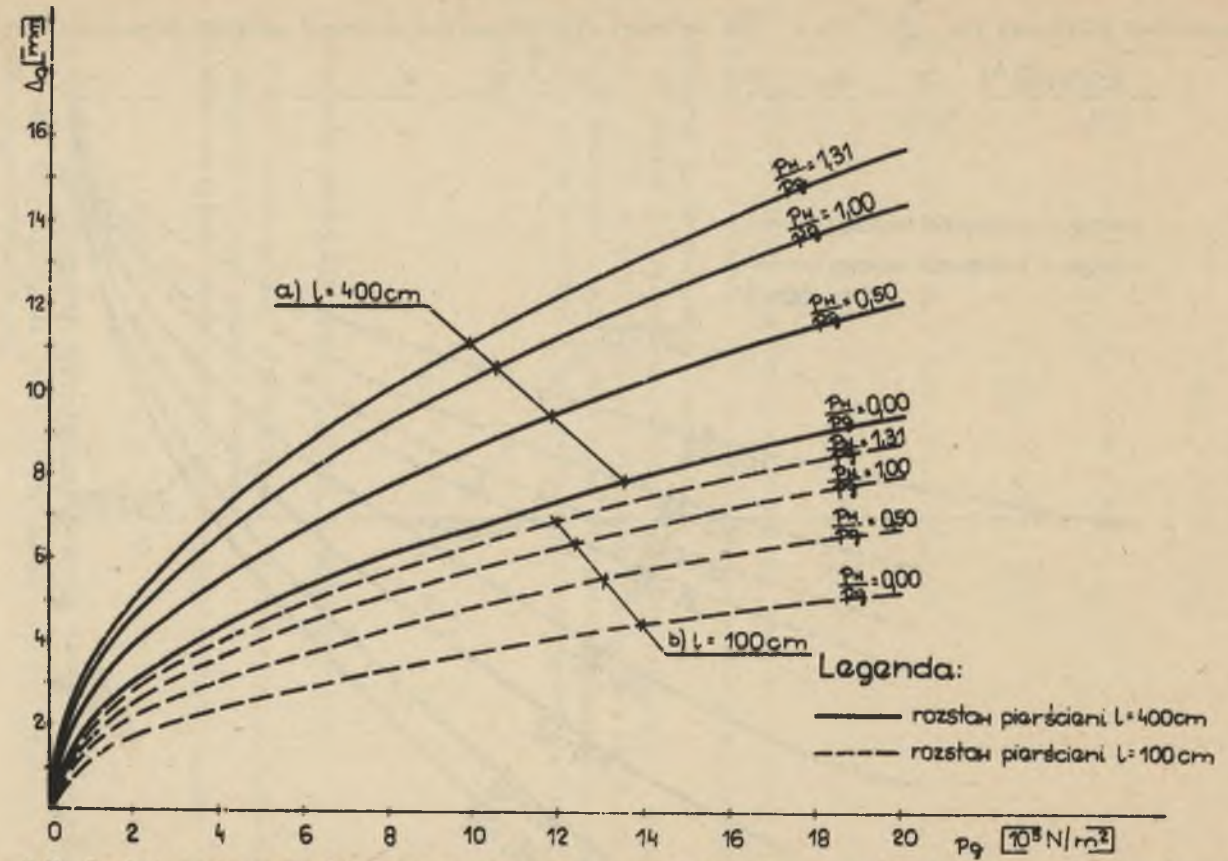
$$p_b = p_g - \Delta p \qquad (5.16)$$

i o tę wartość odciążany jest płaszcz stalowy.

Z uwagi na przyjętą metodykę projektowania grubość płaszcza stalowego opisana jest wzorem (5.12).



Rys. 5.6. Minimalna grubość płaszcza stalowego jako funkcja $g_{min} = f(p_g, \frac{p_w}{p_g})$ dla skrajnych rozstawów elementów usztywniających



Rys. 5.7. Zmniejszenie grubości płaszcza stalowego w następstwie wprowadzenia do obudowy pierścienia zewnętrznego wykonanego z betonu konstrukcyjnego $\Delta_g = f\ (p_g, \frac{p_w}{p_g})$

Zatem zmniejszenie grubości płaszcza stalowego w następstwie wykonania zewnętrznego płaszcza z betonu konstrukcyjnego określić można ze wzoru:

$$\Delta g = 4{,}26 \cdot \sqrt{r_w \frac{s(1-\nu_s^2)}{E_s(0{,}2 + \frac{r_w}{l})}} \cdot \left(\sqrt{p_g + p_w} - \sqrt{p_w + \Delta p}\right) \qquad (5.17)$$

Dla oceny tej wartości przedstawiono na rys. 5.7 zależność Δg od p_g i $\frac{p_w}{p_g}$ dla przyjętych w p. 5.3 parametrów obudowy.
Zatem wzór (5.17) przyjmuje postać:

przy $l = 400$ cm

$$\Delta g = 0{,}946\left(\sqrt{p_g + p_w} - \sqrt{p_w + \Delta p}\right)$$

przy $l = 100$ cm

$$g = 0{,}535\left(\sqrt{p_g + p_w} - \sqrt{p_w + \Delta p}\right)$$

Z budowy wzoru (5.17) oraz rysunku 5.7 wynika, że oszczędność na grubości obudowy rośnie wraz ze wzrostem rozstawu pierścieni usztywniających oraz ze wzrostem stosunku $\frac{p_w}{p_g}$.

Przy stosunku granicznym, któremu odpowiada zerowa wartość Δp odciążenie płaszcza stalowego jest największe, gdyż wówczas zgodnie z (5.16) płaszcz betonowy przejmuje ciśnienie

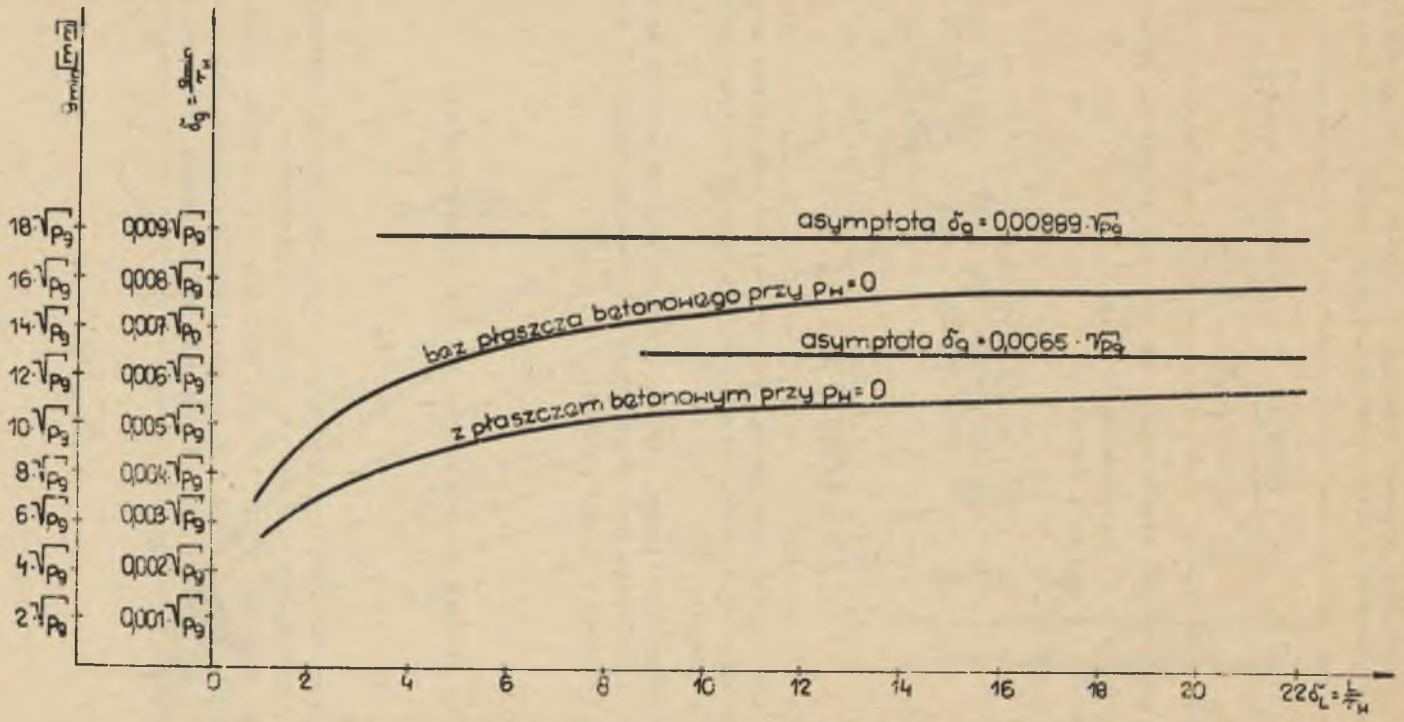
$$p_b = p_g$$

natomiast na płaszcz stalowy działa jedynie ciśnienie wody

$$p_s = p_w$$

Przykładowo dla rozpatrywanej konstrukcji obudowy przy rozstawie pierścieni usztywniających $l = 100$ cm, ciśnieniu górotworu $p_g = 157 \cdot 10^4$ N/m^2 i ciśnieniu wody $p_w = 785 \cdot 10^3$ N/m^2 zmniejszenie grubości płaszcza stalowego wynosi $\Delta g = 6{,}2$ mm. Przyjmując potrzebną grubość płaszcza stalowego przy projektowanej obudowie wg rys. 5.6 otrzymamy procentowe zmniejszenie grubości

$$\delta = \frac{g_s - g_{s+b}}{g_s} \cdot 100 \qquad (5.18)$$



Rys. 5.8. Wpływ wprowadzonego płaszcza zewnętrznego obudowy z betonu konstrukcyjnego na obniżenie minimalnej grubości wewnętrznego płaszcza stalowego

gdzie:

g_s - grubość płaszcza stalowego w obudowie tradycyjnej,

$g_s = g_s + b + g = 20 + 6,2 = 26,2$ mm,

g_{s+b} - grubość płaszcza stalowego w projektowanej obudowie

$g_{s+b} = 20$ mm,

zatem:

$$\delta = \frac{26,2 - 20}{26,2} \cdot 100 = 23,7\%$$

Wpływ wprowadzonego płaszcza betonowego na obniżenie minimalnej grubości płaszcza stalowego zobrazowano na rysunku 5.8.

Jak z powyższego rachunku wynika, wpływ betonowego płaszcza zewnętrznego obudowy na podwyższenie nośności obudowy jako całości jest ewidentny Pozwala to w efekcie na zmniejszenie grubości potrzebnego płaszcza stalowego a więc zaoszczędzenie znacznej ilości deficytowej stali.

Reasumując powyższe można stwierdzić, że przy zmniejszonym zużyciu cementu udało się uzyskać w oparciu o uzyskane wyniki z badań beton konstrukcyjny, z którego wykonany pierścień zewnętrzny obudowy (wypełnienie przestrzeni pomiędzy górotworem a płaszczem stalowym) może być brany pod uwagę w obliczeniu obudowy ostatecznej szybu wierconego.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

W oparciu o przeprowadzone w ramach rozprawy badania i rozważania teoretyczne można sprecyzować szereg wniosków, z których najważniejsze zestawiono poniżej:

I. Wnioski odnośnie receptur oraz technologii układania betonu

1. Środowisko iłowej płuczki wiertniczej jedynie w niewielkim stopniu hamuje proces wiązania cementów (początek i koniec wiązania).

2. Zaczyn cementowy układany i dojrzewający w iłowej płuczce wiertniczej traci ponad 1/3 wytrzymałości w stosunku do analogicznego układanego i dojrzewającego w wodzie.

3. Tworzywo powstałe z wypełnienia zaczynem cementowym przestrzeni zalanej iłową płuczką wiertniczą w postaci kamienia cementowo-iłowego może uzyskać przy zastosowaniu:
   - cementów marki "350" wytrzymałości rzędu 70 do 135 kG/cm^2, ($686.10^4 \div 1323 . 10^4$ N/m^2),
   - cementu marki "450" wytrzymałości od 100 do 200 kG/cm^2, ($981 . 10^4 \div 1982 . 10^4$ N/m^2)

   Tworzywo to z uwagi na ilość użytego cementu nie gwarantuje uzyskania szczelnej konstrukcji.

4. Stosując zaczyny cementowe do wykonania w środowisku iłowej płuczki wiertniczej wypełnienia bądź elementów obudowy szybów wierconych uzyskuje się przy bardzo wysokim zużyciu cementu niewielkie efekty wytrzymałościowe.

5. Wyniki badań modelowych i półprzemysłowych wykazały, że stosując odpowiednie receptury, aktywowaną mechanicznie zaprawę oraz odpowiednią technologię układania można uzyskać w środowisku iłowej płuczki wiertniczej betony konstrukcyjne o wytrzymałości $R_w \geq 1140$ kG/cm^2 ($1373 . 10^4$ N/m^2).

6. Z badań wynika, że zasadnicze znaczenie dla uzyskania odpowiedniej wytrzymałości powstającego w tych warunkach tworzywa posiada aktywacja zaczynu bądź zaprawy oraz rodzaj i jakość użytego kruszywa.

7. Optymalne mieszanki aktywowanych zapraw charakteryzują następujące parametry

$$\frac{c}{p} = \frac{2}{1} \text{ do } \frac{1}{1} \text{ i odpowiednio } \frac{w}{c} = 0{,}45 \text{ do } 0{,}75$$

Kolejność dozowania składników do aktywatora mechanicznego (ultramiksera) winna być następująca:
- woda,
- cement,
- piasek.

Czas aktywowania - licząc od zadozowania ostatniego składnika - nie powinien być krótszy od 2 minut przy optymalnych obrotach aktywatora mechanicznego ok. 3000 obr/minutę.

Zastosowanie aktywowanej zaprawy obok poprawy konsystencji świeżego betonu zwiększa wyraźnie aktywność wiązania cementu.

8. Najlepsze wyniki wytrzymałościowe betonów wykonywanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej uzyskano stosując cementy: hutniczy "350" i portlandzki "450" oraz szlachetne kruszywo łamane frakcjonowane i płukane.

W przypadku stosowania frakcjonowanych kruszyw otoczakowych należy do szlachetniać je kamieniwem łamanym (grysy ze skał pochodzenia wulkanicznego) co najmniej w stosunku 1:1.

9. Betony tego typu projektuje się w sposób analogiczny jak betony szczelne wysokich marek wykorzystując jedną z następujących metod:
- metoda podwójnego otulenia prof. Paszkowskiego [20],
- metoda iteracji (kolejnych przybliżeń) prof. Kuczyńskiego [20],

przy czym ilość potrzebnego cementu na 1 m^3 masy betonowej należy wyliczać ze wzoru:

$$c = \frac{j}{0{,}83 + \frac{0{,}62}{W_p} + W_x} \quad (kG/cm^3)$$

gdzie:

j - jamistość kruszywa (żwiru, grysu)

$W_p = \frac{c}{p}$ (kG) (9,81 N)

$W_x = \frac{w}{c}$ (kG) (9,81 N).

10. Przy transporcie betonów układanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej najkorzystniejsze jest wykorzystanie transportu grawitacyjnego
    - bezpośredniego - wprost do rurociągów za obudowę lub odeskowanie,
    - pośredniego - do zbiornika wyrównawczego a po nagromadzeniu większej ilości do rurociągu za obudowę lub odeskowanie.

11. Dla zagwarantowania optymalnych warunków do rozprowadzenia i układania masy betonowej za obudowę bądź odeskowanie w środowisku iłowej płuczki wiertniczej należy spełnić następujące wymagania:
    - konsystencja masy betonowej w skali Ve-Be nie może być większa od $8^{o}H$,
    - końcówka rurociągu betonacyjnego powinna być zanurzona w układanym betonie na głębokości 10 do 50 cm,
    - minimalna odległość wlewów masy betonowej nie powinna przekraczać w linii prostej lub po obwodzie 4 m.

    W tych warunkach masa betonowa rozpływa się za odeskowaniem bądź obudową i bez większych zawirowań wypiera płuczkę iłową ku górze.

12. Jak wykazały badania półprzemysłowe na szalunku bądź obudowie (zwykle rura stalowa) mimo wypierania przez beton płuczki osadza się warstwa iłu o grubości 2÷5 mm, która to daje w efekcie rozdzielenie konstrukcji obudowy ostatecznej od części powstałej z wypełnienia. W związku z powyższym przy obliczeniach wytrzymałościowych powstałej w tych warunkach obudowy szybowej można brać pod uwagę konstrukcję zewnętrzną (dotychczasowe wypełnienie) jednakże pod warunkiem, że będzie ona traktowana jako pierścień samodzielny oddzielony warstewką iłu od obudowy wewnętrznej i z nią niezwiązany.

II. Wnioski odnośnie projektowania

1. Uzyskany w środowisku płuczki wiertniczej płaszcz betonowy ma charakter konstrukcji $R_w > 140$ kG/cm^2, $R_w > 1373 \cdot 10^4$ N/m^2. Z uwagi na strukturę układanego betonu można go uważać za wodoprzepuszczalny. Przeprowadzone próby laboratoryjne i modelowe wykazały brak powiązania pomiędzy płaszczem betonowym i stalowym.

2. W związku z powyższym można przyjąć, że na płaszcz betonowy działa ciśnienie:

$$p_b = p_g + \Delta p$$

zaś na płaszcz stalowy:

$$p_s = p_w + p_g$$

3. Wielkość wzajemnego oddziaływania płaszcza betonowego i stalowego określono drogą rozwiązania zagadnienia kontaktowego pierścieni grubościennych otrzymując wzór:

$$\Delta p = \frac{\frac{2(1-\nu_b^2)}{E_b} \cdot \frac{r_z^2 \cdot r_s}{r_z^2 - r_s^2} \cdot p_g \frac{1+\nu_a}{E_a} \frac{r_s}{r_s^2 - r_w^2}\left[(1-2\nu_a)r_s^2 + r_w^2\right] \cdot p_w}{\frac{1+\nu_b}{E_b} \cdot \frac{r_s}{r_z^2 - r_s^2}\left[r_s^2(1-2\nu_b) + r_z^2\right] \frac{1+\nu_a}{E_a} \cdot \frac{r_s}{r_s^2 - r_w^2}\left[r_s^2(1-2\nu_a) + r_w^2\right]}$$

Wzór ten prowadzi do bezpieczniejszych wymiarów konstrukcji obudowy niż dotychczas stosowany wzór Niesiołowskiego.

4. Wyprowadzenie konstrukcji płaszcza betonowego pozwala zmniejszyć grubość potrzebnego płaszcza stalowego.
Zmniejszenie to można zdaniem autora przyjąć wg wzoru:

$$\Delta g = 4{,}26 \cdot r_w \sqrt{\frac{s(1-\nu_a^2)}{E_a\left(0{,}2 + \frac{r_w}{l}\right)}} \sqrt{p_g + p_w} - \sqrt{p_w + \Delta p}$$

Oszczędność na grubości płaszcza stalowego rośnie ze wzrostem rozstawu pierścieni usztywniających $\delta_1 = \frac{l}{r_w}$ oraz ze wzrostem stosunku $\frac{p_w}{p_g}$.

5. Przy granicznym wg autora stosunku

$$\frac{p_w}{p_g} = 1{,}31$$

odciążenie płaszcza stalowego jest największe, gdyż wówczas płaszcz betonowy przejmuje ciśnienie:

$$p_b = p_g$$

zaś płaszcz stalowy tylko ciśnienie wody

$$p_s = p_w$$

7. LITERATURA

[1] Augustyn St., Jokiel A.: Nowe koncepcje obudów szybu wierconego o średnicy 3,5 m i głębokości 400 m. Budownictwo Górnicze nr 3 1972 r.

[2] Augustyn St., Jokiel A.: Problemy projektowania szybów wierconych. Prace ZBiD-BG. Cykl wydawniczy poświęcony teoretycznym zagadnieniom budownictwa górniczego. Mysłowice sierpień 1973.

[3] Bartecki P.: Charakterystyka stanu techniki światowej w dziedzinie wierceń otworów wielkośrednicowych. Projekty Problemy nr 2 1972.

[4] Brux G.: Neuartige Methoden bei Unterwasserbetonarbeiten und Injektionen. Abschnitt 2.2. Elsners Taschunbuch für den bautechnischen Eisenbahndienst. Dr Arthur Tezlaff-Verlag Frankfurt am Main, 31, 1959, str. 293-310.

[5] Brux G.: Anwendung des Colorete Verfahrens im Fluss-See und Hafenbau mit Ausführungsbeispielen. Bauplanung - Bautechnik, nr 9, 1959.

[6] Brux G.: Das Colorete - Verfahren bei Massenbeton und seine Anwendung. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Bauwesen Heft 4 Leipzig 1959.

[7] Brux G.: Das Colorete - Verfahren bei Bau von Sonderstrassen in Deutschland, Beton-Herstellung und Verwendung. Betonverlag, Düsseldorf 9, 1959, str. 328-330.

[8] Brux G.: Das Colorete Verfahren und seine Anwendung im Staudamm- und Talsperrenbau sowie als Unterwasserbeton. Schweiz. Techn. ZTs. nr 4, 1960.

[9] Brux G.: Das Colorete Verfahren und seine Anwendung im Wasserbau mit deutschen Ausführungsbeispielen 1954-1959. Die Bauwirtschaft nr 3, 1960.

[10] Braun K.: Badania nad technologią betonowania metodą Polcrete. Archiwum Inżynierii PAN nr 1, 1969.

[11] Braun K.: Betonowanie pod wodą przy budowlach wodno-melioracyjnych. NOT-SITWN, Warszawa 1964, opracowanie powielone.

[12] Braun K.: Betonowanie podwodne i podstawy technologii betonów hydrotechnicznych. Księga z materiałami Konferencji Naukowo-Technicznej "Postęp Techniczny w Budownictwie Wodno-Melioracyjnym". Poznań, grudzień 1062.

[13] Braun K.: Betonowanie podwodne. Opracowanie powielone. Politechnika Gdańska 1964.

[14] Braun K.: Metody betonowania wgłębnego. Przegląd Budowlany nr 11, 1965.

[15] Braun K.: Cykl artykułów pod wspólnym tytułem "Nowości w technologii robót betonowych": Betonowanie dwuetapowe, Gospodarka Wodna nr 6, 1966; Metoda Colorete, Metoda Prepakt, Czechosłowacka metoda aktywowanej zaprawy, Metoda Polcrete. Gospodarka Wodna nr 7, 1966.

[16] Braun K.: Polcrete - metoda betonowania. Opracowanie powielone, Politechnika Gdańska 1965.

[17] Braun K.: Polcrete. Nowa metoda betonowania wgłębnego. Przegląd Budowlany nr 12, 1965.

[18] Braun K.: Płyta fundamentowa pod 18-kondygnacjowy wieżowiec wykonana metodą Polcrete. Przegląd Budowlany nr 3, 1967.

[19] Braun K.: Polcrete - Metoda dwuetapowego betonowania. Budownictwo Lądowe Zeszyt XVI Gdańsk 1967.

[20] Bukowski B.: Technologia betonu cz. I. Warszawa 1963 Wyd. Arkady.

[21] Bulycev N.S.: O krepleniu stvolov projdennych bureniem. Sachtnoje stroitelstvo 1966, nr 9.

[22] Bulycev N.S.: Davlenie porod na krep stvola projdenogo burveniem. Sachtnoje Stroitelstvo 1967 nr 12.

[23] Bulycev N.S.: Sostojanie stenok niezakreplenogo stvola sachty projdenojo bureniem.

[24] Chudek M.: Górnictwo T. VII - Obudowa wyrobisk Cz. 2. Obudowa kamienna, metalowa i mieszana 1968 Wyd. Śląsk.

[25] Chudek M., Rułka K.: Konstrukcje siatkobetonowe w górnictwie. Wydawnictwo "Śląsk" Katowice 1969.

[26] Chudzicki A.: Opuszczanie i cementowanie obudowy stalowej na przykładzie szybu wierconego Andrzej VII KWK "Brzeszcze" Budownictwo Górnicze 1969 nr 2 32-36.

[27] Fedukin V.A.: Razvitija prochodki sachtnych stvolov bureniem. Sachtnoje Stroitelstvo. Moskwa 1962.

[28] Gauze H.: Wiercenie szybów. Budownictwo Górnicze 1967 nr 2.

[29] Kostrz J.: Wykonywanie wyrobisk. Głębienie szybów metodami specjalnymi. Wyd. Śląsk. Katowice 1964.

[30] Link H., Lutgendorf H.D., Stoss K.: Wytyczne do obliczania obudów szybowych w górotworze niezwięzłym. Glückauf 1969. Essen.

[31] Małoszewski J., Rułka K.: Analiza podstawowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych obudowy szybów i otworów wielkośrednicowych wykonywanych metodą wiertniczą. Przegląd Górniczy 1973 nr 4.

[32] Małoszewski J.: Badanie warunków wiązania i parametrów wytrzymałościowych zaczynów cementowych wprowadzanych na obudowę systemem podwodnym w środowisko płuczki wiertniczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo 1973.

[33] Małoszewski J.: Badania laboratoryjne nad ustaleniem receptury oraz techniki zakładania betonu monolitycznego systemem podwodnym w środowisku płuczki wiertniczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo 1973.

[34] Małoszewski J.: Możliwości stosowania betonów z lekkich kruszyw w budownictwie podziemnym. Budownictwo Górnicze 1971 nr 4.

[35] Małoszewski J.: Możliwości utylizacji popiołów różnych w budownictwie górniczym. Budownictwo Górnicze 1973 nr 3.

[36] Małoszewski J.: Przegląd sposobów wiercenia szybów oraz metod projektowania ich obudowy. Budownictwo Górnicze (w druku).

[37] Małoszewski J., Rułka K., Wypchol N.: Wpływ współpracy obudowy z górotworem na jej podporność. Przegląd Górniczy (w druku).

[38] Małoszewski J.: Badanie niektórych parametrów robót strzelniczych w szybach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Górnictwo nr 55

[39] Małoszewski J.: Studium nad ustaleniem optymalnych parametrów wytrzymałościowych i technologii stosowania obudowy z betonu monolitycznego w szybach wykonywanych metodą wiertniczą. Praca habilitacyjna - wydanie pełne niepublikowane.

[40] Niesiołowski Z.: Podstawy teoretyczne oraz koncepcje konstrukcji obudowy szybów wierconych ze szczególnym uwzględnieniem zmniejszenia zużycia stali. CIG - Katowice 1970.

[41] Naturski A.: Wielkośrednicowe wiercenie szybu i jego obudowa. Przegląd Górniczy 1966 nr 3.

[42] Naturski A.: Drążenie szybów i podziemnych szybików sposobami wiertniczymi. Materiały konferencyjne pt. Mechanizacja robót kapitalnych w górnictwie. Gliwice 1973.

[43] Pierzchała H.: Cementy portlandzkie w hydrotermalnym środowisku otworu wiertniczego. Zeszyty Naukowe AGH nr 188, Górnictwo z. 12, Kraków

[44] Pokrovskij N.M.: Provedenie gornych vyrabotok. Ugletechizdat. Moskwa 1954.

[45] Radłowski A.: Obliczanie obudowy murowej szybów wierconych. Przegląd Górniczy 1966.

[46] Revzjuk E.B., Volkov V.A.: Osobennosti raboty krepi stvolov, projdennych sposobom burenia. Sachtnoje Stroitelstvo 1965 nr 8.

[47] Rułka K., Potoczny A.: Badania przydatności cementu "550" w budownictwie podziemnym. Rudy i Metale Nieżelazne nr 2 1970.

[48] Samojowskij M.B.: Kreplenie stvolov sacht prochodimych bureniem. Gornyj Zurnal 1964.

[49] Sivkov D.V.: Istorija razwitija i sovremennoje sostojanije techniki burenija stvolov sacht i skvazin bolsogo diametra.Sachtnoje Stroitelstvo. Moskwa 1962.

[50] Strzelecki Z.: Materiałoznawstwo górnicze. Wydawnictwo "Śląsk" Katowice 1968.

[51] Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Katowice 1965. Wyd. Śląsk

[52] Timoshenko S., Gere J.: Teoria stateczności sprężystej.Warszawa 1963 Wyd. Arkady.

[53] Unrug K.: Współczesne rozwiązania stalowo-betonowych obudów szybowych. Projekty Problemy 1968 nr 3.

[54] Walewski J.: Zasady projektowania kopalń cz. V. Projektowanie szybów i szybików. Katowice 1965 Wydawnictwo Śląsk.

[55] Przepisy Dozoru Technicznego. Obliczenia wytrzymałościowe maszyn cienkościennych. Wydawnictwo Katalogów i Cenników. Warszawa 1968.

[56] Sbornik L XIII: Gornoje davlenije sdvisenije gornych porod i metodika marksejderskich robot. Leningrad 1967 Gornoje davlenie sdvizenija gornych.

Zestawienie instrukcji oraz norm związanych

[57] Instrukcje stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcjach. Warszawa 1973.

[58] Instrukcje stosowania metody ultradźwiękowej do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. Warszawa 1973.

[59] PN-63/B-04300 - Cement. Badania cech fizycznych.

[60] PN/B-04302 - Badania cech wytrzymałościowych.
PN/63/B-06250 - Beton zwykły.

[61] PN-61/B-06253 - Konstrukcje betonowe. Warunki wykonania i ochrony w środowisku agresywnych wód i gruntów.

[62] PN-66/B-06714 - Kruszywo mineralne. Kruszywo kamienne budowlane. Badania techniczne.

[63] PN-69/B-30000 - Cement portlandzki.

[64] PN-69/B-30005 - Cement hutniczy.

[65] PN-58/B-32250 - Woda do celów budowlanych. Wymagania techniczne dla wody do betonów i zapraw.

[66] PN-62/B-03200 - Konstrukcje stalowe, obliczenia statyczne i projektowanie.

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

Dokonana w ramach niniejszej rozprawy analiza techniczna konstrukcji oraz technologii wykonania obudów dla szybów i otworów wielkośrednicowych głębionych z zastosowaniem metod wiertniczych pozwala stwierdzić, że brak jest bliższych danych o przebiegu procesów wiązania zaczynów cementowych i betonów układanych w środowisku iłowej płuczki wiertniczej.

Przeprowadzone następnie przez autora kompleksowe badania laboratoryjne modelowe i półprzemysłowe pozwoliły na wyjaśnienie tych zjawisk oraz ustalanie optymalnych receptur zaczynów cementowych i betonów, które ułożone w takim środowisku gwarantują uzyskanie betonów konstrukcyjnych ($R_w \geq$ "140"). W trakcie przeprowadzanych badań wypróbowano zarówno tradycyjną technologię zarabiania betonów jak i metodę rozdzielczą, tzn. Polcrette

Uzyskane parametry wytrzymałościowe otrzymywanego w środowisku iłowej płuczki wiertniczej tworzywa, stanowiły punkt wyjścia dla przeprowadzenia rozważań teoretycznych określających wpływ zewnętrznego pierścienia wykonanego z betonu konstrukcyjnego na parametry wytrzymałościowe obudowy stalowo-betonowej jako całości.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЧНОСТИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕПИ ИЗ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В СТВОЛАХ, ПРОИЗВОДИМЫХ БУРИЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Р е з ю м е

Проведенный в рамках этого научного сочинения анализ конструкции и технологии крепей для стволов и углубленных крупнодиаметральных скважин с применением бурильных работ позволяет определить отсутствие более подробных данных о протекании процессов схватывания цементного теста и бетонной смеси укладываемых в среде илового промывочного раствора для бурения.

Проведенные затем автором комплексные, лабораторные, модельные и полупромышленные исследования позволили объяснить эти явления и также определить оптимальные рецептуры цементного теста и бетонной смеси, которые уложенные в такой среде, гарантируют получение конструктивных бетонов ($R_w \geq$ "140"). В ходе проведенных исследований проверена как традиционная технология, затворения бетона, так и распределительный метод, это значит "Polcrette".

Полученные параметры прочности, получаемого в среде илового промывочного раствора материала, представляли собой исходную точку для проведения теоретических рассуждений, определяющих влияние внешнего кольца, изготовленного из конструктивного бетона на параметры прочности крепи из сталебетона, как одно целое.

A STUDY CONCERNING THE SETTING UP OF OPTIMAL PARAMETERS OF STRENGTH AS WELL AS THE TECHNOLOGY OF THE APPLICATION OF MONOLITHIC CONCRETE LININGS IN DRILLED SHAFTS

S u m m a r y

This paper analyzes the technical design as well as the technology of lining shafts and bore-holes with large diameters; these analyses display that no detailed data are available concerning the process of the setting of the cement grout and concrete placed in a medium of drilling silt fluid.

Complex investigations in the laboratory, on models and in pilot plants have made it possible to the author of this paper to explain these phenomena and to determine the optimal recipe of cement grout and concrete which would warrant in such a medium the obtainment of constructional concrete (R_w > "140"). While proceeding with these investigations, both the conventional method of kneading the concrete paste and the distributive method, i.e. the Polcrete method, have been tried out.

The strength parameters of the material obtained in the medium of the drilling silt fluid were the starting point for further theoretical considerations whose aim it was to determine the effect of the outer ring of constructional concrete upon the strength parameters of a steel-concrete lining as a whole.

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
ukazują się w następujących seriach:

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

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty
serii G:

Górnictwo z. 1, 1956 r., s. 134, zł 20,—
Górnictwo z. 2, 1959 r., s. 96, zł 17,10
Górnictwo z. 3, 1961 r., s. 130, zł 21,—
Górnictwo z. 4, 1962 r., s. 134, zł 10,95
Górnictwo z. 5, 1963 r., s. 158, zł 11,90
Górnictwo z. 6, 1963 r., s. 154, zł 8,50
Górnictwo z. 7, 1963 r., s. 129, zł 6,80
Górnictwo z. 8, 1964 r., s. 175, zł 10,20
Górnictwo z. 9, 1964 r., s. 133, zł 10,50
Górnictwo z. 10, 1964 r., s. 157, zł 8,75
Górnictwo z. 11, 1964 r., s. 221, zł 13,10
Górnictwo z. 12, 1964 r., s. 304, zł 15,20
Górnictwo z. 13, 1965 r., s. 145, zł 8,40
Górnictwo z. 14, 1965 r., s. 78, zł 5,—
Górnictwo z. 15, 1966 r., s. 79, zł 5,—
Górnictwo z. 16, 1966 r., s. 91, zł 7,—
Górnictwo z. 17, 1966 r., s. 113, zł 8,—
Górnictwo z. 18, 1966 r., s. 291, zł 16,—
Górnictwo z. 19, 1966 r., s. 150, zł 11,—
Górnictwo z. 20, 1966 r., s. 84, zł 5.—
Górnictwo z. 21, 1967 r., s. 270, zł 17,—
Górnictwo z. 22, 1967 r., s. 196, zł 12,—
Górnictwo z. 23, 1967 r., s. 69, zł 4,—
Górnictwo z. 25, 1967 r.. s. 96, zł 5,—
Górnictwo z. 26, 1968 r., s. 137, zł 10,—
Górnictwo z. 27, 1967 r., s. 378, zł 24,—
Górnictwo z. 28, 1968 r., s. 185, zł 11,—
Górnictwo z. 29, 1968 r., s. 161, zł 9,—
Górnictwo z. 30, 1968 r., s. 237. zł 14,—
Górnictwo z. 31, 1968 r., s. 119, zł 8,—
Górnictwo z. 32, 1968 r., s. 97, zł 6,—
Górnictwo z. 33, 1968 r., s. 113, zł 6,—
Górnictwo z. 34, 1968 r., s. 111, zł 7,—
Górnictwo z. 35, 1968 r., s. 143.
Górnictwo z. 36, 1969 r., s. 243. zł 13,50
Górnictwo z. 37, 1969 r., s. 234, zł 14,—
Górnictwo z. 38, 1969 r., s. 167, zł 10,—
Górnictwo z. 39, 1969 r., s. 76, zł 4,50
Górnictwo z. 40, 1969 r., s. 107, zł 7,—
Górnictwo z. 41, 1969 r., s. 642, zł 42,—
Górnictwo z. 42, 1970 r., s. 84, zł 5,—
Górnictwo z. 43, 1970 r., s. 58, zł 5,—
Górnictwo z. 44. 1971 r., s. 199, zł 16,50
Górnictwo z. 45, 1971 r., s. 73, zł 5,—
Górnictwo z. 46, 1971 r., s. 63, zł 4,50
Górnictwo z. 47, 1971 r., s. 67, zł 6,—
Górnictwo z. 48, 1972 r., s. 198, zł 15,—
Górnictwo z. 49, 1972 r., s. 206, zł 16,—
Górnictwo z. 50, 1971 r., s. 148, zł 10,—
Górnictwo z. 51, 1972 r., s. 60, zł 5,—
Górnictwo z. 52, 1972 r., s. 526, zł 39,—
Górnictwo z. 53, 1972 r., s. 140, zł 9,—
Górnictwo z. 54, 1973 r., s. 172, zł 12,—
Górnictwo z. 55, 1973 r.. s. 210, zł 15,—
Górnictwo z. 57, 1973 r., s. 64, zł 5,—
Górnictwo z. 58, 1974 r., s. 178, zł 13,—

Cena zł 10,–