

**ZESZYTY  
NAUKOWE  
POLITECHNIKI  
ŚLĄSKIEJ**

**MIROŚLAW CHUDEK, STANISŁAW JANICZEK,  
RYSZARD MAJCHRZAK**

**ZAGADNIENIE OCENY STANU TECHNICZNEGO  
CZYNNYCH SZYBÓW GÓRNICZYCH  
ORAZ SPOSOBY ICH ZABEZPIECZEŃ**

**GÓRNICTWO**

**Z. 174  
GLIWICE  
1989**



# POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 985

MIROSLAW CHUDEK, STANISLAW JANICZEK,  
RYSZARD MAJCHRZAK

## ZAGADNIENIE OCENY STANU TECHNICZNEGO CZYNNYCH SZYBÓW GÓRNICZYCH ORAZ SPOSOBY ICH ZABEZPIECZEŃ

GLIWICE

1989

OPINIODAWCY

Prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek

Prof. dr hab. inż. Józef Małoszewski

KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY — Prof. dr hab. inż. Jan Węgrzyn

REDAKTOR DZIAŁU — Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek

SEKRETARZ REDAKCJI — Mgr Elżbieta Leśko

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Mgr Aleksandra Kłobuszowska

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0372-9508

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej

ul. Kujawska 3, 44-100 Gliwice

---

Nakł. 300+55 Ark. wyd. 8,2 Ark. druk. 7,125 Papier offset. kl. III 70x100. 70g  
Oddano do druku 20.12.88 Podpis. do druku 25.07.89 Druk ukończ. we wrześniu 1989  
Zam. 926/88 C-24 Cena zł 164,—

---

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

## SPIS TREŚCI

|  | Str. |
|--|------|
| 1. WPROWADZENIE .....  | 9    |
| 2. CZYNNIKI WPEŁYWAJĄCE NA STAN TECHNICZNY OBUDÓW SZYBOWYCH .....  | 11   |
| 2.1. Warunki hydrogeologiczne .....  | 11   |
| 2.2. Korozyjne działanie środowiska wodnego .....  | 12   |
| 2.3. Wpływ eksploatacji .....  | 14   |
| 2.4. Wpływ drgań wywołanych ruchem naczyń wydobywczych .....   | 15   |
| 2.5. Rodzaj, jakość i sposób wykonania obudowy .....   | 15   |
| 3. METODY BADAŃ SZYBOWYCH OBUDÓW MUROWYCH .....  | 17   |
| 3.1. Metody niszczące .....  | 17   |
| 3.2. Metody nieniszczące .....   | 17   |
| 3.2.1. Metody sklerometryczne .....  | 17   |
| 3.2.2. Metody izotopowe .....  | 20   |
| 3.2.3. Metody ultradźwiękowe .....   | 21   |
| 3.2.3.1. Tłumienie i rozproszenie fali ultradźwiękowej w materiale obudowy .....   | 22   |
| 3.2.3.2. Odbicie fali ultradźwiękowej od ociosów wyrobisk górniczych po przejściu przez obudowę .....  | 25   |
| 3.2.3.3. Zastosowanie metody "V" do badania górniczych obudów kamiennych .....   | 27   |
| 3.2.3.4. Zasady stosowania metody "V" .....  | 35   |
| 3.2.3.5. Metoda propagacji pośredniej .....  | 37   |
| 3.2.3.6. Zasady stosowania metody propagacji pośredniej .....  | 39   |
| 3.2.3.7. Określenie krzywych skalowania .....  | 40   |
| 3.2.3.8. Wpływ wilgotności kamiennych obudów górniczych na doraźną wytrzymałość konstrukcji .....  | 62   |
| 4. ZASTOSOWANIE ULTRADZWIĘKOWEJ METODY PROPAGACJI POŚREDNIEJ DO POMIARÓW DORAŻNEJ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE KAMIENNYCH OBUDÓW SZYBOWYCH ..... | 65   |
| 4.1. Elektroniczna aparatura ultradźwiękowa do nieniszczących pomiarów wytrzymałości obudowy w warunkach budownictwa szybowego .....           | 65   |
| 4.2. Metodyka prowadzenia pomiarów wytrzymałości obudów szybowych .....  | 68   |

|   | Str. |
|---|------|
| 4.3. Interpretacja wyników pomiarów doraźnej wytrzymałości na ściskanie murowych obudów szybowych ..... | 69   |
| 4.4. Sprawdzanie stateczności obudowy szybu .....   | 77   |
| 4.5. Analiza wyników pomiarów wytrzymałości górniczych obudów szybowych w rejonie GOP .....             | 73   |
| 4.5.1. Ocena rodzaju i stopnia agresywności wód występujących w przebadanych szwach .....               | 87   |
| 5. SPOSOBY POPRAWY STATECZNOŚCI OBUDÓW SZYBOWYCH .....  | 95   |
| 5.1. Rekonstrukcja obmurza .....  | 95   |
| 5.1.1. Rekonstrukcja obudowy muruwanej ceglanej .....   | 95   |
| 5.1.1.1. Hydrofobizacja cegieł .....  | 95   |
| 5.1.1.2. Zwiększenie wytrzymałości i odporności ko-<br>rozyjnej zapraw cementowych .....                | 96   |
| 5.1.2. Rekonstrukcja obudowy betonowej .....  | 97   |
| 5.1.3. Zabezpieczenie powierzchni obudowy .....   | 91   |
| 5.2. Dodatkowe wzmocnienie mury szybowej .....  | 98   |
| 5.2.1. Kotwienie obudowy .....  | 99   |
| 5.2.2. Wykonanie dodatkowej powłoki siatko-betonowej .....  | 101  |
| 5.3. Wypełnienie pustek pomiędzy obudową szybu a górotworem ..  | 105  |
| 5.4. Wykorzystanie przedstawionych zabezpieczeń obudów w szy-<br>bach na terenie GOP .....              | 106  |
| LITERATURA .....  | 110  |
| SPRESZCZENIA .....  | 112  |

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  | Стр. |
|--|------|
| 1. ВВЕДЕНИЕ .....  | 9    |
| 2. ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ШТРЕКОВЫХ КРЕПЕЙ .....  | 11   |
| 2.1. Гидро-геологические условия .....   | 11   |
| 2.2. Коррозионное воздействие водной среды .....   | 12   |
| 2.3. Влияние эксплуатации .....  | 14   |
| 2.4. Влияние колебаний, вызванных работой горных машин .....   | 15   |
| 2.5. Качество и способ выполнения крепи .....  | 15   |
| 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛОШНЫХ ШТРЕКОВЫХ КРЕПЕЙ .....   | 17   |
| 3.1. Разрушающие методы .....  | 17   |
| 3.2. Неразрушающие методы .....  |      |
| 3.2.1. Склерометрические методы .....  | 17   |
| 3.2.2. Изотропные методы .....   | 20   |
| 3.2.3. Ультразвуковой метод .....  | 21   |
| 3.2.3.1. Гашение и рассеивание ультразвуковой волны<br>в материале крепи .....   | 22   |
| 3.2.3.2. Отражение ультразвуковой волны от бортов гор-<br>ных выработок после прохождения через крепь .....                                  | 25   |
| 3.2.3.3. Применение метода "V" для каменных горных<br>крепей .....   | 27   |
| 3.2.3.4. Принципы применения метода "V" .....  | 35   |
| 3.2.3.5. Метод косвенного распространения .....  | 37   |
| 3.2.3.6. Принципы применения метода косвенного рас-<br>пространения .....  | 39   |
| 3.2.3.7. Определение кривых градуировки .....  | 40   |
| 3.2.3.8. Влияние влажности каменных горных крепей на<br>временную прочность конструкции .....  | 62   |
| 4. ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА КОСВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДЛЯ<br>ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ КАМЕННЫХ ШАХТНЫХ КРЕПЕЙ ..... | 65   |
| 4.1. Электронная ультразвуковая аппаратура для неразрушающих из-<br>мерений прочности крепи в условиях шахтного строительства .....          | 65   |
| 4.2. Методика проведения измерения прочности шахтных крепей .....  | 68   |
| 4.3. Интерпретация результатов измерений временной прочности на<br>сжатие сплошных шахтных крепей .....                                      | 69   |
| 4.4. Проверка стабильности шахтной крепи .....   | 77   |
| 4.5. Анализ результатов измерений прочности горных шахтных кре-<br>пей в Горносилезском промышленном районе .....                            | 78   |

|   | Стр. |
|---|------|
| 8. СПОСОБЫ ПОСРЕДСТВОМ СТАБИЛЬНОСТИ МАТРИКОВЫХ СРЕДСТВ .....                                      | 95   |
| 5.1. Реконструкция кладки шахты .....   | 95   |
| 5.1.1. Реконструкция сплошной кирпичной крепи .....   | 95   |
| 5.1.1.1. Гидрофобизация кирпичей .....  | 95   |
| 5.1.1.2. Повышение коррозионной прочности и сопротивляемости цементных растворов .....            | 96   |
| 5.1.2. Реконструкция бетонной крепи .....   | 97   |
| 5.1.3. Защита поверхности крепи .....   | 98   |
| 5.2. Дополнительная защита отверстия ствола шахты .....   | 98   |
| 5.2.1. Анкерное крепление крепи .....   | 99   |
| 5.2.2. Выполнение дополнительной армоцементной оболочки .....                                     | 101  |
| 5.3. Заполнение пустот между крепью и горным массивом .....                                       | 105  |
| 5.4. Использование представленных защит крепи в шахтах Горносилезского промышленного района ..... | 106  |
| ЛИТЕРАТУРА .....  | 110  |
| РЕЗЮМЕ .....  | 112  |



## CONTENTS

|  | Page |
|--|------|
| 1. INTRODUCTION .....  | 9    |
| 2. FACTORS INFLUENCING TECHNICAL CONDITION OF SHAFT LININGS .....  | 11   |
| 2.1. Hydrogeological conditions .....  | 11   |
| 2.2. Corrosive influence of water medium .....   | 12   |
| 2.3. Exploitation influence .....  | 14   |
| 2.4. Influence of vibrations caused by movement of gin tubs ..   | 15   |
| 2.5. Different qualities and a method of lining making .....   | 15   |
| 3. METHODS OF TESTING OF BRICK SHAFT LININGS .....   | 17   |
| 3.1. Destructive methods .....   | 17   |
| 3.2. Non-destructive methods .....   | 17   |
| 3.2.1. Sclerometer methods .....   | 17   |
| 3.2.2. Isotropic methods .....   | 20   |
| 3.2.3. Ultrasonic methods .....  | 21   |
| 3.2.3.1. Damping and dissipation of ultrasonic wave<br>in lining material .....  | 22   |
| 3.2.3.2. Reflection of ultrasonic wave from sides<br>of work after going through the lining ..                                   | 25   |
| 3.2.3.3. Application of "V" method to stonings test-<br>ing .....  | 27   |
| 3.2.3.4. Principles of "V" method application ....   | 35   |
| 3.2.3.5. Method of indirect propagation .....  | 37   |
| 3.2.3.6. Principles of indirect propagation method<br>application .....  | 39   |
| 3.2.3.7. Determination of scaling curves .....   | 40   |
| 3.2.3.8. Influence of humidity of stonings on im-<br>mediate structure strength .....  | 62   |
| 4. APPLICATION OF ULTRASONIC METHOD OF INDIRECT PROPAGATION TO<br>MEASUREMENTS OF IMMEDIATE COMPRESSION STRENGTH OF STONINGS ... | 65   |
| 4.1. Electronic ultrasonic equipment for nondestructive measu-<br>ments of lining strength in shaft building conditions ..       | 65   |
| 4.2. Methodology of measuring of shaft lining strength .....   | 68   |
| 4.3. Interpretation of measurement results of immediate compres-<br>sion strength of brick shaft linings .....                   | 69   |
| 4.4. Checking of shaft lining stability .....  | 77   |
| 4.5. Analysis of measurement results of shaft lining strength<br>in GOP (Upper Silesian Industrial Region) .....                 | 78   |

|  | Page |
|--|------|
| 4.5.1. Evaluation of water type and water aggressivity in the shafts under test .....                      | 87   |
| 5. METHODS OF IMPROVEMENT OF SHAFT LINING STABILITY .....  | 95   |
| 5.1. Brickwork reconstruction .....  | 95   |
| 5.1.1. Reconstruction of brick lining .....  | 95   |
| 5.1.1.1. Brock hydrophobing .....  | 95   |
| 5.1.1.2. Improvement of strength and corrosion resistance of cement mortar .....                           | 96   |
| 5.1.2. Reconstruction of concrete lining .....   | 97   |
| 5.1.3. Protection of lining surface .....  | 98   |
| 5.2. Additional strengthening of shaft pipe .....  | 98   |
| 5.2.1. Lining anchoring .....  | 99   |
| 5.2.2. Additional net-concrete coating .....   | 101  |
| 5.3. Filling hollow places between shaft lining and rock .....   | 105  |
| 5.4. Application of presented lining protections in shafts in GOP (Upper Silesian Industrial Region) ..... | 106  |
| LITERATURE .....   | 110  |
| SUMMARYS .....   | 112  |

## 1. WPROWADZENIE

Niniejsza monografia pt. "Zagadnienia oceny stanu technicznego czynnych szybów górniczych oraz sposoby ich zabezpieczeń" jest kontynuacją poprzedniej, o tym samym tytule, ogłoszonej w Zeszytach Naukowych Politechniki Śląskiej s. Górnictwo nr 111/1981. Obecne wydanie należy potraktować jako II poprawione i uzupełnione o nowe doświadczenia.

Od czasu I wydania monografii nie zmieniły się podstawy naukowe i metoda badawcza opracowana w Zakładzie Materiałoznawstwa z Chemią w Górniczym Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni, która jest wdrażana do praktyki od 1976 roku. Przybyło natomiast Autorom sporo doświadczeń w wykonywaniu badań in situ w taki sposób, by wynikała z nich rzeczywista ocena stanu obudów szybowych, co odnotowano w niniejszym wydaniu.

Wzrosła także liczba przebadanych szybów, co pozwala na dalsze przyczynki i uogólnienia co do tego problemu. Dotyczy to między innymi wpływu wilgotności kamiennych obudów górniczych na doraźną wytrzymałość konstrukcji ocenianą przy zastosowaniu ultradźwiękowych badań nieniszczących, a także nowego spojrzenia na sposób oceny i agresywność wód naturalnych pojawiających się w szybach.

Oddając do rąk Czytelnika niniejszą monografię Autorzy pragną nie tylko poszerzyć wiedzę o tym problemie, ale także zwrócić uwagę na jego rangę i periodyczną aktualność.

Specjalne wymagania stawiane górniczym obudowom pracującym w trudnych warunkach hydrogeologicznych lub narażonych na duże ciśnienia są jedną z przyczyn wskazujących na konieczność bardzo dokładnej kontroli technicznej tych elementów. Obudowy kamienne stosowane w wyrobiskach udostępniających [4] powinny charakteryzować się wysoką wytrzymałością. Obudowy narażone na działanie wysokich ciśnień i wpływ trudnych warunków hydrogeologicznych muszą zapewnić w odpowiednio długim okresie stateczność wyrobiska przy zmiennych ciśnieniach stałych i dynamicznych oraz gwarantować bezpieczną pracę ludzi i sprzętu. W okresie eksploatacji obudów kamiennych obserwowane są zmiany takich parametrów technicznych, jak: wytrzymałość, grubość, wodoszczelność obudowy. Zmiany te są związane ze specyfiką środowiska górniczego, które charakteryzuje się: korozyjnym działaniem, deformacjami związanymi z eksploatacją itp. Obudowa kamienna wykonana jest w zasadzie jako obudowa sztywna, nadająca się do pracy w górotworze nie naruszonym eksploatacją górniczą lub w górotworze odprężonym. Prowadzenie eksploatacji w filarze ochronnym szybów powoduje występowanie zmiennych

w czasie obciążeń wywołujących uszkodzenia obudowy i duże trudności w ich utrzymaniu [23], co niejednokrotnie może stanowić poważne zagrożenie dla stateczności szybów. W wyniku działania tych czynników na obudowę szybu dochodzi do pogorszenia się parametrów technicznych obudów, a głównie do obniżenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie, co może doprowadzić do utraty stateczności.

Względy bezpieczeństwa dyktują konieczność znajomości rozkładu doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudów szybowych, w różnych okresach ich eksploatacji.

Pozwala to na wykrycie i zlokalizowanie stref obudowy zagrożonych utratą stateczności, umożliwiając w ten sposób odpowiednio wczesne rozpoczęcie prac profilaktycznych w szybie.

## 2. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA STAN TECHNICZNY OBUDÓW SZYBOWYCH

W okresie eksploatacji obudów kamiennych obserwowane są takie zmiany parametrów technicznych, jak: obniżenie wytrzymałości, zmniejszenie grubości, wodoszczelności obudowy i obniżenie stopnia stateczności szybu. Zmiany te są związane ze specyfiką środowiska górniczego, które charakteryzuje się:

- zewodnieniem często w połączeniu z hydrostatycznym ciśnieniem wody na obudowę,
- korozyjnym oddziaływaniem wody w stosunku do materiału obudowy,
- wpływami eksploatacji górniczej wywołującej ciśnienia dynamiczne,
- zmianą stosunków hydrogeologicznych, prowadzących do nierównomiernego obciążenia obudowy,
- wstrząsami górotworu spowodowanymi tapaniami,
- przenoszeniem na obudowę drgań pochodzących z pracujących urządzeń mechanicznych, stanowiących wyposażenie szybu, np. ruch naczyń wydobywczych.

Zmienia się również niekorzystnie układ obciążenia obudowy ze strony górotworu na skutek wypłukiwania skał przez wodę, co prowadzi do powstania pustek za obudową i nierównomiernego jej obciążenia.

Zmiany wymienionych parametrów technicznych obudów szybowych wywołane są zatem głównie wpływem takich czynników, jak:

- warunki hydrogeologiczne,
- korozyjne działanie środowiska wodnego,
- wpływ eksploatacji,
- wpływ drgań wywołanych ruchem naczyń wydobywczych,
- rodzaj, jakość i sposób wykonania obudowy,
- czas użytkowania szybu.

### 2.1. Warunki hydrogeologiczne

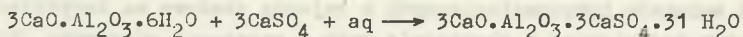
Układ warunków hydrogeologicznych w rejonie obudowy ma decydujący wpływ na jej stan techniczny. Z obecnością wody w warstwach górotworu, będących w kontakcie z obudową, związane jest występowanie ciśnienia hydrostatycznego i jej migracja przez materiał obudowy. Migrująca przez obudowę woda niszczy jej strukturę poprzez mechaniczne wymywanie cząstek materiału,

połączone najczęściej z działaniem korozyjnym. Znany jest fakt zmniejszenia wytrzymałości typowych materiałów stosowanych w obudowie szybowej (cegła, zaprawa cementowa, beton) na skutek wzrostu ich zawilgocenia. Szczególne znaczenie dla stateczności obudów szybowych mają własności litologiczne warstw występujących w ich rejonie. Zawodnione luźne warstwy górotworu typu piaski lub kurzawki, nawet przy niewielkich deformacjach rury szybowej, mogą stwarzać duże zagrożenie dla kopalni. Przez powstałe w obudowie szczeliny może się dostać do szybu woda lub kurzawka, stwarzając podwójne niebezpieczeństwo polegające na zalaniu szybu i wyrobisk, a także uszkodzeniu rury i wieży szybowej w wyniku deformacji obudowy i warstw górotworu. Wypadki takie zdarzały się już w kopalniach na terenie GOP, np. zniszczenie szybu w KWK "Bobrek" w Bytomiu oraz KWK "Pstrowski" w Zabrze. Występowanie wody w szczelinowatych skałach zwięzłych (np. piaskowcach karbońskich) stwarza mniejsze zagrożenie dla stateczności obudowy, związane jest jednak z lokalnym jej niszczeniem w wyniku migracji wody przez obmurze.

Często obserwuje się w szybach niszczenie powierzchniowej warstwy obudowy, będące efektem działania wody spływającej po obmurzu. Niszczenie to jest szczególnie widoczne w szybach wdechowych, gdzie w okresach zimowych występuje zjawisko zamarzania wody w porach i kapilarach materiału obudowy. W efekcie fizycznych zjawisk związanych z zamarzaniem następuje odspojenie lica obudowy, a w konsekwencji zmniejszenie jej grubości.

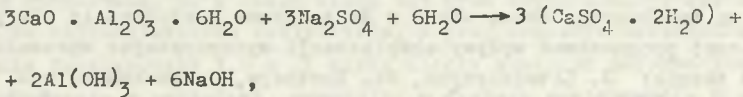
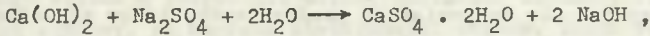
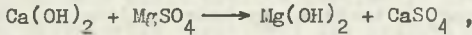
## 2.2. Korozyjne działanie środowiska wodnego

Obniżenie parametrów wytrzymałościowych obudowy szybu pracującego w warunkach zawodnionego górotworu wynika między innymi z procesu korozyjnego działania środowiska wodnego. Obudowa betonowa, betonitowa oraz zaprawa cementowa obudowy ceglanej mogą być poddane agresji siarczanowej, kwaso-węglowej, ogólnokwasowej, żugującej i magnezowej. Jak wykazują badania, np.: [23, 24, 25] w warunkach budownictwa szybowego na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego decydujące znaczenie ma agresja siarczanowa spowodowana dużą zawartością jonów  $SO_4^{2-}$ , występujących w wodach dopływających do szybu. W procesie tej agresji następuje reakcja siarczanu wapnia ( $CaSO_4$ ) zawartego w wodzie z jednym ze składników betonu, tj. glinianem trójwapniowym ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ ). Schemat reakcji jest następujący:



W wyniku tej reakcji powstaje związek o dużej objętości, tzw. etryngit, tj. siarczanoglinian trójwapniowy. Proces krystalizacji tej soli w porach i kapilarach betonu lub zaprawy powoduje znaczne naprężenia, prowadzące do spękania, a w końcu do ich rozkruszenia.

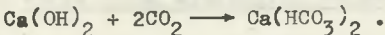
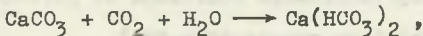
Również inne sole kwasu siarkowego (np.  $MgSO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ) mogą reagować ze związkami występującymi w betonie, np.: wodorotlenkiem wapnia  $Ca(OH)_2$  lub glinianem trójwapniowym  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$  wg reakcji:



efektem korozji jest powstawanie soli rozpuszczalnej w wodzie.

W przypadkach szczególnie niekorzystnych, gdy stężenie jonów  $SO_4^{2-}$  wynosi około 1000 mg/l, a czas eksploatacji szybu około 40 lat, ubytki obudowy betonowej mogą dochodzić do 30 cm na powierzchniach liczonych w dziesiątki metrów kwadratowych. Występuje jednocześnie znacznie obniżenie wytrzymałości betonu [24].

Sporadycznie występuje również korozja kwasowęglowa polegająca działaniem na beton obecnego w wodzie agresywnego dwutlenku węgla  $CO_2$ , np.:



W tym przypadku powstaje wodorowęglan wapnia, który należy do związków rozpuszczalnych w wodzie.

Mechanizm korozji cegły związany jest z jej złuszczeniem się pod wpływem zmiennego cyklu zamarzania i rozmarzania wody w jej porach i kapilarach. Grubość złuszczonej warstwy obudowy ceglanej uzależniona jest od: stopnia zawodnienia szybu, zanieczyszczenia powierzchni obudowy pyłem węglowym, nasiąkliwości cegły oraz czasu eksploatacji.

W szybach z obudową ceglana obserwuje się złuszczenie obudowy, którego grubość dochodzi do 10-20 cm np.: [24, 25].

Praktyka i badania wykazują, że obniżenie parametrów technicznych obudowy szybu pod wpływem czynnika korozyjnego występuje głównie w wyrobiskach o długim okresie eksploatacji. Wynika stąd konieczność szczególnej dbałości o stan techniczny rury szybowej.

### 2.3. Wpływ eksploatacji

Znajomość wielkości wpływu eksploatacji, prowadzonej w filarze lub na zewnątrz filarów ochronnych, na obiekty podziemne i powierzchniowe ma bardzo duże znaczenie dla ich ochrony, a także w aspekcie racjonalnej gospodarki złożem. Wpływ eksploatacji pozafilarowej na obiekty można najdokładniej określić opierając się na pomiarach geodezyjnych, które są najbardziej wiarygodnym i obiektywnym potwierdzeniem rzeczywistego wpływu eksploatacji na te obiekty. Można także z dostateczną dokładnością dla praktyki górniczej prognozować wpływy eksploatacji wykorzystując wprowadzone w praktyce teorie: J. Litwiniusza, St. Knothego, M. Kochmańskiego, A. Sałustowicza [27] a także teorie M. Chudka i L. Stefańskiego [14], w której wskaźniki deformacji górotworu lub powierzchni można wyliczyć wzorami:

- maksymalne poziome odkształcenie

$$\varepsilon_{x_{\max}} = 0,6 W_{\max} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{śr}}}{Z \cdot R_{\text{śr}}}}, \text{ mm/m}$$

gdzie:

$W_{\max}$  - maksymalne obniżenie terenu na powierzchni,

$\gamma_{\text{śr}}$  - średnia wartość ciężaru objętościowego obliczona do głębokości Z,

$R_{\text{śr}}$  - średnia wartość wytrzymałości na rozciąganie skał,

- maksymalne nachylenie terenu

$$T_{\max} = W_{\max} \sqrt{\frac{\gamma_{\text{śr}}}{Z \cdot R_{\text{śr}}}}, \text{ mm/m}$$

- maksymalna krzywizna terenu

$$K_{\max} = 1,5 W_{\max} \frac{\gamma_{\text{śr}}}{Z \cdot R_{\text{śr}}}, \text{ km}^{-1}$$

- maksymalne przemieszczenie poziome

$$U_{\max} = 0,4 W_{\max} \cdot m$$

- szybkość osiadania terenu

$$V_{z_{\max}} = s \cdot m \cdot \gamma_x \sqrt{\frac{\gamma_{\text{śr}}}{Z \cdot R_{\text{śr}}}}, \text{ m/m-c}$$



- a - współczynnik zależny od sposobu kierowania stropem,
- m - grubość eksploatowanego pokładu (warstwy),
- $V_x$  - prędkość postępu frontu górniczego.

Na podstawie wielu wyników obserwacji geodezyjnych można stwierdzić, że przy prowadzeniu częściowej lub całkowitej eksploatacji w filarze ochronnym szybów w jednym lub więcej pokładach dochodzi często do uszkodzeń ich obudowy, co zagraża stateczności szybów. Znane są przypadki w polskim górnictwie, że w ciągu kilku lat zrąb szybu obniżył się o kilkanaście do kilkudziesięciu centymetrów, a przy znacznym naruszeniu filara osiadania przekroczyły 1,0 m i szyby uległy znacznym deformacjom.

Eksploatacja w pokładach, powodując w szybach występowanie pionowych odkształceń ściskających czy też poziomych odkształceń rozciągających, może być przyczyną znacznego odchylenia szybu od linii pionowej, a także przyczyną skrzywienia i popękania rury szybowej. Odkształcenia pionowe ściskające powodują łuszczenie obudowy szybowej, co przy zespole innych ujemnych czynników, jak np. zawodnienie szybu oraz zmiany temperatury, stwarza bardzo niekorzystną sytuację w szybie. Jednostronnie prowadzona eksploatacja zewnętrzna powoduje duże przesunięcia poziome górotworu, a wraz z nim i szybu. W wyniku tych przesunięć szyby ulegają znacznemu wychyleniu z pionu. Znane są przypadki w Polsce i w ZSRR, że wychylenie szybu z pionu wynosi od 1 do 3 m.

#### 2.4. Wpływ drgań wywołanych ruchem naczyń wydobywczych

Konieczność stosowania w szybach wydobywczych naczyń wyciągowych o znacznych udźwigach, dochodzących do 300 kN i poruszających się z dużymi prędkościami do 20 m/s [19], powoduje drgania układu sprężystego dźwigara-prowadnika, którego energia zostaje przekazana na obudowę szybu. O ile energia tych drgań i czas ich trwania są dostatecznie duże, istnieje możliwość niszczenia struktury obudowy przez punktowe i przemienne działające w obudowie obciążenie w rejonie dźwigarów. Zjawisko to, aczkolwiek istotne z punktu widzenia stanu technicznego obudowy, nie zostało dotychczas w sposób dostateczny opracowane naukowo.

#### 2.5. Rodzaj, jakość i sposób wykonania obudowy

W fazie projektowania obudowy szybu należy uwzględnić warunki hydrogeologiczne i górnicze występujące w rejonie szybu i odpowiednio do istniejących zagrożeń, np. rodzaju i stopnia agresywności środowiska czy przewidywanych wpływów eksploatacji, zaprojektować obudowę szybu. Zastosowany materiał na obudowę powinien być odporny na występującą agresywność

wód a konstrukcja obudowy tak zaprojektowana, że będzie ona odporna na przewidywane wpływy eksploatacji. W tym celu należy wykorzystać dotychczasowy dorobek naukowy w zakresie konstrukcji obudów odpornych na wpływy eksploatacji. Prawidłowy sposób wykonania obudowy, przestrzeganie procesu technologicznego oraz receptur stosowanego betonu gwarantują, że wyrobisko będzie spełniało swoje funkcje w założonym okresie jego eksploatacji. Popełnione na etapie projektowania i wykonawstwa szybu błędy związane z doborem rodzaju obudowy do warunków środowiska są przyczyną przedwczesnego niszczenia obudowy i wymagają stosowania kosztownych, długotrwałych i niebezpiecznych prac remontowych w szybie w trakcie jego eksploatacji.

### 3. METODY BADAŃ SZYBOWYCH OBUDÓW MUROWYCH

W praktyce budownictwa podziemnego istnieje konieczność określania do-  
różnej wytrzymałości na ściskanie obudów wyrobisk górniczych zarówno w  
stadium wykonawstwa obudowy, jak i w trakcie wieloletniej ich eksploata-  
cji.

#### 3.1. Metody niszczące

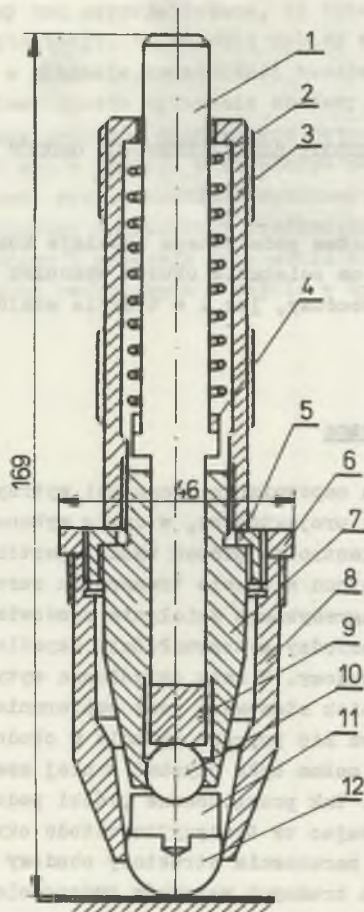
Dotychczas, w celu zapewnienia zgodności wytrzymałości wykonanej obu-  
dowy z wytrzymałością projektowaną, w cyklu wykonawstwa obudów betonowych  
stosuje się badania kontrolne próbek każdej partii betonu. W praktyce,  
wskutek segregacji betonu w czasie transportu rurociągami, zmian konsy-  
stencji betonu oraz agresywnego działania środowiska wodnego, mogą wystę-  
pować rozbieżności pomiędzy wytrzymałością określoną na próbkach a wytrzy-  
małością wykonanej obudowy. W celu określenia wytrzymałości wykonanych  
obudów murowych wyrobisk stosowane jest pobieranie próbek z istniejących  
obudów. Próbki pobiera się poprzez wykucie w obudowie murowej bryły o ta-  
kich gabarytach, aby można było uzyskać z niej sześciian o wymiarach około  
16 x 16 x 16 cm [30]. Tak przygotowane próbki poddawane są badaniom wy-  
trzymałościowym. Stosując tę tradycyjną metodę określania wytrzymałości  
doprowadzamy więc do naruszenia struktury obudowy i dlatego posługiwanie  
się nią w przypadkach trudnych warunków hydrogeologicznych jest niejedno-  
krotnie niemożliwe. Jak widać, tradycyjne niszczące metody badania wytrzy-  
małości obudów murowych wykazują wady, mają ograniczony zakres stosowania  
tylko do tych odcinków obudowy, gdzie nie występuje zagrożenie wodne.

#### 3.2. Metody nieniszczące

Instytucje naukowo-badawcze kierują swoje zainteresowanie w stronę  
nieniszczących metod badania wytrzymałości materiałów stwarzających prze-  
słanki opracowania optymalnych metod badania szybów obudów murowych.

##### 3.2.1. Metody sklerometryczne

Szeroko stosowaną metodą sprawdzania jakości betonu są badania sklero-  
metryczne - są to badania nieniszczące, których istotą jest próba na twar-  
dość.



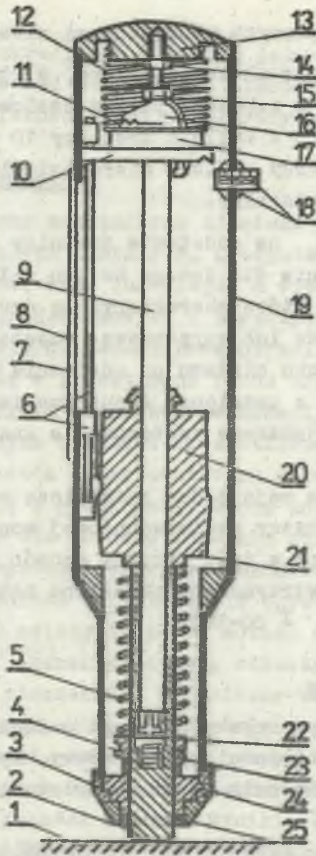
Rys. 1. Przekrój podłużny ulepszonoego młotka Poldiego

- 1 - trzpień główny, 2 - sprężyna, 3 - obudowa przyrządu, 4 - podkładka, 5 i 6 - pierścienie mocujące dodatkową nasadkę, 7 - obudowa kulki  $\varnothing 10$  mm, 8 - dodatkowa nasadka, 9 - sztabka wzorcowa, 10 - kulka  $\varnothing 10$  mm, 11 - płyta centrująca, 12 - wgłębnik dodatkowy 20 mm

Fig. 1. Longitudinal section of improved Poldie hardness tester

- 1 - main rod, 2 - spring, 3 - casing, 4 - washer, 5 - and 6 - rings fastening an additional cap, 7 - casing of a ball  $\varnothing 10$  mm, 8 - additional cap, 9 - standard bar, 10 - ball  $\varnothing 10$  mm, 11 - centring plate, 12 - additional penetrator 20 mm

Przyjmując definicję Osmonda, że twardość jest to odporność materiału na odkształcenia spowodowane siłami skupionymi, rozróżnia się poszczególne metody pomiarowe w zależności od sposobu wywołania nacisku oraz od przyjętej miary odporności. Pomiar dzieli się na statyczne i dynamiczne. Rozróżnia się metody pomiaru odkształceń trwałych (ślady zagłębień) oraz



Rys. 2. Przekrój podłużny młotka Schmidta

1 - powierzchnia badanego betonu, 2 - trzpień uderzeniowy, 3 - przykrywa przednia, 4 - sprężynka amortyzacyjna, 5 - sprężynka uderzeniowa, 6 - wskaźnik liczby odbicia L, 7 - szkiełko ochronne wskaźnika, 8 - skala, 9 - prowadnica, 10 - talerz wodzący, 11 - sprężynka spustu, 12 - sprężynka dociskowa, 13 - przykrywka tylna, 14 - przeciwnakrętka śruby regulacyjnej, 16 - spust, 17 - sworzeń spustowy, 18 - przycisk, 19 - obudowa młotka, 20 - masa uderzeniowa, 21-22 - zaczepy sprężyny uderzeniowej, 23 - tuleja, 24 - pierścień, 25 - uszczelka z filcu

Fig. 2. Longitudinal section of Schmidt hardness tester

1 - surface of the concrete under test, 2 - impact bar, 3 - front cover, 4 - damper spring, 5 - impact spring, 6 - indicator of rebound number L, 7 - indicator protective glass, 8 - scale, 9 - guide bar, 10 - leading disk, 11 - release spring, 12 - pressing down spring, 13 - back cover, 14 - lock-nut of an adjusting screw, 16 - release, 17 - release pin, 18 - push-button, 19 - tester casing, 20 - hitting mass, 21, 22 - loops of impact spring, 23 - sleeve, 24 - ring, 25 - felt gasket

metody określania reakcji sprężystej materiału (wielkość odskoku). Do metod sklerometrycznych zalicza się również metody, które do oceny odporności betonu na oddziaływanie sił skupionych zamiast próby na twardość wykorzystują odpowiednio lokalne próby na ściskanie, rozciąganie lub skręcanie.

Do pomiarów sklerometrycznych stosowane są niżej wymienione przyrządy:

- ulepszony przez Waitzmanna młotek Poldiego, w którym zastosowana jest kulka o średnicy 10 mm i wzorcowa płytka stalowa (rys. 1),
- młotek HPS, produkcji NRD z kulką o średnicy 10 mm, samosprężającym się układem uderzeniowym. Ślady odcisku mierzy się lupą o 10-krotnym powiększeniu, zaopatrzoną w podziałkę.

Wytrzymałość betonu  $R_c$  na podstawie średnicy odcisku  $L$  określa się z ustalonej eksperymentalnie dla danego betonu zależności funkcyjnej. Oddzielną grupą przyrządów, które charakteryzują dynamiczną twardość betonu, są udarowe młotki wahadłowe lub sprężynowe. Zasada pomiaru polega na określeniu wielkości odskoku ciężaru po uderzeniu w beton i określeniu wytrzymałości betonu  $R_c$  z ustalonej eksperymentalnie dla danego betonu zależności funkcyjnej. Najszersze zastosowanie znalazł młotek Schmidta (rys. 2).

Badania sklerometryczne mają jedną zasadniczą wadę. Dokonywane pomiary określają wytrzymałość warstwy powierzchniowej konstrukcji betonowej do grubości 3 cm, która zawsze w dość istotny sposób różni się od wytrzymałości warstw głębszych. Wytrzymałość określona metodami sklerometrycznymi może być obciążona błędem  $\pm 20-30\%$ .

### 3.2.2. Metody izotopowe

W technice górniczej wykorzystywana jest metoda przepustowa i powierzchniowa pomiaru ciężaru objętościowego obudowy, wykorzystująca proporcjonalność absorpcji promieniowania przez materiał obudowy, do jej ciężaru objętościowego [4].

Metoda powierzchniowa pomiaru ciężaru objętościowego znajduje zastosowanie w warunkach obudów wyrobisk górniczych; dokładność pomiaru ciężaru objętościowego obudowy wynosi poniżej 2% [4].

Drugi zakres zastosowań metod izotopowych dotyczy sprawdzenia stanu technicznego obudowy murowej i obejmuje:

- pomiary faktycznej grubości obudowy,
- sprawdzenie stanu obudowy po wykonaniu i w czasie jej współpracy z górotworem - defektoskopię obudowy,
- sprawdzenie stanu naprężeń w obudowie.

Aby określić grubość obudowy, wykorzystuje się wykresy cechowania. Przedstawiają one zależność zmian w natężeniu promieniowania  $\gamma$  od iloczynu ciężaru objętościowego i grubości obudowy. Pomiar grubości obudowy stosuje się więc w połączeniu z pomiarem ciężaru objętościowego, w czasie którego wyznaczony ciężar objętościowy wykorzystuje się do wyznaczenia grubości badanej obudowy z pomierzonej wartości natężenia promieniowania.

Wykorzystanie zmienności absorpcji promieniowania  $\gamma$ , w zależności od współczynnika pochłaniania poszczególnych składników obudowy murowej, pozwala na zastosowanie metody izotopowej do defektoskopii obudowy. Radio-

gram obudowy umożliwia określenie w sposób jednoznaczny wielkości i sposobu zbrojenia, wykrycie wad w wykonanej obudowie oraz ustalenia miejsca działającej korozji i niekorzystnej współpracy obudowy z górotworem.

### 3.2.3. Metody ultradźwiękowe

Ultradźwiękami nazywamy mechaniczne zjawisko falowe, występujące w ośrodkach gazowych, ciekłych i stałych, o częstotliwości większej niż górna granica słyszalności ucha ludzkiego, a więc ponad 16 kHz. Warunki rozchodzenia się fal ultradźwiękowych i towarzyszące im zjawiska zależą od własności ośrodka. Fale ultradźwiękowe określa się najogólniej jako zjawisko przenoszenia się w przestrzeni ruchu drgającego o częstotliwości ponadslyszalnej. Pod wpływem badań nad zachowaniem się betonu pod działaniem obciążeń impulsowych o dużych częstotliwościach, lecz małych amplitudach stwierdzono, że beton można uważać za ośrodek lepkosprężysty, w którym fale rozchodzą się z prędkością, którą można obliczyć ze wzoru analogicznego dostosowanego dla ośrodka idealnie sprężystego. Wynika to z faktu, że przy dużych częstościach wpływ czynnika lepkiego w przyjętym schemacie ciała tak ogranicza odkształcenia sprężyste uzależnione od modułu  $E$ , że prędkość fali zależy tylko od modułu dynamicznego  $E_d$ , który jest stałą adiabatyczną, charakteryzującą odkształcenia szybkie, zachodzące bez wymiany ciepła z otoczeniem. Dynamiczny moduł sprężystości jest na ogół większy od statycznego, który jest stałą izotermiczną i związany jest z powolnymi odkształceniami zachodzącymi przy stałej temperaturze ośrodka.

Wprowadzony do betonu impuls ultradźwiękowy przebiega określoną drogą z prędkością zależną od jakości betonu. Wyniki pierwszych badań przeprowadzonych w latach 1946-1950 wskazywały na istnienie związku pomiędzy wytrzymałością betonu a dynamicznym modułem sprężystości, będącym funkcją prędkości rozchodzenia się podłużnej fali ultradźwiękowej [2]. Jednakże późniejsze prace i badania wykazały, że związek pomiędzy wytrzymałością betonu i prędkością fal ultradźwiękowych zależy także od składu betonu, jego pielęgnacji oraz innych czynników zewnętrznych.

Badania ultradźwiękowe polegają więc na określeniu prędkości fali ultradźwiękowej w ośrodku. Prędkość propagacji jest własnością charakterystyczną dla danego ośrodka i dla fali podłużnej wyraża się wzorami zawartymi w pracy [33], a ogólnie wyraża się w postaci

$$v_L = \sqrt{\frac{E_d (1 - \nu)}{\rho (1 + \nu)(1 - 2\nu)}}$$

gdzie:

$v_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,

$E_d$  - dynamiczny moduł sprężystości,

$\nu$  - dynamiczna liczba Poissona,

$\rho$  - gęstość.

W ośrodku stałym oprócz fal podłużnych powstają jeszcze fale poprzeczne i fale powierzchniowe. W technice badań nieniszczących stosuje się głównie fale podłużne, jako rozchodzące się z większą prędkością niż pozostałe rodzaje fal [33, 32]. Na prędkość fali podłużnej nie wpływają znacząco wymiary badanego obiektu, z wyjątkiem przypadku, gdy jego wymiary poprzeczne są małe w stosunku do długości fali impulsu. W podobny sposób przedstawia się wpływ amplitudy generowanych w badanej konstrukcji drgań; jest ona tak mała, że nie wpływa na prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej [32].

Metoda ultradźwiękowa badania wytrzymałości betonu sprowadza się do określenia czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej na znanej drodze.

Prędkość fali określamy wzorem

$$V_L = \frac{L}{(t - t_1)}$$

gdzie:

- $V_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $L$  - droga propagacji fali ultradźwiękowej,
- $t$  - czas przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $t_1$  - opóźnienie na warstwie sprzęgającej.

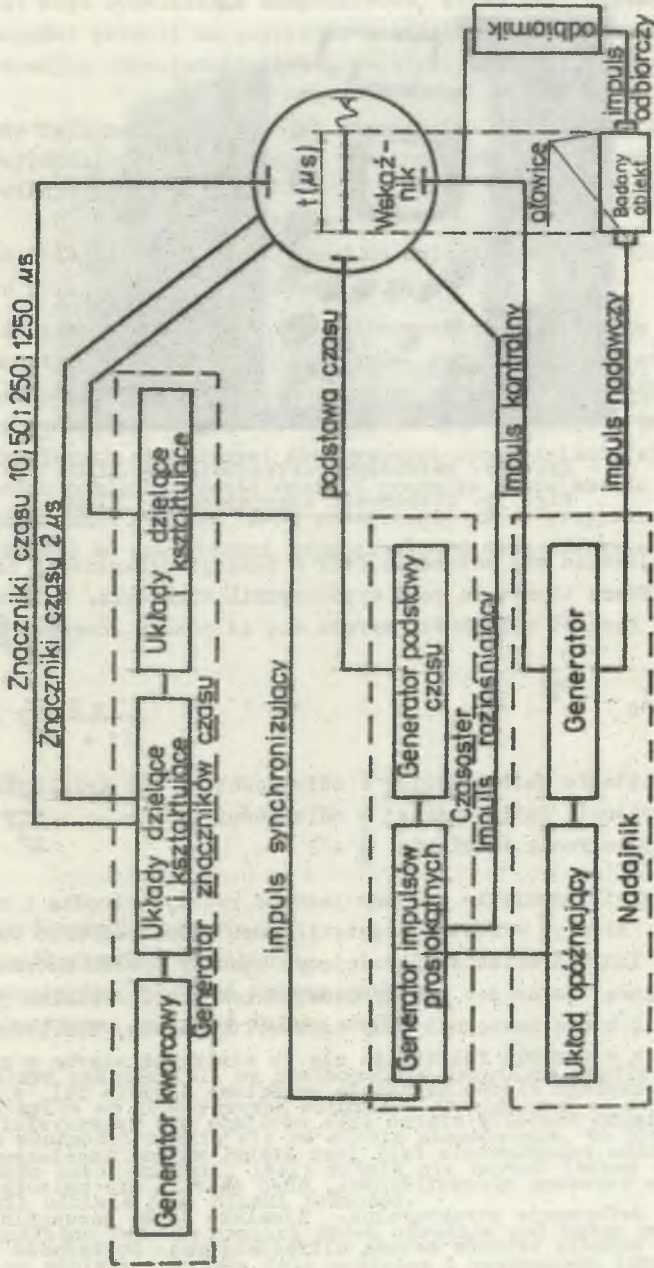
Doraźną wytrzymałość na ściskanie badanego betonu określa się z zależności  $R_c = f(V_L)$  określonej laboratoryjnie dla betonu o takich samych parametrach, warunkach przechowywania i pielęgnacji, co badany beton [2, 33].

Do wzbudzenia, odbioru i pomiaru czasu propagacji fali ultradźwiękowej stosowane są przyrządy elektroniczne - betonoskopy (rys. 3 i 3a). W warunkach obustronnego dostępu do badanej konstrukcji stosowana jest powszechnie metoda przepuszczania (rys. 3), w której głowica nadawcza i odbiorcza umieszczone są na przeciwległych płaszczyznach badanej konstrukcji. Konieczność dostępu do obydwu przeciwległych powierzchni badanego elementu eliminuje stosowanie tej metody do badania murew obudów górniczych w warunkach in situ. Prowadzone są prace nad stosowaniem metody echa do pomiaru wytrzymałości górniczych obudów murew [31], jednak według oceny autorów, uzyskuje się dużą dyspersję wyników oraz możliwość powstania znacznych błędów pomiarowych.

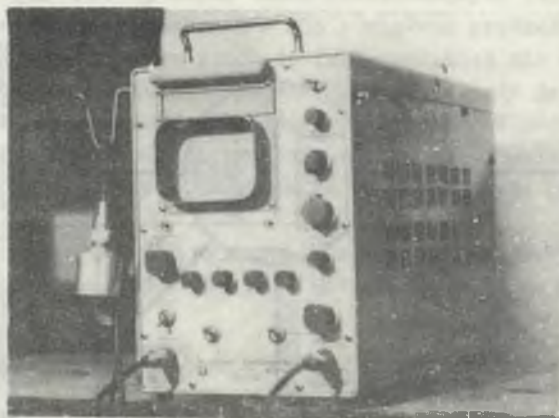
### 3.2.3.1. Tłumienie i rozproszenie fali ultradźwiękowej w materiale obudowy

Fala ultradźwiękowa niesie w kierunku swego ruchu energię, którą wytworzyło źródło fali. W ośrodku doskonale sprężystym energia przenoszona jest bez strat. W rzeczywistości natomiast, wskutek tarcia wewnętrznego, przewodnictwa cieplnego itp. część energii jest stale traczona. Rezultatem





Rys. 3. Schemat blokowy betonoskopu ultradźwiękowego typu BI-SR  
 FIG. 3. Block diagram of ultrasonic concreteoscope type BI-SR



Rys. 3a. Betonoskop ultradźwiękowy BI-3R  
Fig. 3a. Ultrasonic concretoscope BI-3R

jest zmniejszenie się natężenia fali w funkcji odległości, czyli tłumienie fali. Miarą tłumienia jest współczynnik tłumienia. Natężenie fali płaskiej w funkcji odległości wyraża się za pomocą równania [33]

$$I = I_0 \cdot e^{-\gamma l}$$

gdzie:

- I - natężenie fali płaskiej w odległości  $l$  od źródła dźwięku,
- $I_0$  - natężenie fali płaskiej w odległości  $l = 0$ ,
- $\gamma$  - współczynnik tłumienia  $\frac{1}{m}$ .

Współczynnik tłumienia zależy od rodzaju ośrodka i częstotliwości dźwięku. Wraz ze wzrostem częstotliwości rośnie wartość współczynnika tłumienia. Innym zjawiskiem powodującym znaczny spadek natężenia fali ultradźwiękowej na drodze między nadajnikiem a odbiornikiem jest rozproszenie fali, które następuje przy częstotliwościach, dla których długość powstających w ośrodku fal zbliża się do wielkości ziarna w materiale. Na granicy każdego ziarna następuje częściowe odbicie fal, a ze względu na nieregularne kształty ziaren fale odbijają się we wszystkich kierunkach. Skutkiem rozproszenia fali jest szybki wzrost współczynnika tłumienia wraz ze wzrostem częstotliwości, choć energia nie zmienia się w ciepło czy trwałe deformacje strukturalne. Zjawisko to ma szczególnie ujemny wpływ przy badaniu betonów metodą ultradźwiękową. Dokładność badań wymaga wprowadzenia do betonu skoncentrowanej wiązki fali ultradźwiękowej, a te uzyskać można stosując wysokie częstotliwości drgań. Zastosowanie wysokich częstotliwości do badań powoduje bardzo silne rozproszenie fali w be-

tonach obudów górniczych, gdzie wielkość ziarn kruszywa dochodzi do 80 mm. Koniecznym jest więc rozwiązanie kompromisowe, które przy dostatecznej jeszcze dokładności pozwoli na uzyskanie niewielkiego rozproszenia. Można to osiągnąć stosując odpowiednio niskie częstotliwości (20, 40, 100, 150 kHz) [19].

Rozproszenie fali następuje również przy odbiciu od granicy dwóch ośrodków w przypadku, gdy powierzchnia graniczna nie spełnia warunków odbicia zwierciadlanego.

### 3.2.3.2. Odbicie fali ultradźwiękowej od ociosów wyrobisk górniczych po przejściu przez obudowę

Szczególnie ważną dla badań obudów betonowych metodą odbicia jest znajomość pola akustycznego na granicy ośrodków. Miarą zdolności odbicia fali przez powierzchnię graniczną jest stosunek natężenia fali odbitej do natężenia fali padającej na granicę. Fala, padając na granicę dwóch ośrodków charakteryzujących się różnymi akustycznymi opornościami falowymi, ulega częściowemu odbiciu, reszta energii przenika natomiast do ośrodka drugiego. Współczynnik odbicia  $K$  i przenikanie  $D$  w przypadku, gdy fala pada prostopadle do powierzchni granicznej, opisują równania [33]:

$$K = \left( \frac{m - 1}{m + 1} \right)^2$$

$$D = 1 - K = \frac{4m}{(m + 1)^2}$$

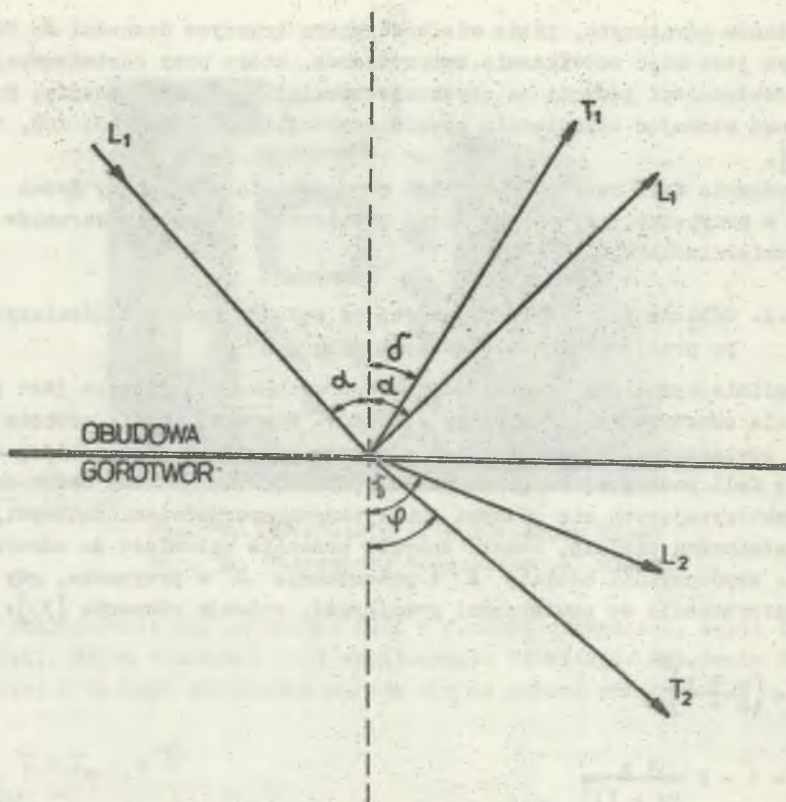
$$m = \frac{\rho_1 v_{L1}}{\rho_2 v_{L2}}$$

gdzie:

- $K$  - współczynnik odbicia,
- $D$  - współczynnik przenikania,
- $\rho_1 v_{L1}$  - akustyczna oporność falowa obudowy,
- $\rho_2 v_{L2}$  - akustyczna oporność falowa skały.

Przy normalnym padaniu fali na powierzchnię graniczną współczynniki  $K$  i  $D$  zależą tylko od akustycznych własności granicznych ze sobą ośrodków. Jeśli te własności różnią się od siebie nieznacznie, to przez granicę przenika większa część energii, jeśli różnią się bardzo (beton - powietrze) to współczynnik odbicia jest bliski jedności.

Gdy fala podłużna pada na granicę dwóch ośrodków pod kątem różnym od prostego, to po odbiciu powstają fale podłużne i poprzeczne (rys. 4), gdzie  $L$  - fala podłużna,  $T$  - fala poprzeczna.



Rys. 4. Odbicie fali ultradźwiękowej na granicy obudowa-górotwór  
 Fig. 4. Ultrasonic wave reflection between casing and rock

Dla fal podłużnych kąt odbicia jest równy kątowi padania. Natomiast zależność między kątem przebiegu fal zakłamyjących i padających opisuje równanie [33]:

$$\frac{\sin \alpha}{v_{L_1}} = \frac{\sin \delta}{v_{T_1}} = \frac{\sin \beta}{v_{L_2}} = \frac{\sin \psi}{v_{T_2}}$$

gdzie:

- $v_L$  - prędkość fali podłużnej 1 - w obudowie, 2 - w górotworze,
- $v_T$  - prędkość fali poprzecznej 1 - w obudowie, 2 - w górotworze,
- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  - kąty przedstawione na rys. 4.

Rozpatrywane wyżej zależności zachodzą w przypadku zwierciadlanego charakteru powierzchni odbijającej - kiedy rozmiary nierówności są znacznie mniejsze od długości fali ultradźwiękowej. Nierówności powierzchni odbijającej doprowadzają do rozproszenia energii i do spadku natężenia fali odbitej.

Z uwagi na charakter odbicia powierzchnie dzieli się na zwierciadlane i dyfuzyjne. Za powierzchnię zwierciadlaną przyjęto uważać taką, której wymiary nierówności nie przekraczają  $1/20$  długości fali na nią padającej.

Obszar odbicia i rozproszenia fali staje się skomplikowany w przypadku obudów, gdyż ośrodek jest niejednorodny. Powierzchnię ociosów wyrobisk górniczych w wielu przypadkach charakteryzują nierówności statystyczne; analityczne ujęcie praw rządzących odbiciem fal ultradźwiękowych od tych powierzchni przedstawia dużą trudność.

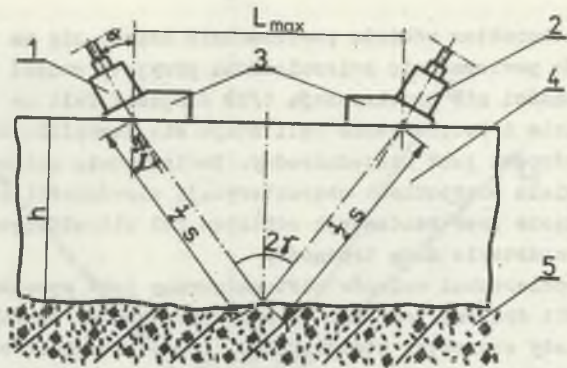
Charakter powierzchni ociosów zdeterminowany jest sposobem drażenia wyrobiska. Jeśli drażone jest ono metodą strzelniczą, nierówności ociosów zawsze będą miały charakter statystyczny, różna natomiast będzie ich wysokość  $h$ . Rozmiary nierówności zależą z jednej strony od rodzaju skał, w których prowadzone jest wyrobisko, ich własności fizyko-mechanicznych, warunków górniczo-geologicznych, kłiważu, płaszczyzn uławicenia, pęknięć, pustek itp., a z drugiej strony od sposobu prowadzenia roboty strzelniczej; jak wykazały badania, wielkość nierówności może się zmieniać od 12 cm do 50 cm. Nierówności ociosów wyrobisk górniczych o charakterze periodycznym są skutkiem zastosowania do urabiania maszyn. Przy urabianiu kombajnem charakter otrzymanych powierzchni zależy głównie od organu urabiającego i własności górniczo-geologicznych skał. Powierzchnia ociosów wyrobisk prowadzonych kombajnem PK-6 składa się z koncentrycznych rowków na całej powierzchni wyrobiska. Charakter powierzchni ociosu wskutek działalności eksploatacyjnej kopalni powodujący deformacje skał wokół obudowy, powstawanie szczelin, pustek może z biegiem czasu zmieniać się.

### 3.2.3.3. Zastosowanie metody "V" do badania górniczych obudów kamiennych

Zasadniczą ideą ultradźwiękowej metody "V" [19] jest realizacja pomiaru prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w warunkach dostępu do jednej płaszczyzny badanej obudowy (rys. 5). Układ obudowa - ocios, którego ośrodki posiadają różne charakterystyki akustyczne, spełnia warunki do odbicia fali ultradźwiękowej. Odbicie to odbywa się na granicy faz według podanych w rozdziale 3.2.3.2 wzorów. Fala ultradźwiękowa, wprowadzona głowicą nadawczą N pod kątem  $\alpha$  z dostępnej powierzchni obudowy, ulega odbiciu na granicy obudowa ocios i wraca do głowicy odbiorczej (rys. 5).

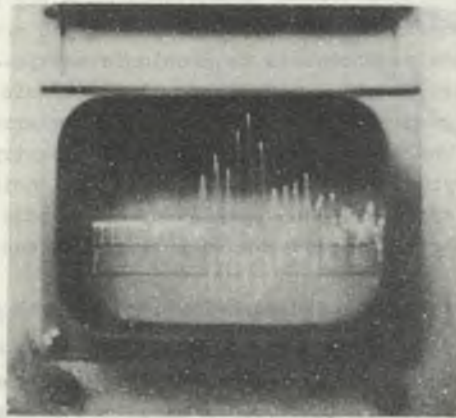
W celu realizacji pomiaru prędkości metodą "V" wykonano nasadki z polimetakrylanu metylu na głowicę nadawczą i odbiorczą, umożliwiające wprowadzenie fali ultradźwiękowej w obudowę pod kątem  $\alpha = 30^\circ$ . W obudowie fala ulega załamaniu i rozchodzi się pod kątem  $\gamma$  według wzoru

$$\sin \gamma = \sin \alpha \frac{v_I}{v_{II}} \quad (1)$$



Rys. 5. Układ głowic pomiarowych w metodzie "V"

Fig. 5. System of measuring heads in a Method "V"



Rys. 5a. Przebieg odebranego sygnału na ekranie betonoskopu

Fig. 5a. Received signal on concretoscope screen

gdzie:

- $\alpha$  - kąt nasadki przyjęto  $\alpha = 30^\circ$ ,
- $\gamma$  - kąt propagacji fali w obudowie,
- $V_L$  - prędkość fali podłużnej w obudowie,
- $V_{LN}$  - prędkość fali podłużnej w polimetakrylienu metylu.

Podstawiając  $V_{LN} = 2730$  m/s i  $\sin 30^\circ = 0,5$  do wzoru (1), otrzymamy:

$$\sin \gamma = \frac{V_L}{5460} \quad (2)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{V_L}{5460} \quad (2a)$$

Wzór ten wskazuje, że kąt  $\gamma$ , pod jakim odbywa się propagacja fali ultradźwiękowej w betonie, jest zależny od prędkości fali podłużnej. Przyjmujemy znany wzór na prędkość fali podłużnej ultradźwiękowej

$$v_L = \frac{S}{t} \quad (3)$$

gdzie:

$s$  - droga fali ultradźwiękowej (rys. 5)  $\frac{1}{2} S + \frac{1}{2} S$ ,  
 $t$  - czas przejścia fali ultradźwiękowej na drodze  $S$ .

i określając drogę  $S$  jako

$$S = \frac{L_{\max}}{\sin \gamma} \quad (4)$$

po podstawieniu do wzoru (2) otrzymamy:

$$S = \frac{L_{\max}}{\frac{v_L}{5460}} \quad (5)$$

Podstawiając wzór na drogę propagacji fali (5) do wzoru na prędkość (3) otrzymujemy po przekształceniu wzór na prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej w badanej obudowie przy zastosowaniu metody "V"

$$v_L = 73,89 \sqrt{\frac{L_{\max}}{t}} \quad (6)$$

Występująca w tym wzorze wielkość  $L_{\max}$  jest odległością pomiędzy osiami głowic, zapewniającą odbiór maksymalnej energii fali. Jak wykazano w rozdziałach 3.2.3.1 i 3.2.3.2, na skutek rozproszenia fali ultradźwiękowej w materiale obudowy oraz na powierzchni odbicia obudowa - ocios, wiązka fali ultradźwiękowej nie jest skoncentrowana. Zmieniając odległość pomiędzy głowicami  $L$ , należy ustalić drogą obserwacji amplitudy odebranej fali ultradźwiękowej miejsce maksymalnej energii w wiązce fali i tę odległość przyjąć jako  $L_{\max}$ . Metoda "V" umożliwia jednoczesny pomiar grubości obudowy, korzystając z wyprowadzonej poniżej zależności. Wzór na odległość osi głowic według rys. 5:

$$L_{\max} = 2 H \operatorname{tg} \gamma \quad (7)$$

podstawiając do wzoru (7) zależność 2a, otrzymujemy

$$L_{\max} = 2H \operatorname{tg} \left( \operatorname{arc} \sin \frac{v_L}{5460} \right), \quad (8)$$

a po przekształceniu grubość obudowy  $h$  wynosi

$$H = \frac{L_{\max}}{2 \operatorname{tg} \left( \operatorname{arc} \sin \frac{v_L}{5460} \right)} \quad (9)$$

Charakterystyka modeli obudów betonowych zastosowanych w badaniach

| Nr serii modelu | Skład betonu                                       | Charakterystyka powierzchni odbijającej fale ultradźwiękowe | Uwagi  |
|-----------------|--|---|--|
| 1               | 2  | 3   | 4  |
| 101             | Kruszywo o ziarnach 0,54 mm<br>C/K = 1:3           | zwierciadlany   | Modele betonowe o różnym uziarnieniu kruszywa do badania tłumienia fali ultradźwiękowej<br>H = 20 cm   |
| 102             | Kruszywo o ziarnach 0,54-1,1 mm<br>C/K = 1:3       |   |  |
| 103             | Kruszywo o ziarnach 2-6,3 mm<br>C/K = 1:3          |   |  |
| 104             |  |   |  |
| 201             | C/K = 1:3  | nierówności statyczne                                       | Modele o różnej wysokości nierówności powierzchni odbijającej do badania wpływu tych nierówności na prędkość fali ultradźwiękowej<br>h = 20:25 |
| 202             | Kruszywo o uziarnieniu 0-20 mm<br>wg PN-63/B-06250 | h = 2 cm  |  |
| 203             |  | h = 6,5 cm  |  |
| 204             |  | h = 6,0 cm  |  |
|                 |  | h = 8,0 cm  |  |
| 301             | jak wyżej  | zwierciadlany   | Grubość modeli   |
| 302             |  |   | H = 30 cm  |
| 303             |  |   | H = 32 cm<br>H = 40 cm<br>Modele o różnych grubościach   |
| 401             | Kruszywo C/K=1:1<br>0-20 cm                        | zwierciadlany   | Model z betonu o różnym stosunku C/K dla<br>H = 21 cm  |
| 402             | C/K=1:2  |   |  |
| 403             | C/K=1:4  |   |  |
| 404             | C/K=1:5  |   |  |
| 405             | C/K=1:6  |   |  |
| 501             | C/K = 1:3  | zwierciadlany   | Modele do sprawdzenia dokładności pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej metodą V.<br>H = 20-24 cm   |
| 502             | Kruszywo<br>0,20 mm<br>wg<br>PN-63/B-06250         |   |  |
| 503             |  |   |  |
| 504             |  |   |  |
| 505             |  |   |  |
| 506             |  |   |  |
| 507             |  |   |  |
| 508             |  |   |  |
| 509             |  |   |  |
| 510             |  |   |  |

Uwaga: Ilość wody zarobowej w betonie przyjmowano wg tabeli Sterna dla betonu plastycznego.



Tablica 2

Zestawienie pomiarów prędkości fali ultradźwiękowej metodą przepuszczania i metodą "γ"

| Nr serii modelu | $V_L$<br>m/s | $V_{L,\gamma}$<br>m/s | $V_L$<br>% |
|-----------------|--------------|-----------------------|------------|
| 101             | 3100         | 3115                  | -0,48      |
| 102             | 3350         | 3300                  | 1,42       |
| 103             | 3375         | 3370                  | 0,15       |
| 104             | 3400         | 3375                  | 0,75       |
| 201             | 3400         | 3435                  | -1,03      |
| 202             | 3430         | 3430                  | 0          |
| 203             | 3440         | 3460                  | -0,58      |
| 204             | 3440         | 3370                  | 2,04       |
| 301             | 3440         | 3500                  | -1,74      |
| 302             | 3440         | 3415                  | 0,73       |
| 303             | 3440         | 3475                  | -1,02      |
| 401             | 3456         | 3420                  | 1,04       |
| 402             | 3460         | 3500                  | -1,16      |
| 403             | 3470         | 3420                  | 1,44       |
| 404             | 3470         | 3490                  | -0,58      |
| 405             | 3520         | 3535                  | -0,42      |
| 501             | 3522         | 3535                  | -0,25      |
| 502             | 3530         | 3505                  | 0,71       |
| 503             | 3530         | 3535                  | -0,14      |
| 504             | 3534         | 3535                  | -0,03      |
| 505             | 3550         | 3510                  | 1,13       |
| 506             | 3600         | 3595                  | 0,14       |
| 507             | 3615         | 3600                  | 0,42       |
| 508             | 3630         | 3635                  | -0,14      |
| 509             | 3630         | 3660                  | -0,48      |
| 510             | 3640         | 3640                  | 0          |

Wyniki pomiarów grubości modeli obudowy metodą "V"

| Nr<br>serii<br>bloku | $V_{L_v}$<br>m/s | $L_{max}$<br>cm | $H_{rzecz}$<br>cm | H<br>cm | $\Delta H = \frac{H_{rzecz} - H}{H_{rzecz}}$ |
|----------------------|------------------|-----------------|-------------------|---------|--|
| 101                  | 3115             | 30,0            | 20,5              | 21,7    | -5,8   |
| 102                  | 3300             | 34,0            | 20,5              | 21,6    | -5,4   |
| 103                  | 3370             | 31,0            | 31,0              | 19,8    | +1,0   |
| 104                  | 3375             | 34,5            | 20,5              | 21,9    | -6,8   |
| 201                  | 3435             | 32,0            | 20,0              | 19,8    | +1,0   |
| 202                  | 3430             | 34,5            | 21,0              | 21,4    | +4,7   |
| 203                  | 3460             | 35,0            | 22,0              | 21,9    | +0,5   |
| 204                  | 3370             | 40,5            | 25,0              | 25,8    | -3,2   |
| 301                  | 3500             | 48,0            | 30,0              | 28,9    | +3,7   |
| 302                  | 3415             | 50,0            | 32,0              | 31,3    | +2,9   |
| 303                  | 3475             | 63,0            | 40,0              | 38,2    | +4,5   |
| 401                  | 3420             | 37,5            | 21,5              | 23,4    | -8,8   |
| 402                  | 3500             | 38,0            | 21,5              | 22,8    | -6,0   |
| 403                  | 3420             | 37,0            | 21,5              | 22,9    | +4,4   |
| 404                  | 3490             | 37,0            | 21,5              | 22,3    | -3,7   |
| 405                  | 3535             | 35,0            | 21,0              | 20,6    | +1,9   |
| 501                  | 3522             | 38,0            | 21,5              | 22,5    | -4,7   |
| 502                  | 3505             | 36,5            | 22,5              | 21,5    | +4,4   |
| 503                  | 3535             | 36,0            | 22,0              | 21,5    | +2,3   |
| 504                  | 3535             | 36,0            | 22,0              | 21,5    | +2,3   |
| 505                  | 3510             | 40,0            | 23,0              | 23,9    | -3,9   |
| 506                  | 3595             | 38,0            | 25,5              | 27,6    | -8,2   |
| 507                  | 3600             | 37,5            | 22,0              | 21,4    | +4,7   |
| 508                  | 3635             | 37,5            | 22,0              | 21,0    | +5,5   |
| 509                  | 3660             | 35,0            | 25,0              | 24,8    | +0,8   |
| 510                  | 3640             | 37,0            | 21,5              | 20,6    | +4,2   |

W celu realizacji badań laboratoryjnych wykonano modele obudów betonowych o wymiarach 450 x 200 x H. Wysokość H była zmienna od 200-400 mm.

Modele wykonano na cemencie portlandzkim 250 według danych zawartych w tabelicy 1.

Badania rozpoczęto po upływie 32 dni od chwili wykonania modeli, które przechowywane były w stanie powietrzno-wilgotnym. Dla każdego bloku mierzono prędkość metodą przepuszczania oraz metodą "V", wyniki pomiarów zestawiono w tabelicy 2. Dla każdego modelu obliczono względną procentową odchyłkę prędkości według wzoru

$$\Delta V_L = \frac{V_L - V_{LV}}{V_L} \cdot 100\%$$

gdzie:

$\Delta V_L$  - względna procentowa odchyłka prędkości,

$V_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej pomierzona metodą przepuszczania,

$V_{LV}$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej pomierzona metodą V.

Analizując wielkości względnej procentowej odchyłki prędkości stwierdzamy, że największa jej wartość wynosi 2,04%, podczas gdy większość wyników waha się w granicach 1%. Błąd względny określenia prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej wynosi do 3%, a więc wartość względnej procentowej odchyłki prędkości (tabelica 2) mieści się w granicach błędu pomiarowego [19].

W praktycznym więc zastosowaniu metody "V" przyjmujemy, że mierzona wartość prędkości jest identyczna z wartością pomierzona metodą przepuszczania. Pozwala to na stosowanie metody przepuszczania do wyznaczenia krzywej skalowania  $R_c = f(V_L)$ .

Modele serii 200 (tabelica 1) posiadają zamodelowaną powierzchnię ociosu o nierównościach statystycznych. Wyniki pomiarów prędkości w tej serii modeli (tabelica 2) nie wykazują większych różnic w porównaniu z modelami o powierzchni zwierciadlanej.

Jak wykazano wcześniej, zastosowanie metody "V" pozwala na obliczenie grubości obudowy według podanego wzoru (9). Dla potwierdzenia słuszności metody obliczeń grubości obudowy przeprowadzono pomiary na modelach obudów, których wyniki zamieszczono w tabelicy 3. Miara dokładności metody obliczania grubości obudowy jest względna procentowa odchyłka grubości określona wzorem

$$\Delta H = \frac{H_{\text{rzecz}} - H}{H_{\text{rzecz}}} \cdot 100\% \quad (11)$$

gdzie:

- $\Delta H$  - względna procentowa odchyłka grubości,
- $H_{rzecz}$  - rzeczywista grubość obudowy,
- $H$  - grubość obudowy.

Stwierdzono, że w zakresie grubości modeli obudowy od 20 do 60 cm maksymalna względna odchyłka grubości wynosi 8,3%, największa natomiast odchyłka grubości wynosi około 2 cm.

Przy zastosowaniu metody "V" (rys. 5) do badania górniczej obudowy murowej rozchodzą się w niej następujące rodzaje fal: podłużna L, poprzeczna T i powierzchniowa S. Prędkości tych fal obliczamy według wzorów:

$$V_L = \sqrt{\frac{E_d(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (11a)$$

$$V_T = \sqrt{\frac{E_d}{2\rho(1+\nu)}}, \quad (11b)$$

$$V_S = \frac{0.87 + 1.12\nu}{1 + \nu} \cdot \sqrt{\frac{E_d}{2(1-\nu)}}. \quad (11c)$$

gdzie:

- $V_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $V_T$  - prędkość poprzecznej fali ultradźwiękowej,
- $V_S$  - prędkość powierzchniowej fali ultradźwiękowej,
- $E_d$  - dynamiczny moduł sprężystości,
- $\nu$  - dynamiczna liczba Poissona,
- $\rho$  - gęstość.

Wzajemne stosunki tych prędkości określamy nierównościami

$$V_L > V_T > V_S \quad (11d)$$

W układzie głowic pomiarowych, jak na rys. 5, do głowicy odbiorczej najpierw dociera fala powierzchniowa S, która choć najwolniejsza [16], ma do pokonania najmniejszą drogę  $L_{max}$ , tj. odległość pomiędzy głowicą nadawczą i odbiorczą (rys. 5).

Ze względu na znacznie szybsze tłumienie fali powierzchniowej niż innych rodzajów fal, w funkcji odległości posiada ona niewielką amplitudę, jest to pierwsza grupa impulsów obserwowanych na lampie oscyloskopowej betonoskopu (rys. 5a).

Fale, podłużna L i poprzeczna T, po przejściu powierzchni granicznej nasadka-obudowa ulegają załamaniu i rozchodzą się w obudowie pod różnymi kątami. Ze względu na nieznaczne tylko różnice w drodze propagacji obu rodzajów fal i fakt, że fala podłużna jest w ciałach stałych o około 50%

szybsza niż fala poprzeczna [33, 16, 20], do głowicy odbiorczej (rys. 5) prędzej dotrze fala podłużna, oczywiście przy uwzględnieniu warunku odbioru maksymalnej energii fali podłużnej na drodze  $L_{max}$ . Fala podłużna obserwowana jest na ekranie lampy oscyloskopowej betonoskopu jako pierwszy impuls z grupy impulsów o dużej amplitudzie. Fala poprzeczna natomiast odbierana jest później i jej przebieg rozkłada się na całą serię odebranych impulsów. Wyodrębnienie fali poprzecznej z obserwowanego na ekranie lampy oscyloskopowej betonoskopu przebiegu impulsów fal jest bardzo trudne, a praktycznie niemożliwe.

W celu określenia prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej konstrukcji obudowy z wykorzystaniem metody "V" według wzoru (6) należy dokonać odczytu czasu przejścia fali ultradźwiękowej z betonoskopu od momentu startu do pierwszego impulsu o wysokiej amplitudzie. Potwierdzeniem słuszności powyższego rozumowania są niewielkie, mieszczące się w granicach błędu pomiarowego prędkości, odchyłki (tablica 2) pomiędzy prędkością określoną metodą "V" i metodą przepuszczania.

#### 3.2.3.4. Zasady stosowania metody "V"

Aby określić wytrzymałość i grubość obudowy betonowej w warunkach eksploatacyjnych, należy przyjąć następujący tok postępowania:

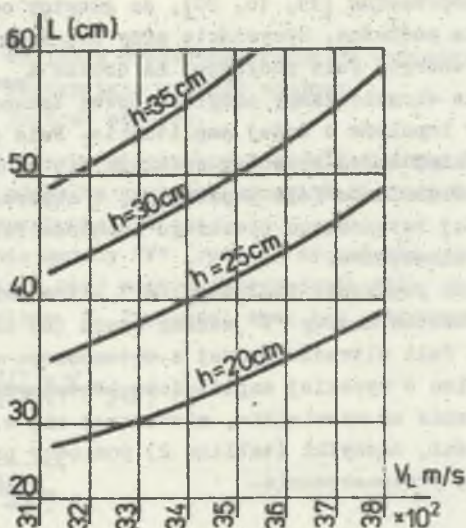
A. Ustalić orientacyjną odległość  $L$  pomiędzy głowicami - nadawczą i odbiorczą. W tym celu należy skorzystać z wykresu przedstawionego na rys. 6, który ujmuje zależności pomiędzy odległością głowic na powierzchni badanej obudowy, grubością obudowy oraz prędkością podłużnej fali ultradźwiękowej. Wartość grubości należy oszacować wstępnie na podstawie projektu obudowy, natomiast prędkość fali określić z tablicy 4.

B. Przesuwając głowicę odbiorczą po powierzchni betonu obudowy do momentu zaobserwowania na ekranie betonoskopu maksymalnej wiązki impulsów fali odbitej, wyznaczyć odległość  $L_{max}$ . Odległość  $L_{max}$  zapewniająca odbiór maksymalnej energii fali odbitej od skał ociosu, należy uznać za obliczeniową.

Tablica 4

Orientacyjne zależności jakości betonu od prędkości fali ultradźwiękowej wg Filipczyńskiego [16]

| Jakość betonu | Prędkość fali podłużnej<br>$V_L$ m/s | Orientacyjna wytrzymałość na ściskanie<br>$R_c$ (MPa) |
|---------------|--------------------------------------|---|
| Bardzo zła    | 2000                                 | -   |
| Zła           | 2000-3000                            | do 4  |
| Niezbyt dobra | 3000-3500                            | do 10   |
| Dobra         | 3500-4000                            | do 25   |
| Bardzo dobra  | 4000-4500                            | do 40   |
| Doskonała     | > 4500                               | ponad 40  |



Rys. 6. Zależność  $L = f(V_{Lo})_{h=\text{const}}$  dla wstępnego ustalenia odległości pomiędzy głowicami

Fig. 6. Dependence  $L = f(V_{Lo})_{h=\text{const}}$  for preliminary determination of the distance between heads

C. Dokonać pomiaru czasu  $t$  przejścia fali ultradźwiękowej na drodze  $s$  przy  $L_{\text{max}}$  licząc go do pierwszego impulsu o dużej amplitudzie.

D. Wyznaczyć prędkość fali ultradźwiękowej w obudowie według wzoru

$$V_L = a \sqrt{\frac{L_{\text{max}}}{t}}, \quad (12)$$

gdzie:

$a$  - współczynnik zależny od kąta nasadki oraz od prędkości fali ultradźwiękowej w polimetakrylanie metylu.

W badaniach, gdzie zastosowano kąt  $\alpha = 30^\circ$  dla nasadki z polimetakrylanu metylu, wartość " $a$ " wynosiła 73,89 (wzór 6). Tablica 5 podaje wartości " $a$ " dla różnych kątów nasadek z polimetakrylanu metylu.

Tablica 5

Wartości współczynnika " $a$ " dla różnych kątów nasadek z polimetakrylanu metylu

| $\alpha$ | $15^\circ$ | $30^\circ$ | $35^\circ$ | $60^\circ$ |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| $a$      | 102,8      | 73,89      | 60,98      | 56,14      |

E. Wartość doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy wyznaczamy z odpowiedniej krzywej skalowania  $R_c = f(V_L)$ .

F. Dokładną wartość grubości obudowy  $H$  wyznaczamy wzorem

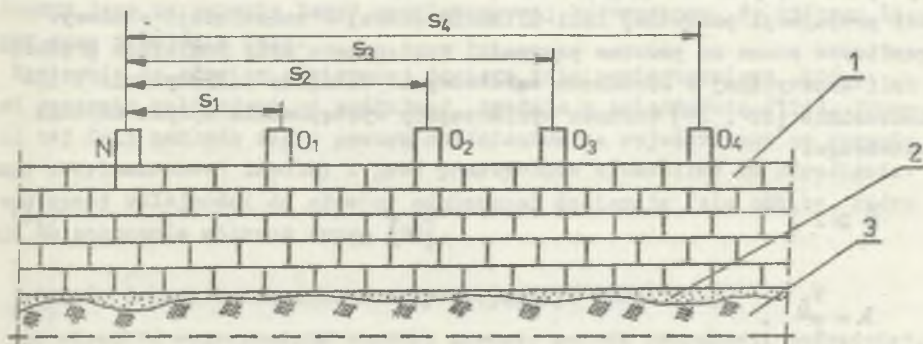
$$H = \frac{L_{\max}}{2 \operatorname{tg}(\arcsin \frac{V_L}{5460})} \quad (13)$$

Metoda "V" pomiaru wytrzymałości i grubości obudów górniczych znajduje zastosowanie głównie do obudów betonowych, gdyż w obudowach murowych ceglanych i betonitowych występuje dodatkowe osłabienie natężenia fali ultradźwiękowej, utrudniające jej rejestrację, jest to spowodowane kolejnymi odbiciami fali na granicach spoina - cegła (betonit).

Pomiar prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej z zastosowaniem metody "V" wymaga precyzyjnego przemieszczenia głowicy odbiorczej po powierzchni obudowy, czynności te są trudne i niebezpieczne w warunkach utrudnionego dostępu do powierzchni obudowy szybu. Metoda "V" znajduje więc zastosowanie głównie do pomiaru grubości i wytrzymałości betonowych obudów wyrobisk korytarzowych i komorowych.

### 3.2.3.5. Metoda propagacji pośredniej

Metoda propagacji pośredniej (rys. 7) polega na pomiarze prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie z wykorzystaniem jednej dostępnej płaszczyzny bez stosowania nasadek kątowych na głowice pomiarowe. W metodzie propagacji pośredniej głowica nadawcza  $N$  (rys.7) generuje w konstrukcji obudowy pole akustyczne. Zasadnicza część energii pola akustycznego ukierunkowana jest w głąb obudowy w płaszczyźnie prostopadłej do głowicy nadawczej.



Rys. 7. Układ głowic pomiarowych w metodzie propagacji pośredniej  
 1 - obudowa murowa, 2 - podsadzka, 3 - górotwór, M - głowica nadawcza  
 Fig. 7. System of measuring heads in a method of indirect propagation  
 1 - brick lining, 2 - packing, 3 - rock, M - transmitting head

W płaszczyźnie równoległej ukierunkowana jest nieznaczna tylko część energii, tj. około 2-3% mocy sygnału akustycznego [32], co ogranicza czułość metody. Dodatkowym utrudnieniem, występującym przy stosowaniu metody propagacji pośredniej, jest konieczność traktowania układu obudowa-górotwór jako ośrodka warstwowego, mogącego zmienić warunki pomiaru.

Z tych też względów metoda propagacji pośredniej, aczkolwiek zalecana przez Międzynarodową Unię Laboratoriów Materiałów i Konstrukcji (RILEM) w Paryżu [26], może znaleźć zastosowanie tylko w ściśle określonych warunkach, które dla obudów murowych należało ustalić. Metoda propagacji pośredniej polega na pomiarze czasu przejścia fali na drogach  $S_1, S_2, S_3, S_4$  (rys. 7). Następnie obliczamy  $V_{L1}, V_{L2}, V_{L3}, V_{L4}$  według wzoru

$$V_L = \frac{L}{(t - t_1)} \quad (13a)$$

gdzie:

- $V_L$  - prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $L$  - droga propagacji fali ultradźwiękowej,
- $t$  - czas przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej,
- $t_1$  - opóźnienie na warstwie sprzęgającej.

Dla każdego punktu pomiarowego określamy prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej jako wartość średnią z czterech pomiarów prędkości, która służy do określenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy z zależności  $R_c = f(V_L)$ .

Układ obudowa-górotwór jest ośrodkiem warstwowym, w którym może wystąpić zmiana cech kinetycznych i dynamicznych pola akustycznego, wyrażająca się między innymi zmianą prędkości propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie. Wystąpienie wpływu ośrodka warstwowego dyskwalifikowałoby tę metodę pomiarową, gdyż mierzona prędkość nie odpowiadałaby prędkości propagacji podłużnej fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy. W geofizyce znane są podobne przypadki występujące przy pomiarach prędkości fali akustycznej w ośrodkach warstwowym. Ustalono teoretycznie i doświadczalnie [22, 29] warunek wykluczający występowanie wpływu ośrodka warstwowego:

$$\frac{H}{\lambda} \geq 2, \quad (14)$$

$$\lambda = \frac{V_L}{f}, \quad (15)$$

gdzie:

- $H$  - grubość warstwy (obudowy),
- $\lambda$  - długość fali,
- $f$  - częstotliwość fali.



Pomiary prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej metodą pośrednią wykazały, że na niewielkich bazach pomiarowych wyniki prędkości fali są niejednorodne. Literatura z zakresu geofizyki [17, 28] podaje warunek minimalnej bazy pomiarowej.

$$S_{\min} \geq 1,5\lambda \quad (16)$$

gdzie:

$S_{\min}$  - minimalna baza pomiarowa,  
 $\lambda$  - długość fali.

Warunki opisane powyższymi wzorami znalazły pełne potwierdzenie w przypadku metody propagacji pośredniej, limitując jednocześnie dobór częstotliwości generowanej fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy oraz minimalnej bazy pomiarowej  $S_{\min}$ .

Na podstawie badań laboratoryjnych [19] ustalono minimalną  $V_{L_{\min}} = 1000$  m/s i maksymalną  $V_{T_{\max}} = 5000$  m/s prędkość fali w obudowie górniczej, co przy częstotliwości pracy głowicy nadawczej  $f = 250$  kHz daje długość fali w obudowie odpowiednio od 0,4 do 2,0 cm. Dla obudów murowych warunki opisane wzorami (14) i (16) spełnione są więc dla częstotliwości generowanej fali ultradźwiękowej  $f = 250$  kHz i minimalnej odległości pomiarowej  $S_{\min} = 8$  cm.

Przy zastosowaniu metody propagacji pośredniej (rys. 7) do badania górniczych obudów murowych mamy do czynienia z następującymi rodzajami fal: podłużną L, poprzeczną T i powierzchniową S. Prędkości tych fal określają wcześniej podane wzory (11a), (11b), (11c).

W układzie głowic jak na rys. 7, do głowicy odbiorczej najpierw dociera podłużna fala ultradźwiękowa, która zgodnie z zależnością (11d) jest falą o największej prędkości propagacji; jest to pierwszy impuls, jaki widoczny jest na ekranie lampy oscyloskopowej betonoskopu, do którego liczymy czas przejścia fali.

Następnie do głowicy odbiorczej dociera fala powierzchniowa, która jest znacznie wolniejsza od podłużnej, zgodnie z zależnością (11d). Przebieg tej fali nakłada się z pewnym opóźnieniem na rejestrowane na ekranie lampy oscyloskopowej impulsy i jest praktycznie niemożliwy do określenia. W następnej kolejności do głowicy odbiorczej docierają fale odbite, które mają do pokonania większą drogę [28].

### 3.2.3.6. Zasady stosowania metody propagacji pośredniej

Aby określić wytrzymałość obudowy murowej metodą propagacji pośredniej, należy dokonać pomiaru czasu przejścia fali na drogach  $S_1, S_2, S_3, S_4$  (rys. 7). Następnie ze wzoru (13a) obliczamy:  $V_{L_1}, V_{L_2}, V_{L_3}, V_{L_4}$ .

Dla każdego punktu pomiarowego określamy prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej, jako wartość średnią z czterech pomiarów prędkości, która służy do ustalenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy z zależności  $R_c = f(V_L)$ .

W celu uzyskania prawidłowych wyników należy zapewnić spełnienie następujących warunków [22, 29]:

$$\frac{H}{\lambda} \geq 2,$$

$$S_{\min} \geq 1,5\lambda.$$

Warunki te dla obudowy murewej spełnione są dla częstotliwości fali ultradźwiękowej  $f=250$  kHz i minimalnej odległości pomiarowej  $S_{\min} = 8$  cm. Doświadczalnie ustalono, że pomiar wytrzymałości z zastosowaniem typowych betonoskopów odnosi się do warstwy obudowy o grubości około 40-50 cm, co jest zgodne z informacją literaturową [22]. Metoda propagacji pośredniej znajduje zastosowanie do obudów murowanych ceglanych i betonitowych oraz badania obudów betonowych i żelbetonowych. Zasadniczą zaletą metody propagacji pośredniej jest prosty i szybki pomiar czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej w obudowie, pozwala to na stosowanie jej w warunkach budownictwa szybowego. Wadą tej metody jest fakt, że nie umożliwia ona wykonania pomiaru grubości obudowy metodą nieniszcząca. Czulość metody jest ograniczona niewielką mocą sygnału akustycznego, rozchodzącego się od głowicy nadawczej do głowicy odbiorczej. Stosując metodę propagacji pośredniej w warunkach budownictwa szybowego, należy poprawić jej czulość drogą zwiększenia mocy sygnału akustycznego fali ultradźwiękowej, generowanej przez głowicę nadawczą aparatury pomiarowej.

### 3.2.3.7. Określenie krzywych skalowania

W rozdziałach poprzednich omówiono metody pomiaru prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w murowych obudowach górniczych, określenie krzywej skalowania, czyli wyznaczenie zależności  $R_c = f(V_L)$  obowiązującej dla danego rodzaju obudowy, pozwoli na dokładne określenie doraźnej wytrzymałości na ściskanie.

Określenie krzywych skalowania, tj. zależności  $R_c = f(V_L)$ , polega na przeprowadzeniu badań ultradźwiękowych (pomiar prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej  $V_L$ ) i wytrzymałościowych (pomiar doraźnej wytrzymałości na ściskanie  $R_c$ ) na odpowiedniej liczbie próbek. W celu otrzymania zależności  $R_c = f(V_L)$  przeprowadzono statystyczną analizę korelacyjną wyników badań. Badania ultradźwiękowe wykonano betonoskopem BI-8R, stosując głowice pomiarowe o częstotliwości 250 kHz. Oznaczenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie próbek obudów dokonano w prasie hydraulicznej o sile nacisku 100 T. Do statystycznej analizy korelacyjnej wyników badań zastosowano następujące postacie równań regresji:

- |                  |                               |
|------------------|-------------------------------|
| 1) liniowe       | $R_c = a V_L + b$ ,           |
| 2) potęgowe      | $R_c = b V_L^a$ ,             |
| 3) wykładnicze   | $R_c = e^{a V_L} + b$ ,       |
| 4) logarytmiczne | $R_c = a \ln V_L + b$ ,       |
| 5) paraboliczne  | $R_c = a V_L^2 + b V_L + c$ . |

W celu określenia parametrów równań regresji zastosowano metodę najmniejszych kwadratów, polegającą na założeniu, aby suma kwadratów odchyleń była minimalna.

Ścisłość korelacji określa stopień wzajemnego powiązania analizowanych własności. Liczbową miarą ścisłości korelacji jest współczynnik korelacji [3]

$$S_X(x) = \frac{\sigma(Y)}{\sigma_Y} \quad (17)$$

gdzie:

$\sigma(Y)$  - odchylenie standardowe obliczonych wartości  $Y$  określone ze wzoru

$$\sigma(Y) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum m_x Y^2 - y^2} \quad (18)$$

gdzie:

$m_x$  - częściowa suma względna zmiennej  $y$  przy stałym  $x$ ,

$$m_x = \sum_y m_{xy}$$

$\sigma_y$  - odchylenie standardowe zmiennej  $y$ ,

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum m_y y^2 - y^2} \quad (19)$$

gdzie:

$m_y$  - częściowa suma względem zmiennej  $x$  przy stałym  $y$ ,

$$m_y = \sum_x m_{xy}$$

Ścisłość korelacji jest tym większa, im wielkość współczynnika korelacji, określonego wzorem (17) jest bardziej zbliżona do jedności. Obliczenia statystycznej analizy korelacyjnej wykonano na elektronicznej maszynie cyfrowej ODRA 1204.

W celu określenia niezbędnej liczby próbek posłużono się zależnością [3]

$$n = \frac{t^2 \sigma^2}{Q} \quad (20)$$

gdzie:

- n - niezbędna liczby próbek,
- t - współczynnik ufności dla rozkładu normalnego i poziomu ufności  $\alpha = 0,97$ ,  $t = 1,65$ ,
- Q - 26,
- $\sigma$  - odchylenie standardowe.

Ustalono [19], że wskaźnik zmienności wytrzymałości betonu zmienia się w zakresie 5-20%, przyjmując  $\sigma = 20\%$  i  $t = 1,65$  otrzymujemy według [20] minimalną liczbę próbek

$$n = \frac{1,65^2 \cdot 20^2}{2 \cdot 26} \approx 28$$

Krzywe skalowania określono dla obudów murowanych, ceglanych i betonowych oraz betonowych. Dla obudów murowanych, ceglanych skalowanie przeprowadzono dla modeli obudów wykonanych z cegieł klasy 150, 250, 350 na zaprawach marek 60, 80, 100 [19]. Wyniki pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych zestawiono łącznie w tablicy 6, natomiast wyniki statystycznej analizy korelacyjnej zestawiono w tablicy 13. Uzyskane tą drogą krzywe skalowania nie mogą mieć zastosowania dla obudów murowych ceglanych wyrobisk, wykonanych przed kilkudziesięciu laty, ze względu na zmianę parametrów wytrzymałościowych, spowodowaną:

- brakiem stosowanych wtedy materiałów konstrukcyjnych, takich jak: cegła, zaprawa,
- trudnością zamodelowania w warunkach laboratoryjnych wpływu czasu na wytrzymałość obudowy,
- długotrwałym wpływem agresywnego środowiska na konstrukcję obudowy,
- brakiem znajomości receptur i technologii wykonawstwa.

W celu uzyskania krzywych skalowania przydatnych dla szybowych obudów ceglanych o bardzo długim czasie eksploatacji pobierano próbki z istniejących obudów szybowych kopalni głównie GOP (tablica 7 i 8). Z obudowy szybowej wykrywano młotkami pneumatycznymi bryłę obudowy, z której za pomocą pił diamentowych wycinano prostopadłościenną próbkę obudowy o wymiarach 160 x 160 x 160 mm.

Na próbkach prowadzono badania ultradźwiękowe i wytrzymałościowe w celu ustalenia dwóch krzywych skalowania dla szybowych obudów murowych o bardzo długim czasie eksploatacji. Wyniki obliczeń statystycznych, analizy korelacyjnej dla przykładów I i II przedstawiono w tablicy 14.

Tablica 6

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywych skalowania dla obudów murowych ceglanych

| Lp. | Marka zaprawy | Cegła klasy 150 |              | Cegła klasy 250 |              | Cegła klasy 350 |              |
|-----|---------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
|     |               | $V_L$<br>m/s    | $R_C$<br>MPa | $V_L$<br>m/s    | $R_C$<br>MPa | $V_L$<br>m/s    | $R_C$<br>MPa |
| 1   | 2             | 3               | 4            | 5               | 6            | 7               | 8            |
| 1   | 100           | 2180            | 8,9          | 2820            | 14,9         | 3196            | 20,9         |
| 2   | 100           | 2220            | 8,4          | 2740            | 14,5         | 3040            | 20,0         |
| 3   | 100           | 2120            | 7,8          | 2760            | 13,4         | 3110            | 19,4         |
| 4   | 100           | 2190            | 7,4          | 2620            | 13,1         | 2950            | 19,0         |
| 5   | 100           | 2040            | 7,0          | 2640            | 12,2         | 2990            | 18,2         |
| 6   | 100           | 2000            | 6,5          | 2760            | 15,2         | 2060            | 18,2         |
| 7   | 100           | 2040            | 6,2          | 2720            | 13,9         | 3110            | 19,0         |
| 8   | 100           | 2010            | 7,5          | 2590            | 12,5         | 3000            | 18,5         |
| 9   | 100           | 2080            | 6,7          | 2700            | 12,8         | 2820            | 19,0         |
| 10  | 100           | 2180            | 7,7          | 2840            | 13,3         | 3010            | 20,2         |
| 11  | 100           | 1900            | 6,1          | 2500            | 12,2         | 2910            | 18,6         |
| 12  | 180           | 1980            | 5,8          | 2160            | 9,5          | 2490            | 16,2         |
| 13  | 80            | 1800            | 5,8          | 2220            | 10,3         | 2830            | 17,5         |
| 14  | 80            | 1820            | 5,1          | 2480            | 11,7         | 2650            | 17,3         |
| 15  | 80            | 1780            | 5,0          | 2460            | 11,0         | 2710            | 16,6         |
| 16  | 80            | 1960            | 5,4          | 2340            | 10,3         | 2600            | 16,8         |
| 17  | 80            | 1720            | 4,4          | 2290            | 11,0         | 2720            | 16,5         |
| 18  | 80            | 1580            | 4,2          | 2540            | 11,3         | 2540            | 16,3         |
| 19  | 80            | 1700            | 5,0          | 2160            | 9,9          | 2580            | 16,1         |
| 20  | 80            | 1980            | 5,7          | 2420            | 11,5         | 2620            | 16,4         |
| 21  | 80            | 1980            | 5,0          | 2290            | 9,5          | 2760            | 17,7         |
| 22  | 80            | 1660            | 4,7          | 2330            | 11,3         | 2790            | 17,0         |
| 23  | 60            | 760             | 2,7          | 1140            | 7,8          | 2420            | 15,5         |
| 24  | 60            | 960             | 2,5          | 1200            | 8,1          | 2310            | 15,2         |
| 25  | 60            | 1100            | 2,8          | 1400            | 8,0          | 2260            | 14,6         |
| 26  | 60            | 1300            | 2,8          | 1490            | 8,3          | 2110            | 14,3         |
| 27  | 60            | 1390            | 3,6          | 1600            | 8,2          | 1500            | 13,5         |
| 28  | 60            | 1590            | 3,7          | 1790            | 8,8          | 1640            | 13,6         |
| 29  | 60            | 1480            | 3,5          | 1940            | 8,7          | 1990            | 14,2         |
| 30  | 60            | 1290            | 3,5          | 2010            | 9,3          | 2160            | 14,7         |
| 31  | 60            | 1340            | 3,1          | 2110            | 9,0          | 2190            | 14,1         |
| 32  | 60            | 1220            | 2,4          | 2010            | 9,1          | 2010            | 14,0         |
| 33  | 60            | 1220            | 2,6          | 1640            | 8,2          | 1820            | 14,3         |

Tablica 7

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywej skalowania dla obudów szybowych ceglanych o bardzo długim okresie eksploatacji - przykład I

| Lp. | Kopalnia            | Szyb<br>rok zgłębnienia | R <sub>c</sub><br>MPa | V <sub>L</sub><br>m/s |
|-----|---------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1   | 2                   | 3                       | 4                     | 5                     |
| 1   | Rozbark             | Bończyk - 1865          | 9,3                   | 2177                  |
| 2   | Rozbark             | Bończyk - 1865          | 14,9                  | 2650                  |
| 3   | Rozbark             | Bończyk - 1865          | 9,6                   | 2178                  |
| 4   | Pstrowski           | Mieczysław - 1900       | 14,0                  | 2540                  |
| 5   | Katowice            | Bartosz - 1834          | 24,0                  | 3417                  |
| 6   | Pstrowski           | Mieczysław - 1900       | 20,0                  | 3200                  |
| 7   | Pstrowski           | Mieczysław - 1900       | 17,1                  | 2907                  |
| 8   | Katowice            | Bartosz - 1834          | 12,0                  | 2230                  |
| 9   | Katowice            | Bartosz - 1834          | 8,8                   | 1961                  |
| 10  | Katowice            | Bartosz - 1834          | 10,9                  | 2210                  |
| 11  | Czerwone Zagłębie   | Jadwiga - 1912          | 10,3                  | 2110                  |
| 12  | Czerwone Zagłębie   | Jadwiga - 1912          | 12,1                  | 2449                  |
| 13  | Czerwone Zagłębie   | Jadwiga - 1912          | 14,2                  | 2666                  |
| 14  | Barbara - Chorzów   | Wyzwolenie II - 1903    | 13,5                  | 2590                  |
| 15  | Barbara - Chorzów   | Wyzwolenie II - 1903    | 12,0                  | 2550                  |
| 16  | Rozbark             | Bończyk - 1865          | 16,2                  | 2820                  |
| 17  | Rozbark             | Bończyk - 1865          | 10,4                  | 2210                  |
| 18  | Rozbark             | Bończyk - 1865          | 14,8                  | 2690                  |
| 19  | Rozbark             | Bończyk - 1865          | 21,7                  | 3200                  |
| 20  | Czerwone Zagłębie   | Jadwiga - 1912          | 16,3                  | 3082                  |
| 21  | Barbara Chorzów     | Wyzwolenie I - 1905     | 17,2                  | 2860                  |
| 22  | Barbara Chorzów     | Wyzwolenie I - 1905     | 11,8                  | 2420                  |
| 23  | Barbara Chorzów     | Wyzwolenie I - 1905     | 7,8                   | 1980                  |
| 24  | Barbara Chorzów     | Wyzwolenie I - 1905     | 17,0                  | 2990                  |
| 25  | Barbara Chorzów     | Wyzwolenie I - 1905     | 14,2                  | 2591                  |
| 26  | Barbara Chorzów     | Wyzwolenie I - 1905     | 11,9                  | 2380                  |
| 27  | Powstańców Śląskich | Wit Stwosz - 1872       | 8,8                   | 1850                  |
| 28  | Powstańców Śląskich | Wit Stwosz - 1872       | 18,8                  | 2950                  |
| 29  | Powstańców Śląskich | Wit Stwosz - 1872       | 16,4                  | 2910                  |
| 30  | Powstańców Śląskich | Wit Stwosz - 1872       | 10,9                  | 2340                  |
| 31  | Siemianowice        | SII - 1935              | 15,7                  | 2610                  |
| 32  | Siemianowice        | SII - 1935              | 11,0                  | 2300                  |
| 33  | Siemianowice        | SII - 1935              | 8,8                   | 1940                  |
| 34  | Siemianowice        | SII - 1935              | 20,2                  | 3040                  |
| 35  | Siemianowice        | SII - 1935              | 11,0                  | 2400                  |
| 36  | Siemianowice        | SII - 1935              | 7,8                   | 1700                  |

cd. tablicy 7

| 1  | 2               | 3                    | 4    | 5    |
|----|-----------------|----------------------|------|------|
| 37 | Sosnowiec       | Anna - 1900          | 7,0  | 1520 |
| 38 | Sosnowiec       | Anna - 1900          | 18,9 | 3140 |
| 39 | Sosnowiec       | Anna - 1900          | 13,8 | 2680 |
| 40 | Sosnowiec       | Anna - 1900          | 15,8 | 2740 |
| 41 | Sosnowiec       | Anna - 1900          | 12,6 | 2380 |
| 42 | Sosnowiec       | Anna - 1900          | 18,4 | 2980 |
| 43 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 19,8 | 3240 |
| 44 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 14,1 | 2660 |
| 45 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 15,6 | 2890 |
| 46 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 9,6  | 2060 |
| 47 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 11,6 | 2360 |
| 48 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 15,6 | 2780 |
| 49 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 13,0 | 2600 |
| 50 | Barbara Chorzów | Wyzwolenie II - 1903 | 9,0  | 2000 |

Tablica 8

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywej skalowania dla szybowych obudów ceglanych o bardzo długim okresie eksploatacji - przykład II

| Lp. | Kopalnia  | Szyb<br>rok zgłębienia | R <sub>c</sub><br>MPa | V <sub>L</sub><br>m/s |
|-----|-----------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1   | 2         | 3                      | 4                     | 5                     |
| 1   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 5,1                   | 1290                  |
| 2   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 8,1                   | 2610                  |
| 3   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 10,9                  | 3090                  |
| 4   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 6,6                   | 2100                  |
| 5   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 5,7                   | 1730                  |
| 6   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 7,4                   | 2440                  |
| 7   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 7,2                   | 2310                  |
| 8   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 6,0                   | 1920                  |
| 9   | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 6,4                   | 2050                  |
| 10  | Dębieńsko | Jan II - 1900          | 6,5                   | 2250                  |
| 11  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 8,0                   | 2510                  |
| 12  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 8,9                   | 2730                  |
| 13  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 9,6                   | 2950                  |
| 14  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 5,4                   | 1590                  |
| 15  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 6,4                   | 1960                  |
| 16  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 7,0                   | 2200                  |
| 17  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 8,3                   | 2680                  |
| 18  | Katowice  | Warszawa - 1863        | 8,3                   | 2650                  |

cd. tablicy 8

| 1  | 2        | 3               | 4    | 5    |
|----|----------|-----------------|------|------|
| 19 | Katowice | Warszawa - 1863 | 5,5  | 1450 |
| 20 | Katowice | Warszawa - 1863 | 7,5  | 2380 |
| 21 | Bobrek   | Józef - 1908    | 8,6  | 2560 |
| 22 | Bobrek   | Józef - 1908    | 6,4  | 2160 |
| 23 | Bobrek   | Józef - 1908    | 6,3  | 1850 |
| 24 | Bobrek   | Józef - 1908    | 9,6  | 2850 |
| 25 | Bobrek   | Józef - 1908    | 10,1 | 3040 |
| 26 | Bobrek   | Józef - 1908    | 7,8  | 2480 |
| 27 | Bobrek   | Józef - 1908    | 8,8  | 2800 |
| 28 | Bobrek   | Józef - 1908    | 7,0  | 2350 |
| 29 | Bobrek   | Józef - 1908    | 5,3  | 1210 |
| 30 | Bobrek   | Józef - 1908    | 7,1  | 2400 |
| 31 | Bobrek   | Józef - 1908    | 9,0  | 2850 |

Tablica 9

Wyniki badań ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywej skalowania dla obudów szybowych wykonanych z betonitów Bsz2 marki 200

| Lp. | Kopalnia        | Szyb<br>rok zagłębienia | R <sub>c</sub><br>MPa | V <sub>L</sub><br>m/s |
|-----|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1   | 2               | 3                       | 4                     | 5                     |
| 1   | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 17,0                  | 4214                  |
| 2   | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 19,1                  | 4453                  |
| 3   | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 20,2                  | 5430                  |
| 4   | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 22,1                  | 4561                  |
| 5   | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 9,1                   | 2910                  |
| 6   | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 10,4                  | 3290                  |
| 7   | Miwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959    | 11,0                  | 3490                  |
| 8   | Miwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959    | 12,4                  | 3740                  |
| 9   | Miwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959    | 13,9                  | 3910                  |
| 10  | Miwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959    | 9,6                   | 3160                  |
| 11  | Miwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959    | 15,1                  | 4190                  |
| 12  | Miwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959    | 17,1                  | 4280                  |
| 13  | Miwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959    | 18,1                  | 4330                  |
| 14  | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 18,5                  | 4390                  |
| 15  | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 17,5                  | 4340                  |
| 16  | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 17,9                  | 4250                  |
| 17  | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 16,3                  | 4220                  |
| 18  | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 12,9                  | 3600                  |
| 19  | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 20,9                  | 4540                  |
| 20  | Andaluzja       | Reymont - 1960          | 15,9                  | 4080                  |



cd. tablicy 9

| 1  | 2               | 3                    | 4    | 5    |
|----|-----------------|----------------------|------|------|
| 21 | Niwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959 | 9,9  | 3410 |
| 22 | Niwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959 | 16,1 | 4270 |
| 23 | Niwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959 | 16,0 | 4550 |
| 24 | Niwka-Modrzejów | Kazimierz III - 1959 | 18,5 | 4360 |

Tablica 10

Zestawienie receptur betonu

| Marka betonu                               | 200                             | 250  | 300  |
|--|---------------------------------|------|------|
| Rodzaj cementu                             | Portlandzki "350"               |      |      |
| Konsystencja betonu                        | Plastyczna                      |      |      |
| Sposób zagęszczenia                        | Wibrowanie na stole wibracyjnym |      |      |
| Stosunek cementu i wody c/w                | 1,61                            | 2,07 | 2,17 |
| Stosunek cementu i kruszywa (pospółka) c/k | 0,13                            | 0,19 | 0,22 |

Dla szybów w obudowie betonitowej opracowano krzywe skalowane dla obudowy wykonanej z betonitów Bsz2 marki 200, badania ultradźwiękowe i wytrzymałościowe wykonano na próbkach obudów o wymiarach 160 x 160 x 160 mm, pobranych z szybów kopalni "Andaluzja" i "Niwka-Modrzejów". Wyniki badań ultradźwiękowych i wytrzymałościowych zestawiono w tablicy 9, natomiast wyniki statystycznej analizy korelacyjnej przedstawiono w tablicy 13.

Krzywe skalowania dla obudów betonowych określono dla betonu marki 200, 250 i 300 produkowanych w Przedsiębiorstwie PREWBET w Rybaku według receptur przedstawionych w tablicy 10. Obecnie obowiązująca norma PN-75-B-06250 uwzględnia klasę betonu, zachowano jednak starą nomenklaturę ze względu na wykorzystanie wyników pomiarów do badań starych konstrukcji betonowych.

Wyniki pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych zestawiono łącznie w tablicy 11, a wyniki obliczeń statystycznych analizy korelacyjnej przedstawiono w tablicy 14.

Ze względu na odmienną recepturę betonów stosowanych do wykonawstwa betonowych obudów szybowych przeprowadzono w Przedsiębiorstwie Budowy Szybów w Bytomiu badania ultradźwiękowe i wytrzymałościowe betonów marek 200 i 250, w celu ustalenia krzywych skalowania. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w tablicy 13.

Receptury betonów tych marek według danych Przedsiębiorstwa Budowy Szybów w Bytomiu przedstawiają się następująco:

Beton marki 200

Cement portlandzki marki 350

328 kg

Tablica 11

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywych skalowania dla obudów betonowych marek 200, 250, 300

| Lp. | Beton marki 200       |                       | Beton marki 250       |                       | Beton marki 300       |                       |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|     | V <sub>L</sub><br>m/s | R <sub>C</sub><br>MPa | V <sub>L</sub><br>m/s | R <sub>C</sub><br>MPa | V <sub>L</sub><br>m/s | R <sub>C</sub><br>MPa |
| 1   | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     |
| 1   | 3330                  | 4,8                   | 3645                  | 17,2                  | 3675                  | 21,4                  |
| 2   | 3380                  | 5,6                   | 3840                  | 22,6                  | 3690                  | 22,6                  |
| 3   | 3430                  | 5,6                   | 3890                  | 25,9                  | 3775                  | 21,8                  |
| 4   | 3370                  | 5,0                   | 3795                  | 20,9                  | 3825                  | 23,9                  |
| 5   | 3740                  | 17,6                  | 3745                  | 18,4                  | 3880                  | 24,1                  |
| 6   | 3730                  | 17,0                  | 3690                  | 17,9                  | 3925                  | 25,8                  |
| 7   | 3720                  | 16,0                  | 3740                  | 17,4                  | 3990                  | 27,1                  |
| 8   | 3690                  | 15,0                  | 3775                  | 19,2                  | 4025                  | 29,2                  |
| 9   | 3700                  | 14,0                  | 3785                  | 19,9                  | 4070                  | 29,9                  |
| 10  | 3670                  | 13,0                  | 3740                  | 18,6                  | 4095                  | 31,9                  |
| 11  | 3660                  | 11,1                  | 3855                  | 23,8                  | 4140                  | 33,9                  |
| 12  | 3490                  | 6,2                   | 3880                  | 23,2                  | 2930                  | 25,2                  |
| 13  | 3570                  | 8,9                   | 3820                  | 22,0                  | 4025                  | 26,9                  |
| 14  | 3540                  | 7,1                   | 3810                  | 19,9                  | 3950                  | 26,2                  |
| 15  | 3530                  | 7,2                   | 3680                  | 17,1                  | 4020                  | 27,9                  |
| 16  | 3615                  | 10,4                  | 3790                  | 18,2                  | 4021                  | 27,1                  |
| 17  | 3615                  | 9,0                   | 3810                  | 22,9                  | 3990                  | 29,8                  |
| 18  | 3590                  | 9,6                   | 3825                  | 21,2                  | 3960                  | 26,2                  |
| 19  | 3585                  | 8,6                   | 3820                  | 19,1                  | 3740                  | 23,8                  |
| 20  | 3575                  | 10,4                  | 3880                  | 24,6                  | 3910                  | 25,1                  |
| 21  | 3565                  | 8,2                   | 3845                  | 22,0                  | 3945                  | 25,0                  |
| 22  | 3649                  | 10,1                  | 3855                  | 21,4                  | 4010                  | 28,4                  |
| 23  | 3635                  | 9,4                   | 3010                  | 21,8                  | 4015                  | 27,8                  |
| 24  | 3690                  | 12,1                  | 3770                  | 19,5                  | 3980                  | 27,6                  |
| 25  | 3470                  | 7,1                   | 3845                  | 23,0                  | 3780                  | 23,4                  |
| 26  | 3630                  | 10,9                  | 3860                  | 23,1                  | 3945                  | 27,0                  |
| 27  | 3650                  | 11,4                  | 3825                  | 21,4                  | 3920                  | 24,9                  |
| 28  | 3640                  | 10,4                  | 3810                  | 20,6                  | 4050                  | 29,9                  |
| 29  | 3660                  | 10,0                  | 3820                  | 20,4                  | 4075                  | 29,1                  |
| 30  | 3590                  | 9,4                   | 3795                  | 19,6                  | 4040                  | 28,6                  |
| 31  | 3690                  | 9,1                   | 3810                  | 22,6                  | 3980                  | 29,2                  |
| 32  | 3670                  | 13,9                  | 3870                  | 23,9                  | 3970                  | 26,6                  |

|   |            |
|---|------------|
| Woda zarobowa   | 210 l      |
| Mieszanka żwirowo-piaskowa o punkcie piaskowym frakcji piaskowej do 2 mm włącznie | 1368 kg    |
| Piasek płukany o punkcie piaskowym 96,62%   | 413 kg     |
| Współczynnik c/w 1,75   |            |
| Konsystencja ciekła stożek Abramsa  | 17 cm opad |

#### Beton marki 350

|   |            |
|---|------------|
| Cement portlandzki marki 350              | 440 kg     |
| Woda zarobowa                             | 210 l      |
| Grys bazaltowy 16-25 mm                   | 757 kg     |
| Piasek płukany w punkcie piaskowym 96,62% | 667 kg     |
| Współczynnik c/w - 2                      |            |
| Konsystencja ciekła - stożek Abramsa      | 18 cm opad |

Zgodnie z normą PB-63/B-06250, w trakcie betonowania odcinka szybu pobierane są próbki betonu, które po 28-dniowym sezonowaniu w warunkach wilgotnego środowiska poddawane są normowym badaniom wytrzymałościowym w laboratorium Przedsiębiorstwa Budowy Szybów w Bytomiu. Dla partii próbek betonów marki 200 i 350 przeprowadzono również badania ultradźwiękowe. Wyniki obliczeń statystycznych analizy korelacyjnej dla betonów obudów szybowych marki 200 przedstawiono w tablicy 14.

Wprowadzenie normy PN-75/B-06250 zaostrzyło kryterium jakości betonu, uzależniając klasę betonu od odchylenia standardowego jego średniej wytrzymałości na ściskanie, co spowodowało zmianę receptur w zakładach wytwarzających beton. Badania krzywych skalowania przeprowadzono dla betonów klasy B15, B20 i B25 wytwarzanych na potrzeby budownictwa szybowego w Zakładzie Budowy Szybów w Bytomiu. Receptury tych betonów według danych Zakładu Budowy Szybów w Bytomiu przedstawiają się następująco:

#### Beton klasy B15

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| Woda zarobowa               | 210 l   |
| Cement portlandzki marki 35 | 340 kg  |
| Piasek                      | 508 kg  |
| Żwir                        | 1297 kg |

#### Beton klasy B20

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| Woda zarobowa               | 224 l   |
| Cement portlandzki marki 35 | 450 kg  |
| Piasek                      | 341 kg  |
| Żwir                        | 1329 kg |

Beton klasy B25

|                    |         |
|--------------------|---------|
| Woda zarobowa      | 244 l   |
| Cement portlandzki | 414 kg  |
| Piasek             | 370 kg  |
| Żwir               | 1344 kg |

Wyniki pomiarów dla betonów klas B15, B20 i B25 przedstawiono w tabelicy 12.

Tablica 12

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywych skalowania dla obudów betonowych klas B15, B20 i B25

| Lp. | B15       |                       | B20       |                       | B25       |                       |
|-----|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|
|     | V<br>km/s | R <sub>c</sub><br>MPa | V<br>km/s | R <sub>c</sub><br>MPa | V<br>km/s | R <sub>c</sub><br>MPa |
| 1   | 2         | 3                     | 4         | 5                     | 6         | 7                     |
| 1   | 3,977     | 17,9                  | 4,780     | 25,3                  | 4,369     | 28,7                  |
| 2   | 3,863     | 16,3                  | 4,280     | 25,7                  | 4,315     | 29,6                  |
| 3   | 3,845     | 16,2                  | 4,120     | 25,7                  | 4,311     | 28,8                  |
| 4   | 3,843     | 16,0                  | 4,210     | 25,1                  | 4,315     | 28,9                  |
| 5   | 3,871     | 16,2                  | 4,040     | 24,9                  | 4,559     | 30,5                  |
| 6   | 3,904     | 17,3                  | 3,840     | 25,0                  | 4,532     | 30,3                  |
| 7   | 3,871     | 17,5                  | 4,220     | 26,0                  | 4,356     | 29,8                  |
| 8   | 3,804     | 17,6                  | 3,910     | 25,5                  | 4,436     | 29,6                  |
| 9   | 3,853     | 15,7                  | 4,100     | 25,5                  | 4,382     | 30,1                  |
| 10  | 4,061     | 17,0                  | 4,060     | 25,3                  | 4,350     | 28,6                  |
| 11  | 4,071     | 19,0                  | 4,315     | 26,7                  | 4,340     | 29,0                  |
| 12  | 3,811     | 16,1                  | 4,210     | 26,0                  | 4,360     | 29,4                  |
| 13  | 4,109     | 17,8                  | 4,340     | 27,0                  | 4,560     | 30,0                  |
| 14  | 4,167     | 19,9                  | 4,274     | 26,4                  | 4,498     | 29,6                  |
| 15  | 3,770     | 15,8                  | 4,280     | 25,5                  | 4,475     | 29,5                  |
| 16  | 4,104     | 17,9                  | 4,350     | 26,1                  | 4,500     | 29,8                  |
| 17  | 4,115     | 18,0                  | 4,370     | 26,6                  | 4,490     | 29,8                  |
| 18  | 4,062     | 18,5                  | 4,120     | 25,1                  | 4,375     | 29,3                  |
| 19  | 4,126     | 18,2                  | 4,080     | 24,5                  | 4,425     | 29,5                  |
| 20  | 4,113     | 19,4                  | 4,230     | 26,2                  | 4,575     | 31,3                  |
| 21  | 4,078     | 17,3                  | 4,120     | 24,3                  | 4,541     | 30,6                  |
| 22  | 3,873     | 17,7                  | 4,070     | 24,0                  | 4,531     | 30,5                  |
| 23  | 4,108     | 18,1                  | 4,047     | 24,0                  | 4,531     | 30,5                  |
| 24  | 4,000     | 18,1                  | 4,360     | 27,1                  | 4,532     | 30,6                  |
| 25  | 3,840     | 16,1                  | 4,410     | 26,7                  | 4,541     | 30,7                  |
| 26  | 4,100     | 18,2                  | 4,160     | 24,6                  | 4,510     | 30,6                  |
| 27  | 4,050     | 17,3                  | 4,080     | 22,9                  | 4,575     | 31,9                  |

| 1  | 2     | 3    | 4     | 5    | 6     | 7    |
|----|-------|------|-------|------|-------|------|
| 28 | 3,820 | 16,4 | 4,040 | 24,4 | 4,561 | 32,5 |
| 29 | 3,900 | 17,1 | 4,280 | 26,6 | 4,273 | 29,5 |
| 30 | 3,800 | 16,2 | 4,376 | 27,4 | 4,270 | 29,0 |
| 31 | -     | -    | 3,990 | 23,8 | 4,300 | 29,0 |
| 32 | -     | -    | 4,280 | 26,1 | -     | -    |
| 33 | -     | -    | 4,190 | 26,2 | -     | -    |
| 34 | -     | -    | 4,020 | 25,6 | -     | -    |
| 35 | -     | -    | 4,080 | 25,5 | -     | -    |
| 36 | -     | -    | 4,870 | 24,0 | -     | -    |
| 37 | -     | -    | 3,970 | 25,0 | -     | -    |

Wyniki statystycznej analizy korelacyjnej dla betonów obudów szybowych marek B15, B20 i B25 przedstawiono w tablicy 14.

W celu doboru typu równania regresji o najlepszej ścisłości korelacji zależności  $R_c = f(V_L)$  współczynniki regresji  $a$ ,  $b$  i  $c$  oraz współczynnik korelacji  $S_{y/x}$  określony wzorem (17) dla równań w postaci liniowej, potęgowej, wykładniczej, logarytmicznej i parabolicznej zestawiono w tablicy 14. Analizując wartości współczynnika korelacji  $S_{y/x}$ , zawarte w tablicy 14 stwierdzamy, że największa jego wartość, a więc i największa ścisłość korelacji dla krzywych skalowania wszystkich badanych rodzajów obudów występuje dla równań postaci:

- potęgowej  $R_c = b V_L^a$ ,
- parabolicznej  $R_c = a V_L^2 + b V_L + c$ ,
- wykładniczej  $R_c = c a V_L + b$

W przypadku równań  $R_c = f(V_L)$  w postaci potęgowej w wydrukach obliczeń z EMC dla współczynnika regresji "b" liczba znacząca występuje często dopiero na pozycjach poza zasięgiem pojemności maszyny, co uniemożliwia posługiwanie się tą postacią równania. Dlatego w dalszych rozważaniach przyjęto funkcję paraboliczną typu:

$$R_c = a V_L^2 + b V_L + c$$

jako postać krzywej skalowania dla wszystkich rodzajów murowych obudów górniczych. Uzyskane dla tego typu równania współczynniki korelacji mieszczą się w zakresie od 0,795 do 0,952 (tablica 14). Wielkości te świadczą o istnieniu ścisłego statystycznego związku pomiędzy  $R_c$  i  $V_L$  dla równania w postaci parabolicznej.

Na rysunkach od 8-13 przedstawiono rozkład punktów pomiarowych i krzywe skalowania według funkcji parabolicznej dla badanych górniczych obudów murowych.

Tablica 13

Zestawienie wyników pomiarów ultradźwiękowych i wytrzymałościowych w celu ustalenia krzywych skalowania dla betonowych obudów szybowych marki 200 i 350

| Lp. | Beton marki 200 |              | Beton marki 350 |              |
|-----|-----------------|--------------|-----------------|--------------|
|     | $V_L$<br>m/s    | $R_c$<br>MPa | $V_L$           | $R_c$<br>MPa |
| 1   | 2               | 3            | 4               | 5            |
| 1   | 3200            | 5,8          | 4211            | 40,9         |
| 2   | 3137            | 6,5          | 4211            | 40,9         |
| 3   | 3330            | 7,7          | 4200            | 34,9         |
| 4   | 3258            | 8,9          | 4178            | 33,4         |
| 5   | 3168            | 7,1          | 4211            | 36,4         |
| 6   | 3333            | 8,3          | 4990            | 27,3         |
| 7   | 3747            | 16,5         | 4255            | 45,4         |
| 8   | 3721            | 14,7         | 4233            | 37,9         |
| 9   | 3885            | 22,2         | 4199            | 36,4         |
| 10  | 3738            | 15,9         | 3922            | 25,7         |
| 11  | 3930            | 26,7         | 4189            | 36,4         |
| 12  | 3738            | 17,1         | 3855            | 24,2         |
| 13  | 3835            | 17,7         | 4178            | 36,4         |
| 14  | 3721            | 13,0         | 4156            | 34,9         |
| 15  | 3820            | 17,1         | 4167            | 34,9         |
| 16  | 3820            | 17,7         | 4082            | 30,3         |
| 17  | 3860            | 18,3         | 4071            | 30,3         |
| 18  | 3333            | 7,1          | 4113            | 33,4         |
| 19  | 3790            | 18,6         | 4313            | 48,5         |
| 20  | 3550            | 10,0         | 4156            | 34,9         |
| 21  | 3695            | 15,3         | 4167            | 36,4         |
| 22  | 3636            | 11,8         | 4082            | 30,3         |
| 23  | 3870            | 20,0         | 4081            | 30,3         |
| 24  | 3970            | 26,7         | 4071            | 30,3         |
| 25  | 3850            | 18,9         | 4324            | 48,5         |
| 26  | 3850            | 23,8         | 4157            | 33,3         |
| 27  | 3265            | 7,1          | 4255            | 45,4         |
| 28  | 3258            | 7,1          | 4061            | 30,3         |
| 29  | 3740            | 18,0         | 4082            | 30,3         |
| 30  | 3333            | 7,1          | 4071            | 30,3         |
| 31  | 3740            | 15,3         | 4061            | 33,4         |
| 32  | 3636            | 11,2         | 4092            | 33,4         |
| 33  | 3333            | 8,3          | 4071            | 33,4         |
| 34  | 3940            | 22,4         | 4233            | 39,4         |
| 35  | 3710            | 13,6         | 4222            | 39,4         |

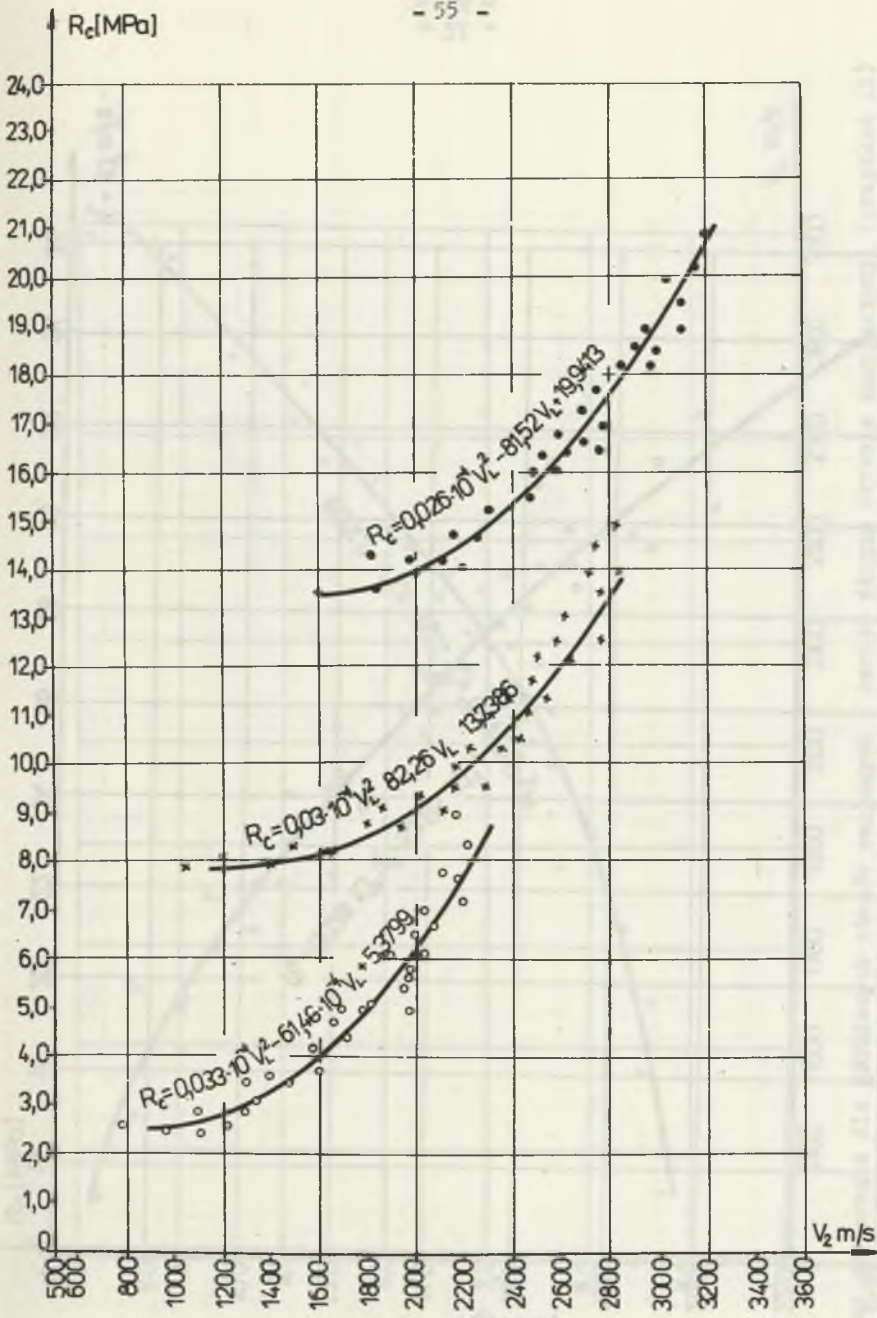
| 1  | 2    | 3    | 4    | 5    |
|----|------|------|------|------|
| 36 | 3730 | 14,4 | 4178 | 37,0 |
| 37 | 3760 | 14,1 | 3765 | 22,7 |
| 38 | 3661 | 15,0 | 3902 | 25,7 |
| 39 | 3800 | 19,5 | 3855 | 25,7 |
| 40 | 3555 | 11,8 | 4200 | 34,9 |
| 41 | 3292 | 7,1  | 4211 | 40,9 |
| 42 | 3680 | 15,9 | 4244 | 39,4 |
| 43 | 3660 | 13,3 | 4189 | 34,9 |
| 44 | 3891 | 22,2 | 4200 | 37,9 |
| 45 | 3830 | 18,3 | 4211 | 33,4 |
| 46 | 3910 | 19,7 | 4051 | 28,8 |
| 47 | 3800 | 14,7 | 4020 | 28,8 |
| 48 | 3800 | 17,1 | 4167 | 33,4 |
| 49 | 3846 | 17,4 | 4255 | 36,4 |
| 50 | 3404 | 8,9  | 4244 | 36,4 |
| 51 | 3299 | 7,7  | 4189 | 34,9 |
| 52 | 3320 | 8,6  | 3809 | 22,7 |
| 53 | 3790 | 15,9 | 3333 | 17,9 |
| 54 | 3740 | 14,9 | 3933 | 27,3 |
| 55 | 3890 | 19,4 | 4200 | 33,4 |
| 56 | 3860 | 21,0 | 4121 | 40,9 |
| 57 | 3740 | 14,0 | 4189 | 33,4 |
| 58 | 3610 | 13,2 | 3404 | 18,3 |
| 59 | 3670 | 13,0 | 3720 | 21,2 |
| 60 | 3630 | 12,4 | 3970 | 27,3 |
| 61 | 3660 | 11,0 | 3980 | 28,8 |
| 62 | 3550 | 12,0 | 3792 | 24,2 |
| 63 | 3760 | 13,2 | 3951 | 27,3 |
| 64 | 3620 | 10,2 | 4000 | 28,8 |
| 65 | 3800 | 17,6 | 3636 | 21,2 |
| 66 | 3450 | 9,2  | 4071 | 30,3 |
| 67 | 3600 | 10,2 | 4211 | 40,9 |
| 68 | 3870 | 19,4 | 4189 | 37,9 |
| 69 | 3990 | 15,4 | 4189 | 37,9 |
| 70 | 3680 | 17,4 | 4102 | 31,9 |
| 71 | 3780 | 16,4 | 4040 | 30,3 |
| 72 | 3780 | 15,0 | 4102 | 30,3 |
| 73 | 3710 | 12,0 | 4000 | 27,3 |
| 74 | 3740 | 15,0 | 4020 | 30,3 |

Tablica 14

Zestawienie współczynników regresji i współczynników korelacji dla krzywych skalowania górniczych obudów murowych.

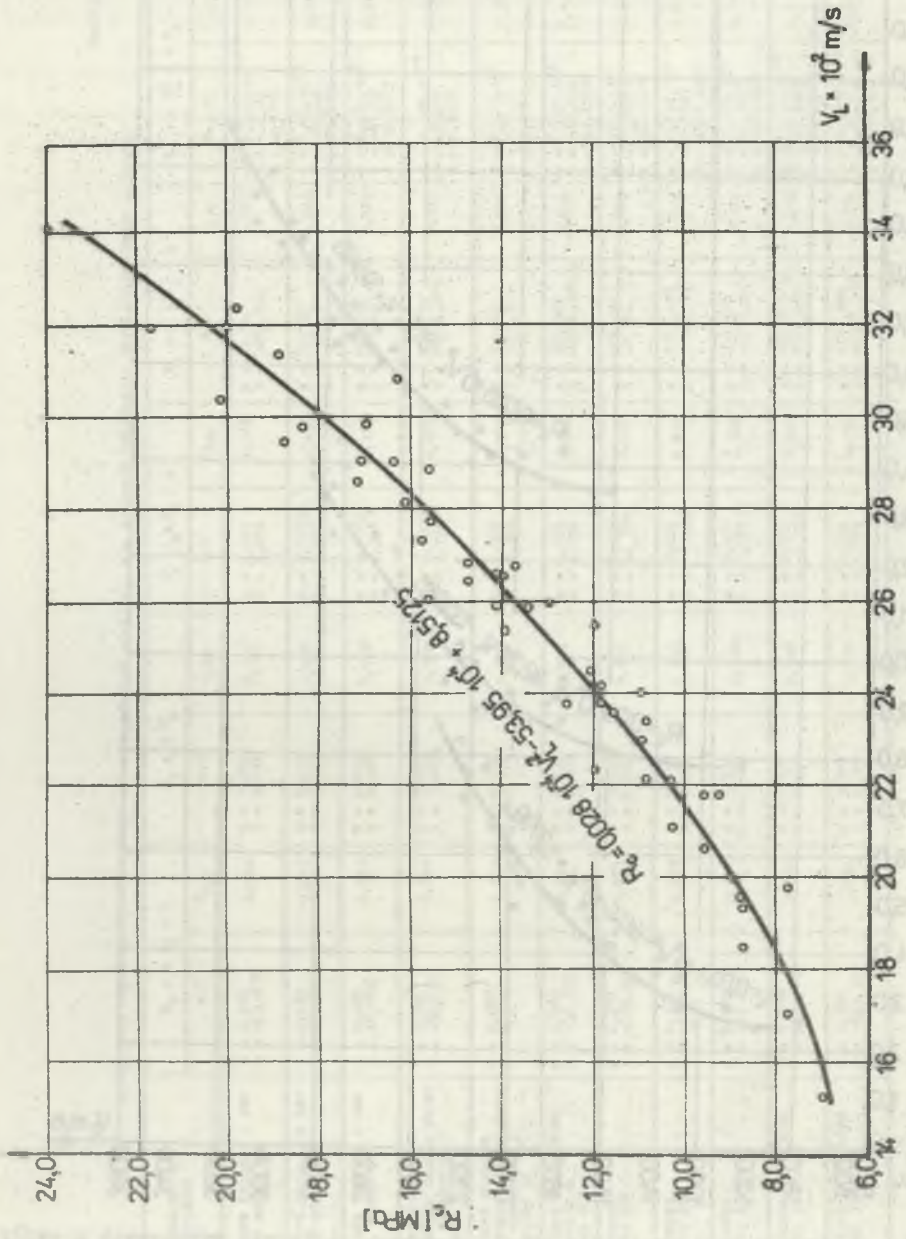
| Rodzaj obudowy  | $R_0 = aV_1 + b$           |           | $R_1 = bV_2^2$          |           | $R_2 = aV_1 + b$        |           | $R_3 = aV_1 + b$              |           | $R_4 = aV_1 + b$  |           | $R_5 = aV_1 + bV_2 + V_3 + V_4$ |           |
|---|----------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------------|-----------|---|-----------|---------------------------------|-----------|
|   | a, b                       | $r_{y/x}$ | a, b                    | $r_{y/z}$ | a, b                    | $r_{y/x}$ | a, b                          | $r_{y/x}$ | a, b  | $r_{y/x}$ | a, b, c                         | $r_{y/z}$ |
| Murowa obudowa z osi niek. mark. 150                                  | a = 0,440<br>b = -3,437    | 0,926     | a = 1,206<br>b = 0,002  | 0,920     | a = 0,001<br>b = 2,424  | 0,961     | a = 61,767<br>b = -0,6590     | 0,950     | a = 0,021·10 <sup>-4</sup><br>b = 1,146<br>c = 2,373      | 0,937     |                                 |           |
| Murowa obudowa z osi niek. mark. 200                                  | a = 0,039<br>b = 2,174     | 0,912     | a = 0,617<br>b = 0,502  | 0,893     | a = 0,0003<br>b = 3,022 | 0,936     | a = 72,97<br>b = -432,361     | 0,803     | a = 0,03·10 <sup>-4</sup><br>b = -82,26<br>c = 13,786     | 0,912     |                                 |           |
| Murowa obudowa z osi niek. mark. 300                                  | a = 0,047<br>b = 4,384     | 0,943     | a = 0,644<br>b = 0,908  | 0,935     | a = 0,0002<br>b = 4,352 | 0,955     | a = 109,076<br>b = 657,573    | 0,719     | a = 0,024·10 <sup>-4</sup><br>b = -31,12<br>c = 19,813    | 0,943     |                                 |           |
| Szybowe seplano o bieżni długości ok. 200 m. eksploatacji Połud. I    | a = 0,089<br>b = -88,537   | 0,944     | a = 1,608<br>b = 0,0004 | 0,970     | a = 0,0006<br>b = 3,134 | 0,978     | a = 210,770<br>b = -1512,215  | 0,941     | a = 0,003·10 <sup>-4</sup><br>b = -3,92<br>c = 8,325      | 0,941     |                                 |           |
| Szybowe seplano o bieżni długości ok. 200 m. eksploatacji Przykład II | a = 0,028<br>b = 8,512     | 0,952     | a = 0,782<br>b = 0,174  | 0,941     | a = 0,000<br>b = 3,353  | 0,972     | a = 54,442<br>b = -36,916     | 0,983     | a = 0,011·10 <sup>-4</sup><br>b = -32,47<br>c = 7,183     | 0,972     |                                 |           |
| Szybowe betonitowa betonity B mark. 200                               | a = 0,072<br>b = 1,6540    | 0,944     | a = 1,938<br>b = 0,000  | 0,961     | a = 0,001<br>b = 2,936  | 0,946     | a = 270,924<br>b = -3031,560  | 0,935     | a = 0,021·10 <sup>-4</sup><br>b = -31,59<br>c = 24,633    | 0,944     |                                 |           |
| Betonowa mark. 200  | a = 0,278<br>b = -35,461   | 0,878     | a = 10,687<br>b = 0,000 | 0,937     | a = 0,003<br>b = -0,297 | 0,940     | a = 979,056<br>b = -1,315,314 | 0,873     | a = 1441,10 <sup>-4</sup><br>b = 1,9511<br>c = 97,121     | 0,878     |                                 |           |
| Betonowa mark. 250  | a = 0,364<br>b = -1178,263 | 0,859     | a = 6,755<br>b = 0,000  | 0,870     | a = 0,002<br>b = -1,492 | 0,873     | a = 1372,092<br>b = 11162,480 | 0,916     | a = 0,244·10 <sup>-4</sup><br>b = 0,1543<br>c = 1937,2111 | 0,879     |                                 |           |
| Betonowa mark. 300  | a = 0,204<br>b = 82,645    | 0,911     | a = 3,340<br>b = 0,000  | 0,924     | a = 0,001<br>b = 2,197  | 0,927     | a = 274,597<br>b = -6914,367  | 0,907     | a = 0,172·10 <sup>-4</sup><br>b = -4,1543<br>c = 245,945  | 0,911     |                                 |           |
| Betonowa - cięta mark. 300  | a = 0,204<br>b = -804,152  | 0,897     | a = 5,747<br>b = 0,000  | 0,945     | a = 0,002<br>b = -1,022 | 0,948     | a = 721,733<br>b = 5171,559   | 0,890     | a = 0,145·10 <sup>-4</sup><br>b = -4,1543<br>c = 245,945  | 0,897     |                                 |           |
| Szybowe - betonowa mark. 300  | a = 0,397<br>b = -422,319  | 0,866     | a = 3,981<br>b = 0,000  | 0,949     | a = 0,001<br>b = 1,554  | 0,935     | a = 1171,605<br>b = -4427,337 | 0,972     | a = 0,3377·10 <sup>-4</sup><br>b = -26,399<br>c = 489,762 | 0,867     |                                 |           |

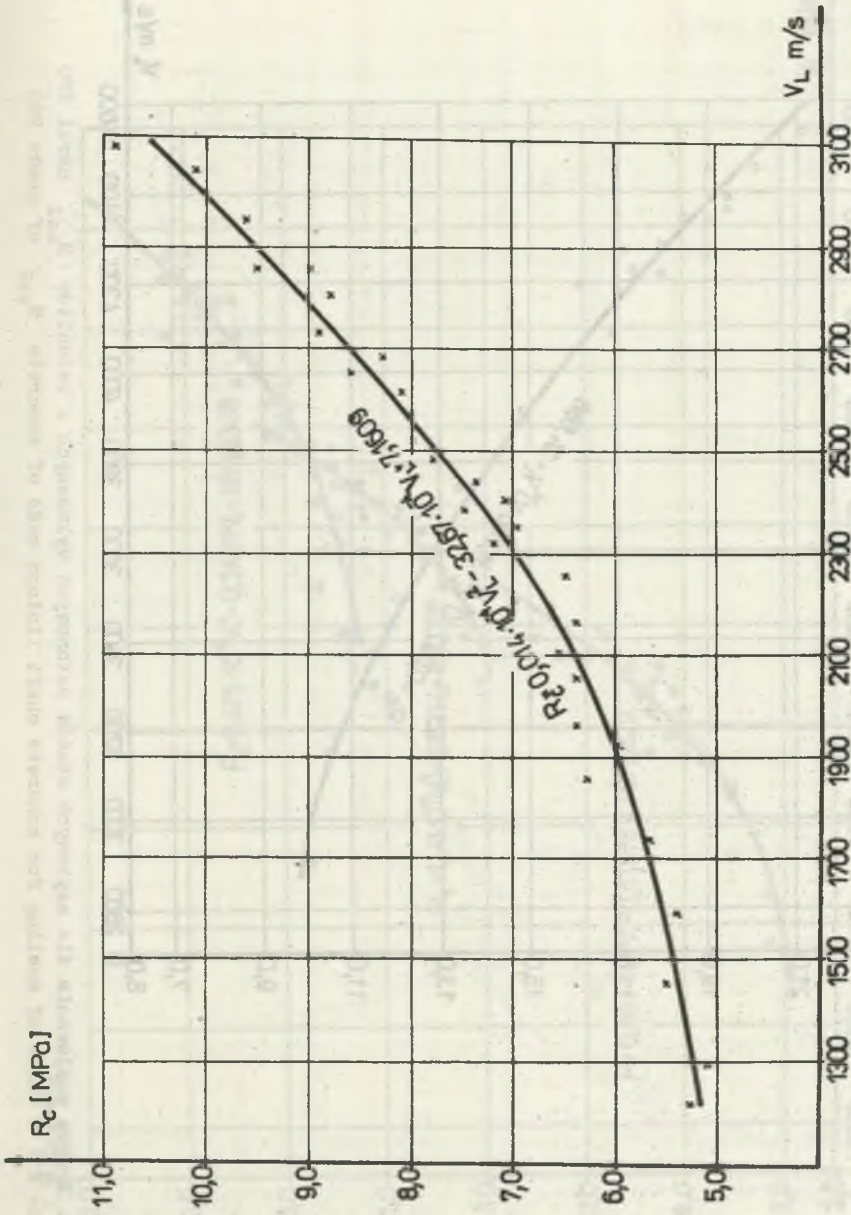




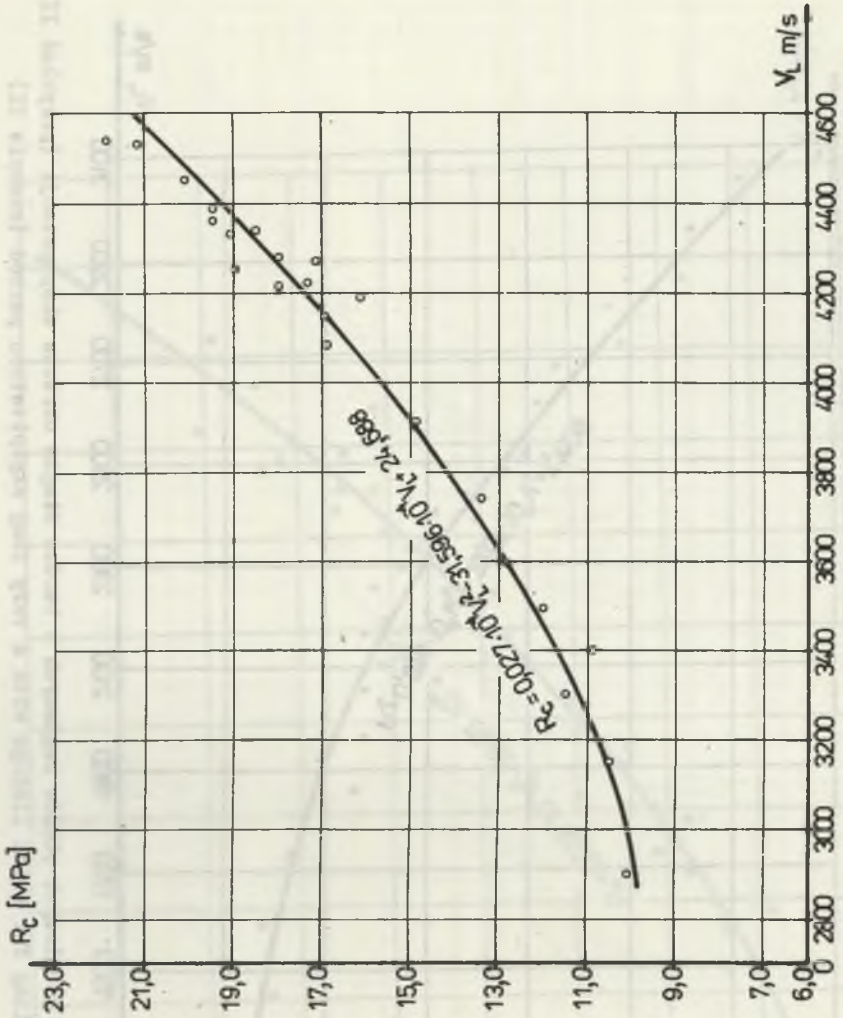
Rys. 3. Krzywe skalowania dla obudów murowanych ceglanych wykonanych z cegły o klasy 150, x klasy 250, o klasy 350

Fig. 3. Curves of scaling for brick linings made of brick of o 150, x250, o 350 grade

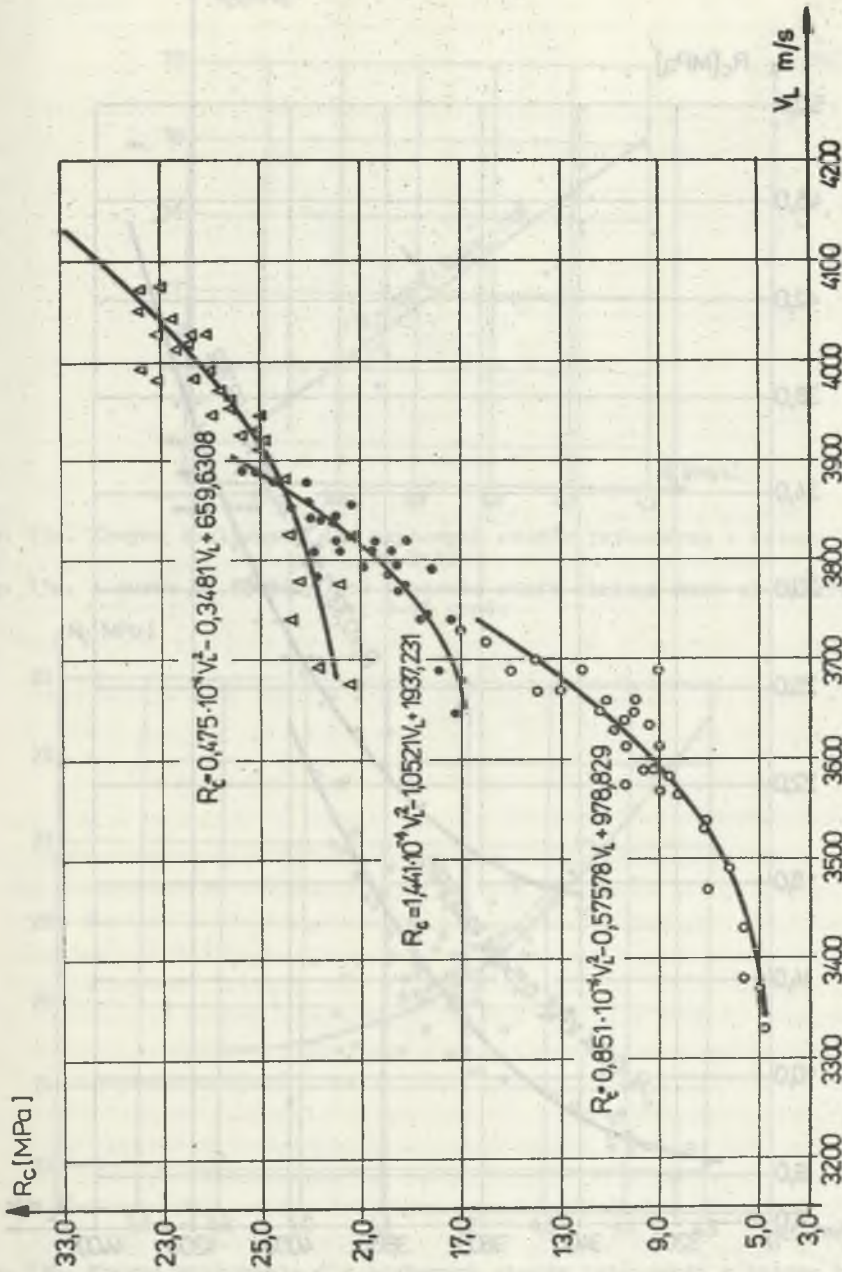




Rys. 10. Krzywa skalowania dla górniozrych obudów oeglanych o bardzo długim okresie eksploatacji (przykład II)  
Fig. 10. Curves of scaling for brick linings with a very long exploitation period (example II)

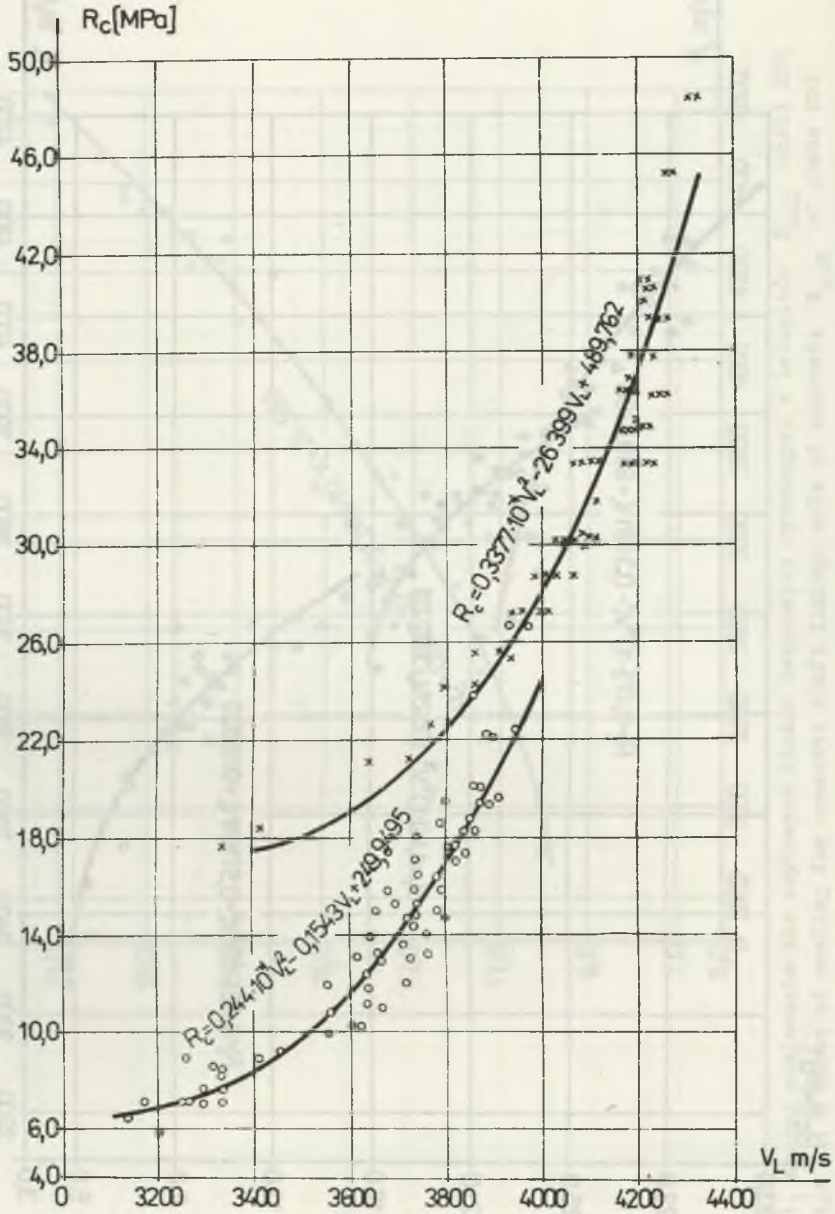


Rys. 11. Krzywa skalowania dla szybowych obudów betonowych wykonanych z betonitów B<sub>gz2</sub> marki 200  
Fig. 11. A curve of scaling for concrete shaft linings made of concrete B<sub>gz2</sub> of grade 200



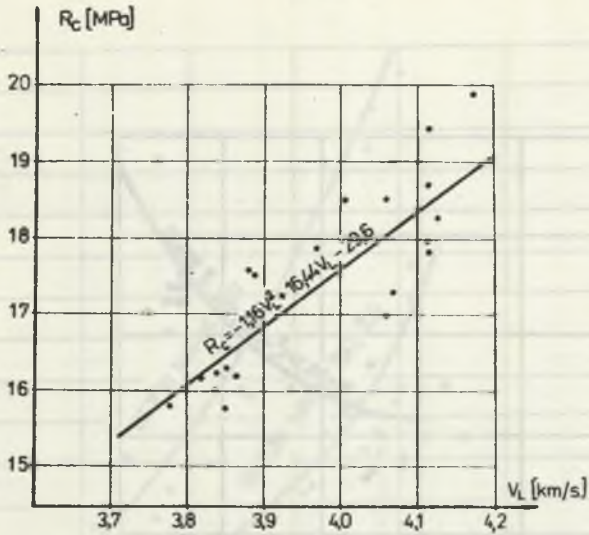
rys. 12. Krzywe skalowania dla obudów betonowych marek • 200, x 250, Δ 300

Fig. 12. Curves of scaling for concrete linings of the following grades: • 200, x250, Δ 300



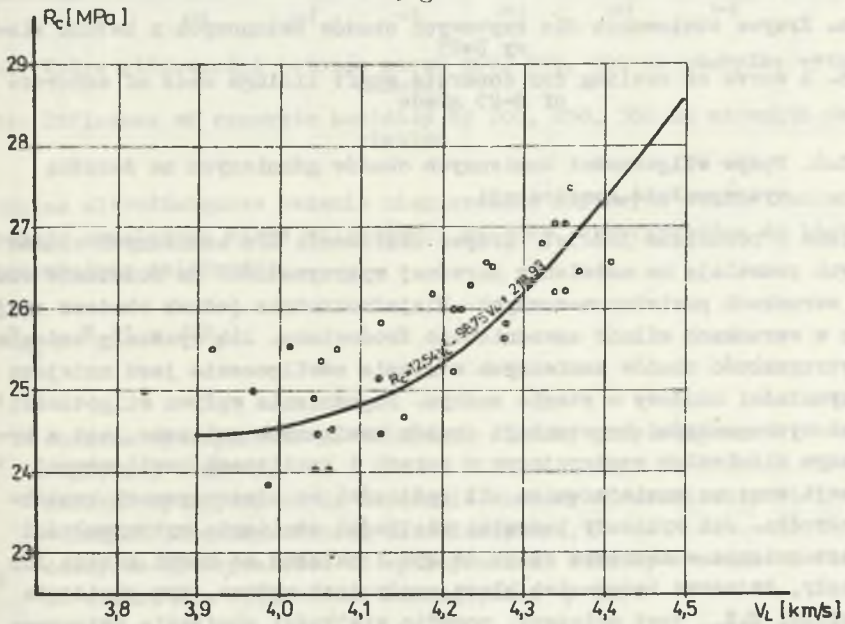
Rys. 13. Krzywe skalowania dla sztybowych obudów betonowych marek o 200, x 350

Fig. 13. Curves of scaling for concrete shaft linings of the grades: o 200 and x 350



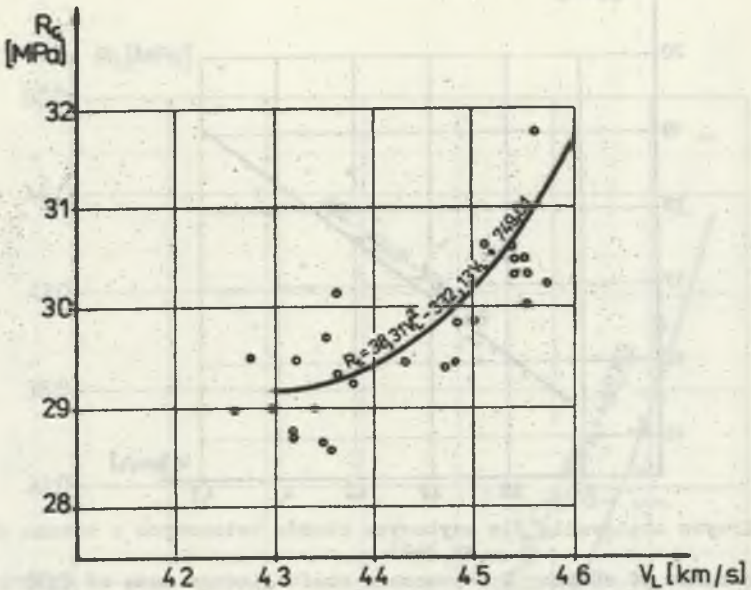
Rys. 13a. Krzywa skalowania dla szybowych obudów betonowych z betonu klasy B-15

Fig. 13a. A curve of scaling for concrete shaft linings made of concrete of B-15 grade



Rys. 13b. Krzywa skalowania dla szybowych obudów betonowych z betonu klasy B-20

Fig. 13b. A curve of scaling for concrete shaft linings made of concrete of B-20 grade

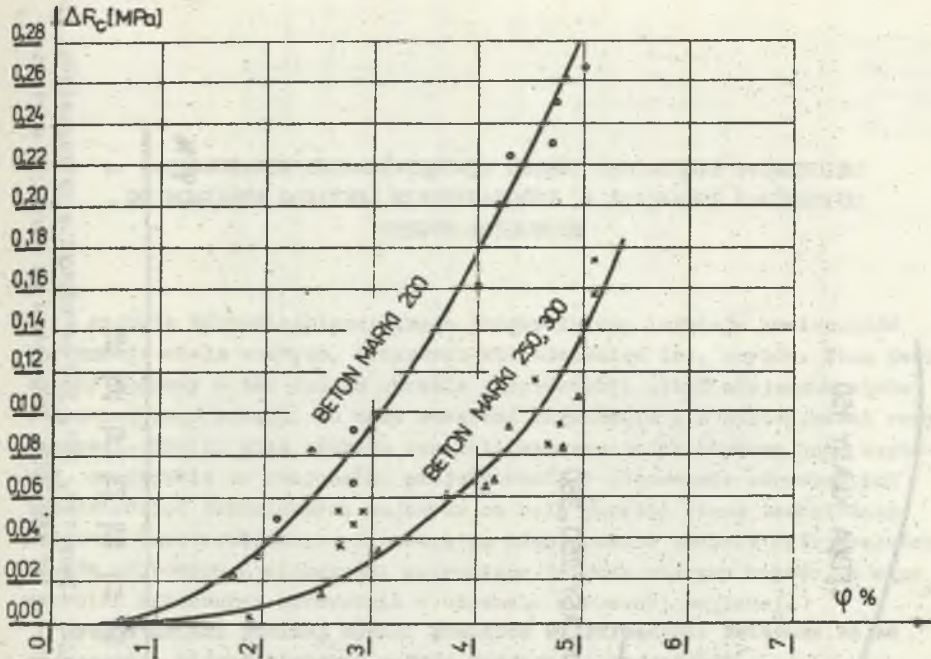


Rys. 13c. Krzywa skalowania dla szybowych obudów betonowych z betonu klasy B-25  
Fig. 13c. A curve of scaling for concrete shaft linings made of concrete of B-25 grade

### 3.2.3.8. Wpływ wilgotności kamiennych obudów górniczych na doraźną wytrzymałość konstrukcji

Ustalone w rozdziale 3.2.3.7 krzywe skalowania dla kamiennych obudów górniczych pozwalają na ustalenie doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy, w warunkach powietrzno-suchych. Niejednokrotnie jednak obudowa znajduje się w warunkach silnie zawodnionego środowiska. Jak wykazały badania [19], wytrzymałość obudów kamiennych w stanie zawilgocenia jest mniejsza od wytrzymałości obudowy w stanie suchym. Zagadnienie wpływu wilgotności na spadek wytrzymałości konstrukcji obudów kamiennych związane jest z hydraulicznym ciśnieniem występującym w porach i kapilarach zawilgoconej konstrukcji oraz ze zmniejszeniem sił spójności na płaszczyznach kontaktowych ośrodka. Jak wykazały badania, wielkości obniżenia wytrzymałości  $\Delta R_c$  jest zmienna w zakresie od 5% do 25% i zależna od marki betonu lub klasy cegły, im marka betonu lub klasa cegły jest wyższa, tym obniżenie wytrzymałości  $\Delta R_c$  jest mniejsze, ponadto wielkości obniżenia wytrzymałości  $\Delta R_c$  wzrasta wraz ze wzrostem wilgotności bezwzględnej konstrukcji, zgodnie z zależnościami przedstawionymi na rys. 14 dla obudów betonowych marek 200, 250 i 300 a na rys. 15 dla obudów murowych ceglanych wykonanych z cegieł klasy 150, 250 i 350.





Rys. 14. Wpływ wilgotności betonów marek 200, 250, 300 na odchyłkę wytrzymałości

Fig. 14. Influence of concrete humidity of 200, 250, 300 on strength deviation

Stosując ultradźwiękowe badania nieniszczące szybowych obudów kamiennych należy uwzględnić wpływ wilgotności obudowy, wykorzystując do tego celu następującą zależność:

$$R_{c_w} = R_c (1 - \Delta R_c)$$

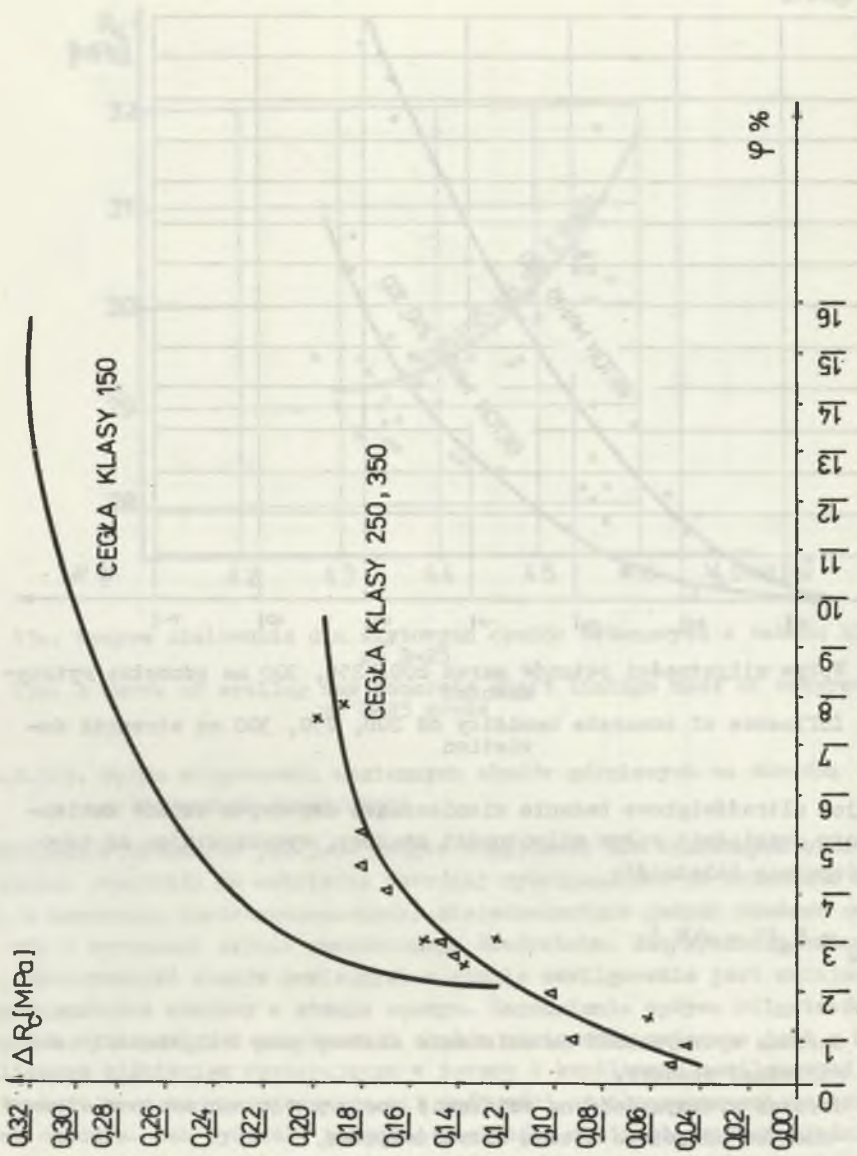
gdzie:

$R_{c_w}$  - doraźna wytrzymałość na ściskanie obudowy przy wilgotności bezwzględnej obudowy,

$R_c$  - doraźna wytrzymałość na ściskanie obudowy w warunkach powietrzno-suchych określona metodą ultradźwiękową,

$\Delta R_c$  - odchyłka wytrzymałości od wytrzymałości obudowy w stanie powietrzno-suchym dla wilgotności bezwzględnej  $\varphi$  (rys. 14 i 15).

Ponieważ występują trudności z dokładnym określeniem wartości wilgotności obudowy, proponuje się, aby w rejonach, gdzie występuje zawodnienie obudowy, określić odchyłkę wytrzymałości dla maksymalnej wilgotności bezwzględnej  $\Psi$ .



Rys. 15. Wpływ wilgotności modeli obudów wykonanych z cegły klasy 150, 250, 350 na odchylenie wytrzymałości  
Fig. 15. Influence of humidity of lining models made of brick of 150, 250, 350 grade on strength deviation

#### 4. ZASTOSOWANIE ULTRADŹWIĘKOWEJ METODY PROPAGACJI POŚREDNIEJ DO POMIARÓW DORAŻNEJ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE KAMIENNYCH OBUDÓW SZYBOWYCH

W rejonie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego istnieje konieczność utrzymania wielu starych, liczących kilkadziesiąt lat, szybów. Stan techniczny obudowy w tak długim okresie eksploatacji uległ niejednokrotnie znacznemu pogorszeniu, co może stwarzać zagrożenie dla stateczności rury szybowej. Wynikł stąd problem kontroli wytrzymałości obudowy rury szybowej, co pozwala na racjonalne projektowanie i stosowanie odpowiednich przedsięwzięć technicznych mających na celu poprawę stanu technicznego obudowy. Zapotrzebowanie górnictwa na nieniszczące badania wytrzymałości obudów szybowych w większości przypadków dotyczą starych szybów, a więc wyrobisk wykonanych przeważnie w obudowie murowanej ceglanej.

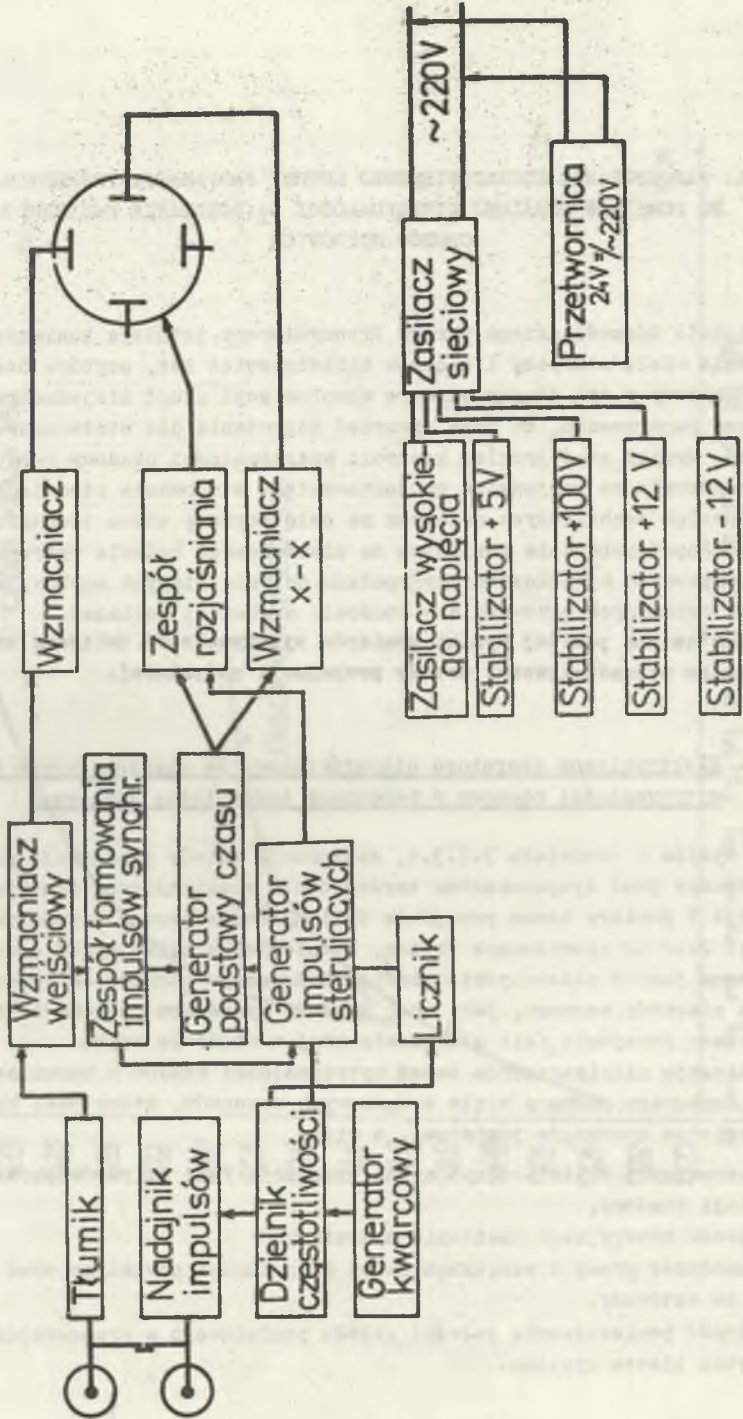
Przedstawione poniżej wyniki pomiarów wytrzymałości związane są ze stosowaniem ultradźwiękowej metody propagacji pośredniej.

##### 4.1. Elektroniczna aparatura ultradźwiękowa do nieniszczących pomiarów wytrzymałości obudowy w warunkach budownictwa szybowego

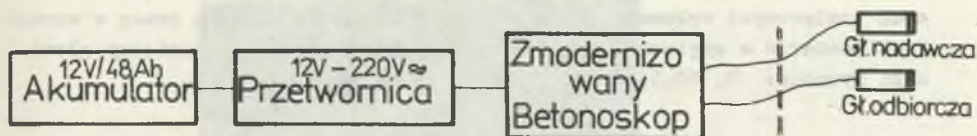
Jak wynika z rozdziału 3.2.3.6, stosowanie metody propagacji pośredniej uwarunkowane jest dysponowaniem bardzo czułą elektroniczną aparaturą do generacji i pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy. Jest to spowodowane faktem, że niewielka tylko część energii przesyłana jest w płaszczyźnie głowica nadawcza - głowica odbiorcza. Jest to więc pierwszy warunek, jaki musi spełnić aparatura do generacji i pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej w obudowie szybu.

Realizacja nieniszczących badań wytrzymałości obudów w warunkach budownictwa szybowego narzuca wiele dodatkowych warunków, które musi spełnić elektroniczna aparatura pomiarowa, a więc:

- jednoznaczny i szybki odczyt czasu przejścia fali ultradźwiękowej w konstrukcji obudowy,
- możliwość baterijnego zasilania aparatury,
- niezawodność pracy w warunkach dużej wilgotności powietrza oraz odporność na wstrząsy,
- możliwość ponieszczenia całości układu pomiarowego w przesuwałej się w szybie klatce wyciągu.

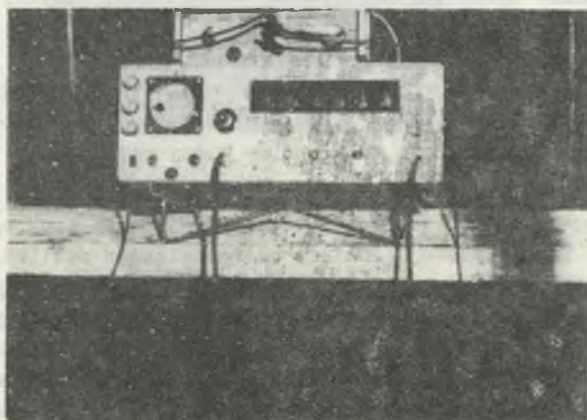


Rys. 16. Schemat blokowy zmodernizowanego betonoskopu  
Fig. 16. Block diagram of modernized concretoscope



Rys. 17. Schemat blokowy układu do nieniszczącego pomiaru wytrzymałości obudowy szybu

Fig. 17. Block diagram of the system for non-destructing measurement of shaft lining strength



Rys. 18. Aparatura pomiarowa zamontowana na głowicy klatki

Fig. 18. Measuring equipment mounted on cage head

Zgodnie z powyższymi założeniami opracowano prototyp, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 16. Prototyp ten oparto na betonoskopie BI-12R, w którym zaprojektowano i wykonano następujące nowe układy:

- generator impulsów sterujących,
- generator podstawy czasu,
- wzmacniacz podstawy czasu,
- odbiornik,
- wzmacniacz odchylenia pionowego.

Niezależnym układem jest przetwornica zasilana akumulatorem o napięciu 12 V i pojemności 48 Ah, umożliwiająca zasilanie betonoskopu prądem zmiennym o napięciu 220 V. Układ pomiarowy aparatury stosowany do badań wytrzymałościowych obudów szybowych przedstawiono na rys. 17.

Do realizacji pomiarów aparatura montowana jest na głowicy klatki wy ciągu pracującego w szybie (rys. 18).

W celu jednoznacznego i szybkiego ustalenia odległości pomiędzy głowicami pomiarowymi wykonano przymiar, który znacznie ułatwia pracę w warunkach pomiarów w szybach (rys. 16) - odległości pomiarowe pomiędzy głowicami wynoszą: 8, 10,5, 13, 15,5 cm.

#### 4.2. Metodyka prowadzenia pomiarów wytrzymałości obudów szybowych

Ultradźwiękowe pomiary doraźnej wytrzymałości murewej obudów szybowych realizowane są w wytypowanych strefach pomiarowych, najczęściej znajdujących się w rejonie:

- trudnych warunków hydrogeologicznych (np. kurzawki, odcinki o dużym dopływie wody do szybu, uskok i itp.),
- korozyjnych ubytków obudowy,
- deformacji obudowy (np. spowodowanych wpływami eksploatacji),
- głowicy szybowej ze szczególnym uwzględnieniem odcinka głębokościowego, odpowiadającego posadowieniu fundamentów wieży szybowej.

Strefy pomiarowe typuje się na podstawie: analiz profilu litologicznego skał rejonu szybu, dokumentacji technicznej szybu oraz oględzin stanu technicznego rury szybowej. Pomiary ultradźwiękowe realizuje się na liniach pomiarowych, usytuowanych wzdłuż osi szybu (rys. 20). Liczba linii pomiarowych zależy od średnicy szybu oraz możliwości bezpiecznego dostępu do jego obudowy. W trakcie realizacji pomiarów pomiędzy głowicami a powierzchnią obudowy występuje warstwa powietrza, która silnie wytłumia sygnał ultradźwiękowy, niejednokrotnie uniemożliwiając jego rejestrację. Aby wyeliminować to zjawisko, stosowano pokrywanie obudowy w miejscach pomiarów warstwą towotu.

Bardzo często powierzchnia obudowy murewej szybu pokryta jest naciekami, np. węglanowo-wapiennymi o grubości dochodzącej do 10-15 cm, oraz występującymi lokalnie zżuszczeniami jej powierzchni na głębokość 1-5 cm. Aby uzyskać wiarygodne wyniki pomiarów, należy usunąć w punktach pomiarowych zarówno zżuszczenie, jak i nacieki.

W trakcie pomiarów stosuje się głowice pomiarowe o częstotliwości pracy 250 kHz. Odległości pomiędzy głowicami zmieniają się za pomocą przymiaru (rys. 19) i odległości te wynoszą kolejno 8, 10,5, 13, 15,5 cm. Dla każdego punktu pomiarowego określono średnią prędkość fali ultradźwiękowej na podstawie czterech wartości prędkości obliczonych z kolejnych odczytów czasu przejścia fali odpowiadających kolejnym odległościom pomiędzy głowicami pomiarowymi. Wartość średnia prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej, określona dla danego punktu pomiarowego, służy do określenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy w tym punkcie z odpowiedniej krzywej skalowania.



Rys. 19. Ustawienie głowic pomiarowych  
Fig. 19. Adjusting of measuring heads

#### 4.3. Interpretacja wyników pomiarów doraźnej wytrzymałości na ściskanie murowych obudów szybowych

Uzyskane metodą ultradźwiękową wartości doraźnej wytrzymałości na ściskanie murowych obudów szybowych odnoszą się do określonych punktów pomiarowych. Dysponując odpowiednio dużą liczbą wyników pomiarowych, można zgodnie z metodami statystyki matematycznej odnieść wyniki badań do całej konstrukcji obudowy. Przedstawione to zostanie na przykładzie szybu "Z". Szyb "Z" jest szybem wydobywczo-materiałowym o średnicy 6,2 m, wykonanym w obudowie murowej ceglanej. W bezpośrednim sąsiedztwie szybu warstwy nadkładu zalegają do głębokości około 100 m, a reprezentowane są przez utwory czwartorzędowe i triasowe. Czwartorzęd reprezentowany jest przez górny kompleks utworów wodolodowcowych i dolny kompleks utworów morenowych. Utwory wodolodowcowe sięgają do głębokości około 14,1 m i wykształcone są w postaci piasków, żwirów i glin pylastych. W profilu przeważają piaski i żwiry, zalegające na odcinkach głębokościowych 3,1-7,1 m i ok. 8,8-14,1 m.

Dolna warstwa piaszczysto-żwirowa jest zawodniona, a zwierciadło piezometryczne poziomu napiętego ustala się prawdopodobnie na głębokości około 5,8 m. Na odcinku głębokościowym 14,1-61,8 m w profilu szybu "Z" zalegają utwory morenowe. W profilu tych utworów przeważają zdecydowanie gliny ciężkie piaszczyste i pylaste o konsystencji twardeplastycznej. Utwory sypkie występują wśród tych glin w postaci dwóch większych warstw na odcinkach prawdopodobnie od ok. 26,4-30,0 m górna warstwa i 47,1-54,3 m dolna warstwa. Górna warstwa żwirów jest zawodniona, a zwierciadło wody poziomu napiętego ustala się prawdopodobnie na głębokości około 11,5 m.

Dolna warstwa piaszczysto-żwirowa jest zawodniona tylko w części spągowej, a swobodne zwierciadło wody ustala się na głębokości ok. 51,4 m. Poniżej czwartorzędu zalegają utwory retu. Są to bardzo silnie zwietrzałe i skawernowane dolomity i wapienie dolomityczne. Utwory te są także zawodnione, a napięte zwierciadło wody ustala się na głębokości ok. 55 m od powierzchni terenu.

W związku z występowaniem zagrożenia kurzawkowego oraz awarią bliźniaczego szybu kopalnia przystąpiła do zabezpieczenia obudowy z zastosowaniem szczelnego płaszcza stalowego, zamontowanego na obudowie szybu. Dokładne rozmieszczenie tych zabezpieczeń przedstawiono na rys. 20. Badania doraźnej wytrzymałości obudowy przeprowadzono na odcinku od zrębu do 73,0 m na dwóch liniach pomiarowych A i B zaznaczonych na rys. 20. Dla każdego punktu pomiarowego określono średnią prędkość fali ultradźwiękowej, na podstawie czterech wartości prędkości obliczonych z kolejnych odczytów czasów przejścia fali na zmiennej odległości pomiędzy głowicami pomiarowymi. Wartość średnia prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej służy do określenia doraźnej wytrzymałości na ściskanie obudowy z krzywej skalowania  $R_c = 0,014 \cdot 10^{-4} V_L^2 - 32,67 \cdot 10^{-4} + 7,1609$ , o współczynniku korelacji  $S_{Y/X} = 0,95$ , przedstawionej na rys. 10. Przebieg i wyniki badań ultradźwiękowych przedstawiono w tabelicy 15. Pomierzone wartości doraźnej wartości na ściskanie obudowy szybu "Z" wykazują zróżnicowanie w zakresie od  $R_{c \min} = 5,1$  MPa do  $R_{c \max} = 11,2$  MPa. Ocena statystyczną wytrzymałości [2, 3] obudowy szybu "Z" dokonano w oparciu o następujące parametry:

- średnią wytrzymałość na ściskanie  $R_c$

$$R_c = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ci}}{n}, \quad (21)$$

- dolną graniczną wytrzymałość na ściskanie  $R_{c \min} \cdot g$

$$R_{c \min} \cdot g = \bar{R} - t_{\min} \sigma(R_c) \quad (22)$$

gdzie:

$t_{\min}$  - współczynnik ufności zależny od rodzaju przyjętego rozkładu wytrzymałości oraz założonego prawdopodobieństwa P przekroczenia wartości  $R_{\min}$  [3]

Dla przyjętego przez stałą Komisję Budownictwa RWPG [2] rozkładu normalnego wytrzymałości i założenia, że nie więcej niż 5% wartości może znaleźć się poniżej  $R_{c \min} \cdot g$ ,  $t_{\min} = 1,64$ .



Wyniki pomiarów wytrzymałości obudowy szybu "Z"

| Nr dźwięgara    | Linia pomiarowa | Prędkość fali $V_L$ m/s      | Prędkość średnia $V_L$ | $R_c$ MPa | Uwagi                                      |
|-----------------|-----------------|------------------------------|------------------------|-----------|--|
| 1               | 2               | 3                            | 4                      | 5         | 6  |
| 1               | A               | 2466<br>2400<br>2321<br>2323 | 2377                   | 7,2       |  |
|                 | B               | 1114<br>1240<br>1131<br>1171 | 1164                   | 5,1       |  |
| 1 $\frac{1}{2}$ | A               | 1579<br>1544<br>1604<br>1648 | 1594                   | 5,8       |  |
|                 | B               | 1538<br>1544<br>1666<br>1482 | 1557                   | 5,7       |  |
| 2               | A               | 2984<br>2088<br>3330<br>3061 | 3115                   | 9,9       |  |
|                 | B               | 3162<br>3387<br>3330<br>3280 | 3289                   | 11,2      |  |
| 7               | A               |                              |                        |           | Obmurze niedostępne (bardzo grube nacieki) |
|                 | B               | 1552<br>1420<br>1470<br>1500 | 1485                   | 5,6       |  |
| 8               | A               |                              |                        |           | Obmurze niedostępne (bardzo grube nacieki) |
|                 | B               | 1276<br>1242<br>1218<br>1300 | 1259                   | 5,4       | Duże tłumienie fali                        |

| 1                | 2 | 3                            | 4    | 5   | 6                   |
|------------------|---|------------------------------|------|-----|---------------------|
| 9                | A | 1560<br>1610<br>1490<br>1632 | 1573 | 5,7 |                     |
|                  | B | 2325<br>2360<br>2164<br>2194 | 2260 | 6,7 | Duże tłumienie fali |
| 10               | A | 2169<br>2213<br>2092<br>2280 | 2188 | 6,6 |                     |
|                  | B | 1951<br>1810<br>1992<br>2018 | 1942 | 6,1 |                     |
| 10 $\frac{1}{2}$ | A | 1904<br>1888<br>1940<br>1898 | 1907 | 6,1 |                     |
|                  | B | 1551<br>1438<br>1477<br>1562 | 1507 | 5,6 |                     |
| 11               | A | 2424<br>2444<br>2310<br>1318 | 2374 | 7,2 |                     |
|                  | B | 1451<br>1478<br>1444<br>1415 | 1447 | 5,5 |                     |
| 12               | A | 1851<br>1790<br>1746<br>1882 | 1817 | 6,0 |                     |
|                  | B | 1585<br>1625<br>1681<br>1615 | 1626 | 5,8 |                     |
| 13               | A | 1577<br>1416<br>1666<br>1546 | 1551 | 5,7 |                     |
|                  | B | 1857<br>1843<br>1781<br>1794 | 1818 | 6,0 |                     |

| 1                | 2 | 3                            | 4    | 5   | 6 |
|------------------|---|------------------------------|------|-----|---|
| 13 $\frac{1}{2}$ | A | 1585<br>1501<br>1558<br>1612 | 1564 | 5,7 |   |
|                  | B | 1680<br>1721<br>1625<br>1595 | 1635 | 5,8 |   |
| 14               | A | 1675<br>1787<br>1733<br>1685 | 1720 | 5,9 |   |
|                  | B | 1128<br>1060<br>1160<br>1111 | 1114 | 5,0 |   |
| 15               | A | 2666<br>2625<br>2549<br>2459 | 2574 | 7,9 |   |
|                  | B | 2666<br>2625<br>1428<br>1463 | 1462 | 5,5 |   |
| 20               | A | 2056<br>1966<br>2124<br>1986 | 2040 | 6,4 |   |
|                  | B | 3011<br>2961<br>2826<br>2830 | 2907 | 9,1 |   |
| 21               | A | 2501<br>2485<br>2608<br>2630 | 2556 | 7,8 |   |
|                  | B | 2730<br>2690<br>2708<br>2698 | 2706 | 8,6 |   |
| 22               | A | 2857<br>2916<br>2954<br>2762 | 2872 | 9,4 |   |
|                  | B | 2524<br>2584<br>2421<br>2480 | 2502 | 7,7 |   |

| 1  | 2 | 3                            | 4    | 5   | 6 |
|----|---|------------------------------|------|-----|---|
| 23 | A | 2524<br>2518<br>2666<br>2579 | 2571 | 7,8 |   |
|    | B | 2588<br>2560<br>2581<br>2507 | 2559 | 7,8 |   |

$\sigma_{R_c}$  - odchylenie standardowe wytrzymałości,

$$\sigma_{R_c} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{c_i} - \bar{R}_c)^2}{n}}, \quad (23)$$

- współczynnik zmienności wytrzymałości  $\nu_{R_c}$

$$\nu_{R_c} = \frac{\sigma_{R_c}}{\bar{R}_c} \cdot 100\% \quad (24)$$

- współczynnik jednorodności  $K_{R_c}$

$$K_{R_c} = 1 - t \min \nu_{R_c} \quad (25)$$

Obliczone parametry wynoszą odpowiednio:

$$R_c = 6,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R_c} = 1,5 \text{ MPa}$$

$$R_c \min.g = 4,2 \text{ MPa}$$

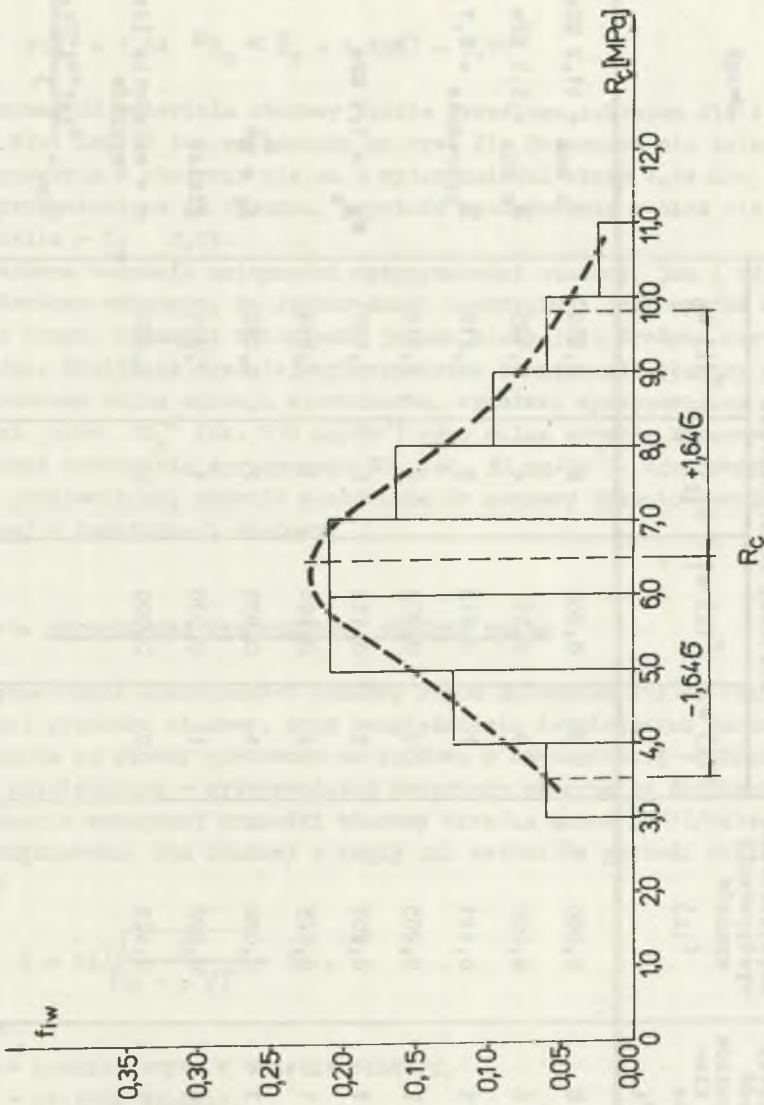
$$\nu_{R_c} = 22,8\%$$

$$K_{R_c} = 0,53$$

Na podstawie szeregu rozdzielczego (tablica 16) wyników wykreślono, histogram (rys. 21) charakteryzujący prawdopodobny rozkład wartości wytrzymałości obudowy. Największą częstość występowania wyników stwierdza się w zakresie wytrzymałości od 5,2 MPa do 8,3 MPa, tj. dla przedziału  $\bar{R}_c \pm 6$ :

$$\bar{R}_c - 6 < \bar{R}_c < \bar{R}_c + 6$$





Rys. 21. Wykres zmienności wytrzymałości obudowy murowej szybu "Z"  
Fig. 21. Diagram of changes of brick shaft lining strength "Z"

Tablica 16

Szereg rozdzielczy wyników pomiarów wytrzymałości obudowy szybu "Z"

| Lp. | Przedział klasowy wytrzymałości, MPa | Liczba wyników w klasie $n_i$ | Gęstość występowania wyników $f(i)$ | Wartości interpolowane |            |            |            | Uwagi  |
|-----|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------|------------|------------|--|
|     |                                      |                               |                                     | $n(i) w_1$             | $f(i) w_1$ | $n(i) w_2$ | $f(i) w_2$ |  |
| 1   | 3,0-4,0                              | 0                             | 0,000                               | 0                      | 0,000      | 2          | 0,062      | $R_o \text{ max} = 11,2 \text{ MPa}$<br>$R_o \text{ min} = 5,1 \text{ MPa}$<br>$\bar{R}_o / \text{średnie} = 6,7 \text{ MPa}$<br>$\sigma_{R_o} = 1,5 \text{ MPa}$<br>$f_i = \frac{n_i}{n}$<br>gdzie:<br>$n$ - całkowita liczba wyników<br>$n_{iW} = \frac{n_{i-1} + n_i + n_{i+1}}{3}$ |
| 2   | 4,0-5,0                              | 0                             | 0,000                               | 5                      | 0,151      | 4          | 0,125      |  |
| 3   | 5,0-6,0                              | 15                            | 0,441                               | 7                      | 0,212      | 7          | 0,218      |  |
| 4   | 6,0-7,0                              | 7                             | 0,205                               | 10                     | 0,303      | 7          | 0,218      |  |
| 5   | 7,0-8,0                              | 7                             | 0,205                               | 5                      | 0,151      | 6          | 0,187      |  |
| 6   | 8,0-9,0                              | 1                             | 0,029                               | 4                      | 0,121      | 3          | 0,094      |  |
| 7   | 9,0-10,0                             | 3                             | 0,088                               | 1                      | 0,030      | 2          | 0,062      |  |
| 8   | 10,0-11,0                            | 0                             | 0,000                               | 1                      | 0,030      | 1          | 0,031      |  |
| 9   | 11,0                                 | 1                             | 0,029                               | 0                      | 0,000      | 0          | 0,000      |  |

Dla przyjmowanego powszechnie w tego typu analizach przedziału  $\bar{R}_c \pm 1,64$ , w którym określa się z prawdopodobieństwem równym 0,95 możliwość występowania wyników, tj. dla warunku

$$P(\bar{R}_c - 1,64 \sigma_{R_c} < \bar{R}_c + 1,64 \sigma_{R_c}) = 0,95$$

wytrzymałość materiału obudowy będzie określona zakresem dla 4,24 MPa do 9,16 MPa. Zakres ten zaznaczono na rys. 21. Dopuszcza się zatem możliwość występowania w obudowie miejsc o wytrzymałości około 4,24 MPa, przy czym, jak przedstawiono na rysunku, częstość występowania takich miejsc jest niewielka -  $f_1 = 0,07$ .

Zarówno wskaźnik zmienności wytrzymałości obudowy, jak i odchylenie standardowe wskazują, że jednorodność konstrukcji jest wysoka w porównaniu z innymi badanymi obiektami, jednak niska jest średnia wartość wytrzymałości. Obniżenie średniej wytrzymałości konstrukcji obudowy może być spowodowane silną agresją siarczanową, wywołaną występowaniem nadmiernej ilości jonów  $SO_4^{2-}$  (ok. 839 mg/dm<sup>3</sup>) oraz silną agresją kwasowo-węglową, wywołaną obecnością agresywnego  $CO_2$  (ok. 33 mg/dm<sup>3</sup>). Agresywny charakter wody przejawia się głównie w stosunku do zaprawy cementowo-wapiennej, stosowanej w konstrukcji obudowy.

#### 4.4. Sprawdzenie stateczności obudowy szybu

Sprawdzenie stateczności obudowy szybu sprowadza się do obliczenia wymaganej grubości obudowy, przy uwzględnieniu istniejących warunków, tj. ciśnienia ze strony górotworu na obudowę i rzeczywistej - określonej metodą nieniszcząca - wytrzymałości materiału obmurza na ściskanie. Sposób obliczenia wymaganej grubości obudowy określa norma BN-72/0434-03.

Przykładowo, dla obudowy z cegły lub betonitów grubość oblicza się ze wzoru

$$d = a \left( \sqrt{\frac{K}{k - p \sqrt{3}}} - 1 \right),$$

gdzie:

- a - promień szybu w świetle obudowy,
- d - grubość obudowy,
- p - obciążenie obliczeniowe górotworu na obudowę szybu,
- K - naprężenie dopuszczalne na ściskanie muru z cegły lub betonitu

$$K = \frac{R_c \min \cdot g}{\gamma}$$



gdzie:

$R_{c \min.g}$  - dolna graniczna wytrzymałość na ściskanie

$$R_{c \min.g} = \bar{R} - t_{\min} \cdot \sigma_{R_c}$$

$\bar{R}$  - średnia wytrzymałość na ściskanie określona metodą nieniszcząca,

$t_{\min}$  - współczynnik ufności zależny od rodzaju przyjętego rozkładu wytrzymałości oraz założonego prawdopodobieństwa P, przekroczenia wartości  $R_{\min}$ . Współczynnik ufności  $t_{\min}$  dla rozkładu normalnego wytrzymałości wynosi 1,64,

$\sigma_{R_c}$  - odchylenie standardowe wytrzymałości,

S - współczynnik bezpieczeństwa zależny od warunków hydrogeologicznych ( $S = 2,0$  lub  $S = 2,5$ ).

Obliczoną grubość porównuje się z grubością rzeczywistą obudowy na analizowanym odcinku szybu.

#### 4.5. Analiza wyników pomiarów wytrzymałości górniczych obudów szybowych w rejonie GOP

W Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej prowadzone są od wielu lat badania wytrzymałości obudów szybowych szybów na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Wyniki tych badań oraz parametry statystyczne doraźnej wytrzymałości na ściskanie zestawiono w tablicy 17.

Badania były prowadzone w szybach o następujących rodzajach obudowy szybowej: ceglana, betonitowa i betonowa. Największą liczbę wśród przebadanych szybów stanowią szyby o obudowie ceglanej, która występuje najczęściej w szybach o długim okresie eksploatacji. W szybach nowych o stosunkowo krótkim okresie eksploatacji występuje również obudowa betonowa lub betonitowa, czasem występuje w jednym szybie kilka rodzajów obudowy.

Przedstawione w tablicy szyby charakteryzują się znaczną rozpiętością okresu ich eksploatacji. Najstarszym zgłębnionym szybem przedstawionym w tablicy jest szyb "Bartosz" KWK "Katowice", który został zgłębniony w 1934 r. a najmłodszym szyb S.1.2. Kopalni "Bogdanka" zgłębniony w 1976 r.

Można by sądzić, że największą wytrzymałość na ściskanie oraz najlepsze parametry statystyczne powinny mieć szyby o krótkim okresie eksploatacji. Jednak z przedstawionych wyników wytrzymałościowych oraz parametrów statystycznych poszczególnych szybów wynika, że powyższe wnioski mogą być błędne. Oczywiście istnieją szyby stare o bardzo małej wytrzymałości na ściskanie i niekorzystnych parametrach statystycznych. Do nich należą np.: szyb "Józef" KWK Bobrek  $R_{c \min} = 5,1$  MPa, a  $\bar{R}_c = 6,7$  MPa,

Tablica 17

Wyniki ultradźwiękowych pomiarów oraz parametry statystyczne doraźnej wytrzymałości na sciskanie obudów szybowych niektórych szybów na terenie GOP

| Lp. | Nazwa szybu i kopalni               | Rok zakł. bież. | Przeznaczenie szybu | Rodzaj obudowy | Kształt szybu obudowy | Wartości pomierzone |                        |                        |                                | Parametry statystyczne     |                 |                         |  |
|-----|-------------------------------------|-----------------|---------------------|----------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|--|
|     |                                     |                 |                     |                |                       | R <sub>c</sub> MPa  | R <sub>c</sub> max MPa | R <sub>c</sub> min MPa | σ <sub>R<sub>c</sub></sub> MPa | K <sub>R<sub>c</sub></sub> | √R <sub>c</sub> | R <sub>c</sub> ming MPa |  |
| 1   | 2                                   | 3               | 4                   | 5              | 6                     | 7                   | 8                      | 9                      | 10                             | 11                         | 12              | 13                      |  |
| 1   | Wywolenie I KWK Barbara Chorzów     | 1905            | wydobywczy          | muruwoceglana  | okrągły               | 11,44               | 24,00                  | 5,30                   | 3,86                           | 0,44                       | 33,7            | 5,08                    |  |
| 2   | S-II KWK Siemiano-wice              | 1935            | "                   | "              | "                     | 13,59               | 24,00                  | 5,00                   | 5,45                           | 0,34                       | 40,1            | 4,60                    |  |
| 3   | Wit Stwoszc KWK Powstańców Śląskich | 1872            | "                   | "              | "                     | 9,44                | 22,90                  | 5,10                   | 4,20                           | 0,27                       | 44,5            | 2,51                    |  |
| 4   | Józef KWK Bobrek                    | 1908            | "                   | "              | "                     | 6,74                | 11,20                  | 5,10                   | 1,54                           | 0,63                       | 22,3            | 4,20                    |  |
| 5   | Mieczysław KWK Pstrowski            | 1900            | "                   | "              | "                     | 9,64                | 17,30                  | 5,40                   | 4,40                           | 0,25                       | 45,9            | 2,38                    |  |
| 6   | Szyb II KWK Polska                  | 1906            | wentylacyjny        | "              | "                     | 14,07               | 21,30                  | 7,70                   | 2,73                           | 0,69                       | 19,20           | 9,56                    |  |
| 7   | Anna KWK Sosnowiec                  | 1900            | wydobywczy          | muruwoceglana  | okrągły               | 12,90               | 17,50                  | 8,30                   | 4,60                           | 0,41                       | 35,7            | 5,39                    |  |

| 1  | 2                                       | 3    | 4  | 5                                      | 6             | 7                     | 8                     | 9                    | 10                  | 11                  | 12                    | 13                  |
|----|---|------|--|--|---------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| 8  | Wyzwolenie II<br>KWK Barbara<br>Chorzów | 1903 | materia-<br>łowo-wy-<br>dobywczy<br>jazda<br>ludzi | murowo-<br>ceglana                     | okrągły       | 13,35                 | 23,00                 | 5,00                 | 4,93                | 0,39                | 36,9                  | 5,24                |
| 9  | Jadwiga<br>KWK Czerwone<br>Zagłębie     | 1912 | wydobyw-<br>czy                                    | "                                      | bezoko-<br>wy | 7,57                  | 13,00                 | 5,70                 | 1,93                | 0,60                | 24,1                  | 4,56                |
| 10 | Bończyk<br>KWK<br>Rozbark               | 1865 | "  | "                                      | "             | 14,38                 | 23,00                 | 6,50                 | 5,43                | 0,38                | 37,74                 | 5,47                |
| 11 | Julian<br>KWK<br>Julian                 | 1948 | wentyla-<br>cyjno-ma-<br>teriálny                  | "                                      | okrągły       | 18,73                 | 22,00                 | 12,20                | 2,49                | 0,79                | 13,3                  | 14,63               |
| 12 | Jan II<br>KWK<br>Dęblensko              | 1900 | wydobyw-<br>czy                                    | "                                      | "             | 13,97                 | 19,80                 | 7,70                 | 2,89                | 0,34                | 20,7                  | 9,20                |
| 13 | Szyb II<br>KWK<br>Gliwice               | 1910 | zjazdowo-<br>wydobyw-<br>czo-mate-<br>riálny       | "                                      | "             | 13,47                 | 19,80                 | 4,26                 | 4,99                | 0,38                | 37,06                 | 5,17                |
| 14 | Szymon<br>KWK<br>Halenba                | 1954 | wentyla-<br>cyjny                                  | "                                      | "             | 20,27                 | 30,70                 | 8,20                 | 4,59                | 0,63                | 22,66                 | 12,69               |
| 15 | Reymont<br>KWK<br>Andaluzja             | 1960 | wydobyw-<br>czy                                    | murowo-<br>-ceglana<br>betoni-<br>towa | "             | $\frac{13,76}{11,91}$ | $\frac{23,80}{13,20}$ | $\frac{6,90}{10,20}$ | $\frac{4,04}{1,31}$ | $\frac{0,52}{0,52}$ | $\frac{29,39}{11,00}$ | $\frac{7,09}{9,75}$ |
| 16 | Czułów II<br>KWK<br>Murekl              | 1960 | materia-<br>łowo-wen-<br>tylacyjny                 | betoni-<br>towa                        | "             | 16,15                 | 25,60                 | 12,20                | 2,14                | 0,78                | 13,22                 | 12,62               |

| 1  | 2                                  | 3    | 4                 | 5                                   | 6         | 7              | 8              | 9            | 10           | 11           | 12            | 13            |
|----|------------------------------------|------|-------------------|-------------------------------------|-----------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 17 | Grunwald II<br>KWK<br>Halenba      | 1962 | wydobyw-<br>czy   | muruwo-<br>cegłana<br>betono-<br>wa | okragły   | 23,58<br>16,39 | 31,70<br>27,10 | 8,40<br>7,40 | 4,80<br>4,01 | 0,65<br>0,60 | 21,07<br>24,4 | 15,68<br>9,78 |
| 18 | Grunwald I<br>KWK<br>Halenba       | 1963 | "                 | muruwo-<br>cegłana                  | "         | 22,20          | 32,00          | 12,30        | 4,21         | 0,69         | 18,96         | 15,26         |
| 19 | Szczepan<br>KWK<br>Sosnowiec       | 1966 | "                 | monoli-<br>tyczno-<br>betonowa      | "         | 13,03          | 27,20          | 0,00         | 5,97         | 0,24         | 45,9          | 3,19          |
| 20 | Zokietek<br>KWK<br>Mysłowice       | 1926 | wentyla-<br>cyjny | muruwo-<br>cegłana                  | "         | 7,69           | 18,60          | 4,60         | 2,42         | 0,65         | 21,35         | 7,00          |
| 21 | Wschodni I<br>KWK<br>Mysłowice     | 1928 | "                 | "                                   | "         | 12,35          | 30,10          | 7,60         | 2,13         | 0,72         | 17,24         | 8,84          |
| 22 | Sosnowiec<br>KWK<br>Sosnowiec      | 1878 | wydobyw-<br>czy   | "                                   | bezcłkowy | 12,93          | 2,15           | 7,60         | 2,83         | 0,61         | 23,5          | 7,27          |
| 23 | Bartosz<br>KWK<br>Katowice         | 1934 | "                 | "                                   | "         | 14,77          | 22,00          | 6,00         | 4,61         | 0,49         | 31,2          | 7,17          |
| 24 | Warszawa<br>KWK<br>Katowice        | 1880 | "                 | "                                   | "         | 8,03           | 17,90          | 3,60         | 2,84         | 0,42         | 35,3          | 3,35          |
| 25 | Anna<br>KWK<br>Czerwona<br>Gwardia | 1905 | "                 | cegłana                             | "         | 11,08          | 15,3           | 7,0          | 2,17         | 0,68         | 19,58         | 7,53          |

cd. tablicy 17

| 1  | 2                                    | 3    | 4                                       | 5                          | 6         | 7                       | 8                       | 9                      | 0                     | 11                      | 12                    | 13                     |
|----|--------------------------------------|------|---|----------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| 26 | Tedeusz<br>KWK<br>Pstrowski          | 1854 | wydobyw-<br>czy                         | cegłana                    | beczkiowy | 19,3                    | 26,7                    | 12,2                   | 3,88                  | 0,67                    | 19,8                  | 12,94                  |
| 27 | Pólnocny<br>KWK<br>Miechowice        | 1925 | wentyla-<br>cyjno-<br>materia-<br>łowy  | "                          | okrągły   | 13,34                   | 20,0                    | 9,9                    | 2,26                  | 0,75                    | 16,94                 | 9,64                   |
| 28 | Walery<br>KWK Gen.<br>Zawadzki       | 1941 | "                                       | "                          | "         | 18,8                    | 28,0                    | 11,6                   | 3,7                   | 0,63                    | 19,7                  | 12,7                   |
| 29 | Zawadzki<br>KWK Gen.<br>Zawadzki     | 1890 | wydobyw-<br>czy                         | cegłana<br>i beto-<br>nowa | beczkiowy | 17,29                   | 28,8                    | 11,0                   | 4,21                  | 0,66                    | 24,3                  | 10,4                   |
| 30 | Julian<br>KWK<br>Czerwona<br>Gwardia | 1903 | podszad-<br>kowy                        | cegłana                    | "         | 19,6                    | 26,0                    | 10,1                   | 4,64                  | 0,61                    | 23,7                  | 12                     |
| 31 | Pużawski<br>KWK<br>Pstrowski         | 1898 | wentyla-<br>cyjno-ma-<br>teriało-<br>wy | "                          | okrągły   | 19,2                    | 25,2                    | 11,2                   | 3,0                   | 0,74                    | 15,6                  | 14,3                   |
| 32 | Pólnocny I<br>KWK<br>Halemba         | 1960 | wentyla-<br>cyjno-<br>podszad-<br>kowy  | cegłana<br>betoni-<br>towa | "         | 12,4<br><del>15,9</del> | 19,6<br><del>26,0</del> | 8,0<br><del>10,4</del> | 2,0<br><del>3,7</del> | 0,70<br><del>0,66</del> | 17<br><del>21,0</del> | 7,8<br><del>10,0</del> |

cd. tablicy 17

| 1  | 2  | 3    | 4                                      | 5                          | 6                    | 7                       | 8                       | 9                       | 10                    | 11                      | 12                      | 13                      |
|----|--|------|--|----------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 33 | Klara<br>KWK Wawel                             | 1960 | wentyla-<br>cyjny                      | cegłana                    | bezcokowy<br>okrągły | 15,6                    | 22,6                    | 7,9                     | 2,6                   | 0,74                    | 16,4                    | 11,4                    |
| 34 | Piotr<br>KWK<br>Xnurów                         | 1903 | wydozyw-<br>czy                        | "                          | okrągły              | 17,2                    | 25,4                    | 8,3                     | 4,3                   | 0,59                    | 24,8                    | 10,2                    |
| 35 | Stalmach<br>KWK<br>Rozbark                     | 1880 | "                                      | "                          | bezcokowy            | 6,4                     | 15,4                    | 3,8                     | 1,7                   | 0,57                    | 26                      | 3,7                     |
| 36 | Zygmunt<br>August II<br>KWK Barbara<br>Chorzów | 1924 | wentyla-<br>cyjny                      | cegłana<br>betoni-<br>towa | okrągły              | <del>18,7</del><br>13,5 | <del>25,7</del><br>17,8 | <del>10,4</del><br>10,4 | <del>2,6</del><br>2,0 | <del>0,77</del><br>0,77 | <del>13,9</del><br>15,2 | <del>14,5</del><br>10,2 |
| 37 | Witold II<br>KWK Komuna<br>Paryska             | 1968 | wydozyw-<br>czy                        | "                          | okrągły              | <del>20,4</del><br>18,8 | <del>24,5</del><br>31,5 | <del>13,7</del><br>11,6 | <del>3,6</del><br>5,9 | <del>0,71</del><br>0,48 | <del>17,3</del><br>31,4 | <del>14,9</del><br>9,1  |
| 38 | Brzeźkowi-<br>ce KWK<br>Komuna<br>Paryska      | 1970 | wentyla-<br>cyjno-<br>podszad-<br>kowy | cegłana                    | okrągły              | 12,24                   | 15,7                    | 7,3                     | 2,26                  | 0,7                     | 18,4                    | 8,5                     |
| 39 | Koszelew<br>KWK<br>Generał<br>Zawadzki         | 1871 | wentyla-<br>cyjno-<br>materia-<br>łowy | "                          | bezcokowy            | 18,55                   | 25,5                    | 12,6                    | 3,4                   | 0,7                     | 18,4                    | 12,7                    |

szyb "Łokietek" KWK Mysłówice  $R_{C \min} = 4,6$  MPa a  $\bar{R}_C = 7,6$  MPa. Istnieją jednak i szyby nowe, np. szyb "Szczepan" KWK Sosnowiec, rok budowy 1966, którego  $\bar{R}_C = 13,0$  MPa, jednak w obudowie szybu istnieją lokalnie miejsca skorodowane, charakteryzujące się brakiem wytrzymałości mechanicznej. Podobne obniżenia wytrzymałości mechanicznej występuje w nowym szybie S.1.2. Kopalni "Bogdanka".

Pomierzone wartości wytrzymałości obudów szybowych poszczególnych szybów przedstawionych w tabelicy 17 wykazują znaczne zróżnicowanie od wartości minimalnej  $R_{C \min} = 0,0$  MPa do wartości maksymalnej  $R_{C \max} = 32,0$  MPa, przy odchyleniach standardowych wytrzymałości w zakresie  $\sigma_{R_C} = 1,3$  MPa - 5,9 MPa. Przeprowadzone pomiary wykazują, że obudowy murowo-ceglane charakteryzują się niższą od konstrukcji betonowych jednorodnością, o czym świadczą wysokie wartości współczynnika zmienności wytrzymałości  $v_{(R_C)} = 13,3-45,9\%$ . Duże zróżnicowanie współczynnika zmienności wytrzymałości  $v_{(R_C)}$  dla obudów murowych ceglanych jest spowodowane właściwościami materiału, głównie cegły [19]. Jak wykazano [19], cegły charakteryzują się dużym współczynnikiem zmienności prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej  $v_{(V_L)} = 9,7\%-22,0\%$ . Współczynnik ten maleje wraz ze wzrostem klasy cegły. Ustalono, że o niejednorodności obudów murowych - ceglanych szybów decyduje niejednorodność cegieł stosowanych do wykonania obudowy, gdyż analogiczne współczynniki zmienności prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej dla zapraw wynoszą  $v_{(V_L)} = 3,0-4,0\%$ . W literaturze [2, 3] przedstawiono klasyfikację jednorodności betonu w zależności od współczynnika zmienności  $v_{(R_C)}$ , którą przytoczono w tabelicy 18.

Tabelica 18

Klasyfikacja jednorodności betonu w zależności od współczynnika jednorodności i współczynnika zmienności wg ITBI

| Współczynnik jednorodności $K_{(R_C)}$ | Współczynnik zmienności $v_{R_C} \%$ | Jednorodność betonu |
|--|--------------------------------------|---------------------|
| powyżej 0,84                           | poniżej 10                           | wyborowa            |
| 0,75-0,84                              | 10-15                                | dobra               |
| 0,67-0,74                              | 16-20                                | dostateczna         |
| poniżej 0,67                           | powyżej 20                           | niska               |

Podjęto próbę klasyfikacji jednorodności szybowych obudów murowych - ceglanych, którą przytoczono w tablicy 19. Na podstawie powyższej klasyfikacji w tablicy 20 zestawiono obliczone współczynniki dla badanych obudów szybowych. Bardzo dobrą jednorodność obudowy ma 20,8% szybów, dobrą jednorodność 26,6%, dostateczną 2,6% i niską 50% szybów. Duży udział szybów o stwierdzonej niskiej jednorodności i jednocześnie niskiej wartości średniej doraźnej wytrzymałości na ściskanie materiału obudowy uwidacznia, jak wiele obiektów narażonych jest na destruktywny wpływ środowiska. Względy bezpieczeństwa eksploatacji szybów nakazują więc prowadzenie nieniszczących badań wytrzymałościowych w celu wykrycia i zlokalizowania stref obudowy zagrożonych utratą stateczności, umożliwiając w ten sposób odpowiednio wczesne rozpoczęcie prac profilaktycznych.

Tablica 19

Klasyfikacja jednorodności obudowy murowo-ceglanej szybów w zależności od współczynnika jednorodności i współczynnika zmienności

| Współczynnik jednorodności<br>$K(R_c)$ | Współczynnik zmienności<br>$\sqrt{R_c} \%$ | Jednorodność obudowy ceglanej |
|--|--|-------------------------------|
| powyżej 0,67                           | poniżej 20                                 | bardzo dobra                  |
| 0,67-0,59                              | 20-25                                      | dobra                         |
| 0,59-0,50                              | 25-30                                      | dostateczna                   |
| poniżej 0,50                           | powyżej 30                                 | niska                         |

Tablica 20

Zestawienie jednorodności obudów szybowych

| Lp. | Nazwa szybu i kopalni               | Współczynnik jednorodności<br>$K(R_c)$ | Współczynnik zmienności<br>$\sqrt{R_c} \%$ | Jednorodność obudowy |
|-----|-------------------------------------|--|--|----------------------|
| 1   | 2                                   | 3                                      | 4  | 5                    |
| 1   | Wyzwolenie I<br>KWK Barbara Chorzów | 0,44                                   | 33,7                                       | niska                |
| 2   | S II<br>KWK Siemianowice            | 0,34                                   | 40,1                                       | niska                |
| 3   | Wit Stwosż<br>KWK Powstańców Śl.    | 0,27                                   | 44,5                                       | niska                |
| 4   | Józef<br>KWK Bobrek                 | 0,63                                   | 22,8                                       | dobra                |
| 5   | Mieczysław<br>KWK Pstrowski         | 0,25                                   | 45,9                                       | niska                |



| 1  | 2                                    | 3    | 4     | 5                |
|----|--------------------------------------|------|-------|------------------|
| 6  | Szyb II<br>KWK Polska                | 0,69 | 19,2  | b. dobra         |
| 7  | Anna<br>KWK Sosnowiec                | 0,41 | 35,7  | niska            |
| 8  | Wyzwolenie II<br>KWK Barbara Chorzów | 0,39 | 36,9  | niska            |
| 9  | Jadwiga<br>KWK Czerwone Zagłębie     | 0,60 | 24,1  | dobra            |
| 10 | Bończyk<br>KWK Rozbark               | 0,38 | 37,74 | niska            |
| 11 | Szyb II<br>KWK Gliwice               | 0,38 | 37,06 | niska            |
| 12 | Jan II<br>KWK Dębieńsko              | 0,34 | 20,7  | niska            |
| 13 | Łokietek<br>KWK Mysłowice            | 0,65 | 21,35 | dobra            |
| 14 | Wschodni I<br>KWK Mysłowice          | 0,72 | 17,24 | b. dobra         |
| 15 | Sosnowiec<br>KWK Sosnowiec           | 0,61 | 23,5  | dobra            |
| 16 | Bartosz<br>KWK Katowice              | 0,49 | 31,2  | niska            |
| 17 | Warszawa<br>KWK Katowice             | 0,42 | 35,3  | niska            |
| 18 | Julian II<br>KWK Julian              | 0,79 | 13,3  | b. dobra         |
| 19 | Szymon<br>KWK Halemba                | 0,63 | 22,66 | dobra            |
| 20 | Reymont<br>KWK Andalużja             | 0,52 | 29,39 | dosta-<br>teczna |
| 21 | Czułów II<br>KWK Murcki              | 0,78 | 13,22 | b. dobra         |
| 22 | Grunwald II<br>KWK Halemba           | 0,65 | 21,07 | dobra            |
| 23 | Grunwald I<br>KWK Halemba            | 0,69 | 18,96 | b. dobra         |
| 24 | Szczepan<br>KWK Sosnowiec            | 0,24 | 45,9  | niska            |

#### 4.5.1. Ocena rodzaju i stopnia agresywności wód występujących w przebadanych szybach

Jednym z głównych czynników wpływających na wytrzymałość konstrukcji obudów szybowych jest wpływ agresywnego środowiska wodnego. Ocena rodzaju i stopnia agresywności 100 próbek wody występującej w 40 przebadanych szybach (tablica 21) dokonano zgodnie z normą PN-80/B-01800 korzystając z tej jej części, która dotyczy rodzaju i stopnia agresywności wód naturalnych w odniesieniu do betonu zawierającego 300 kg/m<sup>3</sup> cementu. Przyjęto również te same kryteria przy ocenie agresywności wody w odniesieniu do zaprawy wapienno-cementowej stosowanej w obudowie murewej.

Wyniki oceny rodzaju i stopnia agresywności próbek wody podano w tablicy 21 przy czym wielkości liczbowe w poszczególnych rubrykach wyrażają zarazem wartość bezwzględną, jak i procentową ze względu na ilość przebadanych próbek w liczbie 100. Spośród 100 ocenionych próbek wody tylko 10 miało charakter nieagresywny. Spośród 90 próbek wody o charakterze agresywnym, 51 próbek charakteryzowało się tylko jednym rodzajem agresywności, w tym 41 próbek agresywnością siarczanową. Pozostała ilość próbek wody (39) cechowała się co najmniej dwoma rodzajami agresywności.

Agresywność siarczanowa jest najczęściej (78%) pojawiającą się cechą w ocenionych próbkach wód występujących w szybach. Jest ona zróżnicowana pod względem stopnia agresywności, przedstawiając się następująco:  $m_a$  (34%),  $h_a$  (27%),  $l_{a2}$  (14%) oraz  $l_{a1}$  (3%).

Agresywność żugująca wykazuje daleko mniejsza ilość próbek wody (17%) w tym  $l_{a2}$  (10%) i  $l_{a1}$  (7%).

Agresywność magnezowa występuje w 16 próbkach wody (16%) wyłącznie w stopniu bardzo słabym ( $l_{a1}$ ).

Agresywność kwasowa występuje w 13 (13%) próbkach wody, w tym w stopniu  $l_{a1}$  (6%),  $l_{a2}$  (4%) oraz  $h_a$  (3%).

Podobnie agresywność węglanową wykazuje tylko 13 (13%) próbek wody w tym stopniu  $l_{a2}$  (8%),  $l_{a1}$  (4%) oraz  $m_a$  (1%).

Opierając się na przeprowadzonej ocenie rodzaju i stopnia agresywności 100 próbek wody z 40 przebadanych szybów można w odniesieniu do tych przypadków sformułować następujące wnioski:

- zaledwie 10% przebadanych próbek wody wykazało charakter nieagresywny,
- 52% próbek wody charakteryzuje się tylko jednym rodzajem agresywności, a pozostałe co najmniej dwoma rodzajami,
- dominująca jest agresywność siarczanowa (78%), głównie w stopniu średnim  $m_a$  (34%) i silnym  $h_a$  (27%),
- pozostałe rodzaje agresji występują o wiele rzadziej a mianowicie: żugująca (17%), magnezowa (16%), kwasowa (13%) i węglanowa (13%),

Rodzaj i stopień agresywności wód występujących w przebadanych szybach

| Lp. | Nazwa szybu,<br>kopalni                      | Rodzaj<br>obudowy                                   | Głębokość<br>pobranej<br>próbki<br>m | pH                | T <sub>w</sub><br>°C | Zawartość w mg·dm <sup>-3</sup> |                          |                              |                               | Rodzaj i stopień<br>agresywności  |
|-----|--|---|--------------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
|     |  |   |                                      |                   |                      | CO <sub>2</sub><br>agr.         | Mg <sup>2+</sup>         | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |   |
| 1   | 2  | 3   | 4                                    | 5                 | 6                    | 7                               | 8                        | 9                            | 10                            | 11  |
| 1   | Wyzwolenie II<br>KWK<br>Barbara-Chorzów      | betonowa  | 90<br>150                            | -<br>3,8          | 7,0<br>28,6          | 13,2<br>-                       | 9,83<br>6,8              | 9<br>-                       | 40,31<br>1556,00              | węglanowa I <sub>a2</sub><br>kwasowa b <sub>a</sub> ,<br>siarczanowa b <sub>a</sub>   |
| 2   | Wyzwolenie<br>KWK<br>Barbara-Chorzów         |   |                                      | 5,8               | 9,0                  | 6,4                             | 12,2                     | -                            | 1625,00                       | kwasowa I <sub>y2</sub><br>czanowa H <sub>a</sub>   |
| 3   | Zygmunt August III<br>KWK<br>Barbara-Chorzów | 0-300 m ce-<br>glana, poni-<br>żej betoni-<br>towa  | 56<br>rza-<br>pie                    | 7,8<br>8,0        | 14,3<br>8,7          | 22,0<br>0,0                     | 48,94<br>72,10           | 0,0<br>0,0                   | 447,6<br>622,85               | węglanowa I <sub>a2</sub> i<br>siarczanowa I <sub>a2</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub>  |
| 4   | Zygmunt August II<br>KWK<br>Barbara-Chorzów  | do 300 m ce-<br>glana, poni-<br>żej betonito-<br>wa | rza-<br>pie                          | 7,6               | 8,2                  | 22,0                            | 98,0                     | 0,0                          | 756,56                        | węglanowa I <sub>a2</sub> i<br>siarczanowa m <sub>a</sub>   |
| 5   | Kolejowy I<br>KWK<br>Barbara-Chorzów         | do 365 m ce-<br>glana, poni-<br>żej betoni-<br>towa | 60<br>66<br>187                      | 7,8<br>7,6<br>3,5 | 16,8<br>15,4<br>0,0  | 0,0<br>4,4<br>127,6             | 37,94<br>33,30<br>100,19 | 0,0<br>0,96<br>1,94          | 456,71<br>341,05<br>2308,32   | siarczanowa I <sub>a2</sub><br>siarczanowa I <sub>a1</sub><br>kwasowa b <sub>a</sub> , węglano-<br>wa m <sub>a</sub> i siarczanowa h <sub>a</sub> |
|     |  |   | 270                                  | 7,9               | 7,3                  | 30,8                            | 107,13                   | 0,0                          | 1477,74                       | węglanowa I <sub>a2</sub> i siar-<br>czanowa h <sub>a</sub>   |
|     |  |   | 450<br>rza-<br>pie                   | 8,1<br>7,7        | 21,8<br>15,7         | 4,4<br>0,0                      | 60,80<br>143,50          | 0,0<br>0,0                   | 1920,82<br>1832,03            | siarczanowa h <sub>a</sub><br>siarczanowa h <sub>a</sub>  |

| 1  | 2                                  | 3   | 4                                       | 5                                      | 6   | 7                                  | 8  | 9                                   | 10  | 11  |
|----|------------------------------------|---|---|--|---|------------------------------------|--|-------------------------------------|---|---|
| 6  | Jadwiga - KWK<br>Czerwone Zagłębie | betonowa                                      | 170                                     | 7,8                                    | 14,4  | 0,0                                | 28,33  | -                                   | 190,89  | nieagresywna  |
| 7  | Piotr - KWK<br>Czerwone Zagłębie   | betonitowa                                    |   | 7,0                                    | 8,9   | -                                  | 309,69   | -                                   | 510,00  | magnezowa l <sub>a1</sub> i<br>siarczanowa m <sub>a</sub>   |
| 8  | Ryszard - KWK<br>Czerwone Zagłębie |   | 102                                     | 5,4                                    | 22,2  | -                                  | 132,45   | -                                   | 762,9   | kwasowa l <sub>a2</sub> i siar-<br>czanowa m <sub>a</sub>   |
|    |                                    |   | rzą-<br>pie                             | 6,2                                    | 42,56                                       | -                                  | 110,5  | -                                   | 686,0   | kwasowa l <sub>a2</sub> i siar-<br>czanowa m <sub>a</sub>   |
| 9  | S-II<br>KWK<br>Siemianowice        | do 200 m ce-<br>glana, poni-<br>żej żelbetowa | 18<br>184                               | 8,2<br>8,4                             | 22,9<br>21,7                                | -                                  | 87,28<br>152,20                                  | -                                   | 644,03<br>1079,42                                     | siarczanowa m <sub>a</sub> oraz<br>magnezowa l <sub>a1</sub> h <sub>a</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub>   |
| 10 | Anna<br>KWK<br>Sosnowiec           | cegłana                                       | 18                                      | 7,0                                    | 20,1  | -                                  | 180,56   | 0,35                                | 1108,99   | magnezowa l <sub>a1</sub> i<br>siarczanowa h <sub>a</sub><br>nieagresywna<br>siarczanowa m <sub>a</sub>   |
|    |                                    |   | 160                                     | -                                      | 11,1<br>14,5                                | 0,0<br>0,0                         | 32,33<br>109,80                                  | 0,25<br>0,32                        | 41,15<br>803,65                                       |   |
| 11 | Szczepan<br>KWK<br>Sosnowiec       | betonowa                                      | 2,5<br>3,0<br>4,5<br>7,9<br>8,0<br>21,5 | 7,5<br>7,0<br>7,2<br>7,5<br>7,0<br>8,3 | 9,8<br>16,2<br>17,1<br>15,9<br>14,5<br>10,3 | 0,0<br>0,0<br>-<br>0,0<br>0,0<br>- | 60,4<br>43,2<br>76,86<br>112,3<br>20,7<br>153,72 | 0,0<br>0,0<br>1,25<br>-<br>-<br>1,6 | 631,4<br>733,5<br>929,16<br>2749,0<br>459,2<br>950,15 | siarczanowa m <sub>a</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub><br>siarczanowa h <sub>a</sub><br>siarczanowa l <sub>a2</sub> oraz<br>magnezowa l <sub>a1</sub> m <sub>a1</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub> |
|    |                                    |   | 51,5                                    | 7,1                                    | 21,3  | -                                  | 230,58   | 1,95                                | 1342,18   | magnezowa l <sub>a1</sub> oraz<br>siarczanowa h <sub>a</sub>  |
|    |                                    |   | 77,0                                    | 8,1<br>7,8                             | 17,6<br>19,4                                | -                                  | 140,3<br>170,8                                   | 1,25<br>-                           | 822,17<br>1069,90                                     | siarczanowa m <sub>a</sub><br>magnezowa l <sub>a1</sub> h <sub>a</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub>  |
| 12 | Sosnowiec<br>KWK Sosnowiec         |   |   | 7,2                                    | 13,6  | -                                  | 52,46  | -                                   | 847,69  | siarczanowa m <sub>a</sub>  |

| 1  | 2                           | 3  | 4                            | 5                        | 6                            | 7                 | 8                                 | 9                           | 10                                   | 11  |
|----|-----------------------------|--|------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---|
| 13 | Jan II<br>KWK Dębieńsko     | do 22,5 m ce-<br>glana; poniżej<br>tubingowa | 112                          | 7,1                      | 12,8                         | 0,0               | 46,05                             | 0,0                         | 400,82                               | siarczanowa l <sub>a2</sub>   |
| 14 | Mieczysław<br>KWK Pstrowski | ceglana                                      | 9<br>19,5<br>27              | 7,0<br>7,9<br>7,6        | 9,5<br>11,3<br>11,4          | 0,0<br>0,0<br>0,0 | 51,07<br>89,50<br>105,67          | 0,0<br>0,0<br>0,0           | 248,96<br>389,69<br>381,97           | nieagresywna<br>siarczanowa l <sub>a2</sub><br>siarczanowa l <sub>a2</sub>  |
| 15 | Władysław<br>KWK Pstrowski  | ceglana                                      | dźwi-<br>gar<br>19           | 7,6                      | 0,28                         | -                 | 182,16                            | 0,0                         | 1081,89                              | magnezowa l <sub>a1</sub> , oraz<br>siarczanowa h <sub>a</sub><br>żugująca l <sub>a2</sub>                                  |
|    |                             |  | dźwi-<br>gar<br>63           | 7,6                      | 0,45                         | -                 | 270,20                            | 0,0                         | 1275,20                              | żugująca l <sub>a2</sub> , l <sub>a1</sub> ,<br>siarczanowa h <sub>a</sub>  |
|    |                             |  | dźwi-<br>gar<br>176          | 7,9                      | 0,84                         | -                 | 306,68                            | 0,0                         | 1973,6                               | żugująca l <sub>a2</sub> , l <sub>a1</sub> ,<br>magnezowa h <sub>a</sub><br>siarczanowa h <sub>a</sub>                      |
|    |                             |  | rzą-<br>pie                  | 7,9                      | 0,50                         | -                 | 298,16                            | 0,06                        | 1801,55                              | żugująca l <sub>a2</sub> , l <sub>a1</sub> ,<br>magnezowa l <sub>a2</sub> , l <sub>a1</sub> ,<br>siarczanowa h <sub>a</sub> |
| 16 | Tadeusz<br>KWK Pstrowski    | ceglana                                      | 126<br>217                   | 7,8<br>8,0               | 48,0<br>84,0                 | -<br>-            | 61,10<br>184,6                    | -<br>0,01                   | 658,8<br>1132,0                      | siarczanowa h <sub>a</sub> oraz<br>magnezowa l <sub>a1</sub> h <sub>a</sub><br>siarczanowa h <sub>a</sub>                   |
|    |                             |  | 305                          | 7,5                      | 92,0                         | -                 | 143,3                             | 0,02                        | 1103,2                               | siarczanowa h <sub>a</sub>  |
|    |                             |  | rzą-<br>pie                  | 8,0                      | 103,2                        | -                 | 148,2                             | 0,04                        | 1460,4                               | siarczanowa h <sub>a</sub>  |
| 17 | Puławski<br>KWK Pstrowski   | ceglana                                      | nr 1<br>nr 2<br>nr 3<br>nr 4 | 7,5<br>6,8<br>7,0<br>7,5 | 14,6<br>21,5<br>14,8<br>17,3 | -<br>-<br>-<br>-  | 81,71<br>116,24<br>96,79<br>65,29 | 0,01<br>0,03<br>0,0<br>0,05 | 953,03<br>826,23<br>819,29<br>621,36 | siarczanowa h <sub>a</sub><br>siarczanowa h <sub>a</sub><br>siarczanowa h <sub>a</sub><br>siarczanowa h <sub>a</sub>        |
|    |                             |  | rzą-<br>pie                  | 7,7                      | 10,3                         | -                 | 116,12                            | 0,01                        | 1888,37                              | siarczanowa h <sub>a</sub>  |

| 1  | 2                           | 3  | 4                            | 5                        | 6                        | 7                          | 8                               | 9                | 10                                   | 11   |
|----|-----------------------------|--|------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------------|--|
| 18 | Szyb I<br>KWK Gliwice       | cegłana,<br>betonowa<br>tubingowa<br>z płaszczem<br>z blachy<br>stalowej | 7,2<br>9,0<br>185            | 7,4<br>7,5<br>6,8        | 14,0<br>14,0<br>22,1     | 0,0<br>0,0<br>0,0          | 79,4<br>67,8<br>100,69          | -<br>-<br>4,13   | 1256,6<br>1215,5<br>1306,0           | siarozanowa h <sub>a</sub><br>siarozanowa h <sub>a</sub><br>siarozanowa h <sub>a</sub><br>kwasowa l <sub>a1</sub>  |
| 19 | Szyb II<br>KWK Polska       | cegłana  |                              | 7,3                      | 10,3                     | 0,0                        | 87,0                            | -                | 1254,3                               | siarozanowa h <sub>a</sub>   |
| 20 | Józef<br>KWK Dobrek         | cegłana  | 14,5<br>11,2<br>29,4<br>17,2 | 7,5<br>7,2<br>7,8<br>7,8 | 6,0<br>4,4<br>4,8<br>1,6 | 0,0<br>33,10<br>0,0<br>6,9 | 82,7<br>26,75<br>31,60<br>19,45 | -<br>-<br>-<br>- | 839,25<br>166,20<br>746,30<br>396,60 | kugująca l <sub>a2</sub> , siar-<br>ozanowa m <sub>a</sub> l <sub>a1</sub> , wę-<br>glanowa l <sub>a2</sub> l <sub>a1</sub> , wę-<br>glanowa l <sub>a2</sub> l <sub>a1</sub> ,<br>kugująca l <sub>a2</sub> l <sub>a1</sub> ,<br>siarozanowa m <sub>a</sub> ,<br>kugująca l <sub>a2</sub> , l <sub>a2</sub> ,<br>siarozanow <sub>a</sub> l <sub>a2</sub> ,<br>węglanowa l <sub>a1</sub><br>kugująca l <sub>a1</sub> , siar-<br>ozanowa l <sub>a1</sub> ,<br>siarozanowa l <sub>a2</sub> |
| 21 | Warszawa<br>KWK Katowice    | cegłana  | 40                           | 7,5                      | 5,0                      | 2,2                        | 92,34                           | -                | 385,57                               | kugująca l <sub>a1</sub>   |
| 22 | Wschodni I<br>KWK Mysłowice | cegłana  | 150                          | 7,4                      | 8,1                      | 2,2                        | 53,7                            | -                | 367,0                                | siarozanowa l <sub>a2</sub>  |
| 23 | Łokietek<br>KWK Mysłowice   | cegłana  | 30<br>80                     | 7,1<br>7,2               | 6,7<br>6,7               | 11,0<br>6,6                | 61,0<br>8,0                     | -<br>-           | 579,8<br>855,2                       | węglanowa l <sub>a2</sub> , siar-<br>ozanowa m <sub>a</sub><br>węglanowa l <sub>a1</sub> ,<br>siarozanowa m <sub>a</sub>   |

| 1  | 2                                | 3   | 4   | 5                 | 6                    | 7                 | 8                       | 9                 | 10                         | 11   |
|----|----------------------------------|---|---|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|--|
| 24 | Julian II<br>KWK Julian          | cegłana<br>z koszulka<br>betonowa           | 45<br>73<br>90<br>z lunety<br>podsadz-<br>kowej<br>rzepie | 7,3<br>7,7<br>7,7 | 14,8<br>15,7<br>15,8 | 2,2<br>0,0<br>0,0 | 35,38<br>45,74<br>45,74 | -<br>-<br>-       | 211,5<br>130,86<br>155,08  | nieagresywna<br>nieagresywna<br>nieagresywna   |
| 25 | Anna - KWK<br>Czerwona Gwardia   | cegłana                                     |   | 8,3               | 18,4                 | 0,0               | 28,48                   | -                 | 202,46                     | nieagresywna   |
| 26 | Julian - KWK<br>Czerwona Gwardia | cegłana                                     | 140   | 7,0               | 6,0                  | -                 | 82,42                   | -                 | 328,97                     | siarozanowa m <sub>a</sub><br>kwasowa l <sub>a1</sub>  |
| 27 | Szymon<br>KWK Halemba            | cegłana                                     |   | 7,6<br>7,8        | 12,3<br>5,9          | 0,8<br>0,0        | 66,2<br>7,36            | -                 | 1105,6<br>92,16            | siarozanowa h <sub>a</sub><br>tufująca l <sub>a1</sub>   |
| 28 | Grunwald I<br>KWK Halemba        | cegłana                                     |   | 7,3               | 8,9                  | 3,3               | 441,6                   | -                 | 965,5                      | węglanowa l <sub>a1</sub><br>magnezowa l <sub>a1</sub><br>siarozanowa m <sub>a</sub><br>nieagresywna |
| 29 | Grunwald II<br>KWK Halemba       | cegłana<br>betonowa                         |   | 8,1<br>7,6        | 22,1<br>-            | 0,0<br>0,0        | 47,8<br>25,7            | -                 | 990,6<br>504,7             | siarozanowa m <sub>a</sub><br>siarozanowa m <sub>a</sub>   |
| 30 | Północny I<br>KWK Halemba        | do 44 m ce-<br>glana, poni-<br>żej betonowa |   | 8,4<br>7,6<br>7,3 | -<br>18,2<br>11,5    | 0,0<br>0,0<br>0,0 | 20,61<br>29,44<br>94,86 | 0,21<br>2,20<br>- | 376,99<br>445,65<br>658,24 | siarozanowa l <sub>a2</sub><br>siarozanowa l <sub>a2</sub><br>siarozanowa m <sub>a</sub>             |
| 31 | Stalmaoh<br>KWK Rozbarsk         | cegłana                                     | 150<br>250<br>540   | 8,1<br>7,4<br>7,9 | 13,1<br>20,4<br>20,7 | 0,0<br>0,0<br>0,0 | 61,61<br>57,90<br>83,90 | 0,0<br>0,0<br>0,0 | 403,58<br>383,83<br>414,0  | siarozanowa l <sub>a2</sub><br>siarozanowa l <sub>a2</sub><br>siarozanowa l <sub>a2</sub>            |
| 32 | Walery - KWK<br>Gen. Zawadzki    | cegłana                                     | rzepie  | 8,0               | 14,0                 | -                 | -                       | -                 | 314,0                      | siarozanowa l <sub>a1</sub>  |
| 33 | Zawadzki - KWK<br>Gen. Zawadzki  | cegłana<br>betonowa                         |   | 7,6               | -                    | -                 | -                       | -                 | 691,0                      | siarozanowa m <sub>a</sub>   |

| 1  | 2                                    | 3  | 4                  | 5                 | 6                 | 7                   | 8                    | 9           | 10                   | 11  |
|----|--------------------------------------|--|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------|----------------------|---|
| 34 | Koszelów - KWK<br>Gen. Zawadzki      | ceglana  |                    | 6,7               | -                 | -                   | 317,3                | -           | 1729,12              | kwasowa l <sub>a1</sub> , magne-<br>zowa l <sub>a1</sub> , siarcza-<br>nowa h <sub>a</sub>  |
| 35 | Północny<br>KWK Miechowice           | ceglany  | 250<br>rzaple      | 7,0<br>7,0        | 14,0<br>9,0       | -                   | 66,05<br>309,68      | -           | 120,57<br>510,00     | nieagresywna<br>magnezowa l <sub>a1</sub> oraz<br>siarczanowa m <sub>a</sub>  |
| 36 | Klara<br>KWK Wawel                   |  |                    | 7,0               | 6,7               | -                   | 221,8                | -           | 1205,4               | magnezowa l <sub>a1</sub> oraz<br>siarczanowa h <sub>a</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub><br>siarczanowa m <sub>a</sub><br>magnezowa l <sub>a</sub> oraz<br>siarczanowa l <sub>a1</sub> h <sub>a</sub> |
| 37 | Szyb S 1-2<br>KWK Bogdanka           | betonowa   | 602<br>659<br>745  | 8,5<br>8,4<br>8,6 | 2,3<br>2,0<br>2,2 | 0,0<br>0,0<br>0,0   | 7,86<br>5,15<br>3,92 | -           | 49,0<br>12,0<br>13,0 | kugująca l <sub>a2</sub><br>kugująca l <sub>a2</sub><br>kugująca l <sub>a2</sub>  |
| 38 | Poniatowski<br>KWK Wieszorek         | ceglana  | 80                 | 6,4               | 6,7               | 2,1                 | -                    | 2,18        | 608,1                | kwasowa l <sub>2</sub> oraz<br>siarczanowa m <sub>a</sub>   |
| 39 | Brzeźkowice<br>KWK<br>Komuna Paryska | ceglana  | 30<br>50<br>rzaple | 6,6<br>6,6<br>6,6 | -<br>-<br>-       | 33,0<br>28,6<br>0,0 | -<br>-<br>-          | -<br>-<br>- | -<br>-<br>-          | węglanowa l <sub>a2</sub><br>kwasowa l <sub>a1</sub><br>węglanowa l <sub>a1</sub> l <sub>a2</sub><br>kwasowa l <sub>a1</sub><br>kwasowa l <sub>a1</sub>   |
| 40 | Witold II<br>KWK<br>Komuna Paryska   | do 9 m be-<br>tonowa, ce-<br>9-70 m ce-<br>glana, po-<br>niżej be-<br>tonowa | 45                 | 4,0               | -                 | 0,0                 | -                    | -           | 351,31               | kwasowa h <sub>a</sub> oraz<br>siarczanowa m <sub>a</sub>   |



- pomijając rodzaj, a uwzględniając wyłącznie stopień agresywności można stwierdzić, że jest on mniej więcej równomiernie rozłożony w odniesieniu do przebadanych próbek wody, a mianowicie:  $l_{a1}$  (36%),  $l_{a2}$  (36%),  $m_a$  (35%) i  $h_a$  (30%).

Tablica 22

Ocena statystyczna rodzaju i stopnia agresywności próbek wody o składzie podanym w tablicy 21

| Rodzaj agresywności | Wskaźnik agresywności    | Jednostka miary    | Stopień agresywności wody |           |                  |                 | Razem |
|---------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|-----------|------------------|-----------------|-------|
|                     |                          |                    | Słaby                     | ( $l_a$ ) | średni ( $m_a$ ) | silny ( $h_a$ ) |       |
|                     |                          |                    | $l_{a1}$                  | $l_{a2}$  |                  |                 |       |
| 1                   | 2                        | 3                  | 4                         | 5         | 6                | 7               | 8     |
| Ługująca            | twardość węglanowa $T_w$ | $o_n$              | 7                         | 10        | -                |                 | 17    |
| Kwasowa             | $H^{1+}$                 | pH                 | 6                         | 4         | -                | 3               | 13    |
| Węglanowa           | $CO_2$ agresywny         | $mg \cdot dm^{-3}$ | 4                         | 8         | 1                | -               | 13    |
| Magnezowa           | $Mg^{2+}$                | $mg \cdot dm^{-3}$ | 16                        | -         | -                | -               | 16    |
| Amonowa             | $NH_4^+$                 | $mg \cdot dm^{-3}$ | brak                      | brak      | brak             | brak            | -     |
| Siarczanowa         | $SO_4^{2-}$              | $mg \cdot dm^{-3}$ | 3                         | 14        | 34               | 27              | 78    |
| Razem               |                          |                    | 36                        | 36        | 35               | 30              |       |

## 5. SPOSOBY POPRAWY STATECZNOŚCI OBUDÓW SZYBOWYCH

Podstawowym kierunkiem zabezpieczeń mających na celu zapewnienie trwałej stateczności obudowy jest poprawa parametrów technicznych materiału obmurza głównie przez zwiększenie jego wytrzymałości, ograniczenie nasiąkliwości wypełnienie pustek występujących za obudową szybu, skuteczne wychwytywanie wody spływającej po obudowie szybu. W szczególnych przypadkach niezbędna jest poprawa parametrów technicznych górotworu otaczającego wyrobisko, np. poprzez stabilizację skał lub ich odwodnienie.

Poprawę stateczności obudowy szybowej można zatem osiągnąć poprzez:

- rekonstrukcję obmurza,
- dodatkowe wzmocnienie rury szybowej,
- wypełnienie pustek pomiędzy obudową a górotworem.

### 5.1. Rekonstrukcja obmurza

#### 5.1.1. Rekonstrukcja obudowy murowanej ceglanej

Rekonstrukcja obudowy murowanej powinna mieć na celu usunięcie obecnych skutków korozji materiału, jak również zabezpieczenie materiału przed dalszym wpływem czynników agresywnych. Osiągnąć to można przez ograniczenie przepływu wody agresywnej przez materiał obudowy oraz odizolowanie powierzchni obudowy od ściekającej wody. Przy uzupełnieniu ubytków obudowy murowanej proponuje się przeprowadzenie wielu zabiegów mających na celu poprawienie parametrów technicznych materiału obudowy.

##### 5.1.1.1. Hydrofobizacja cegieł

Zmniejszenie nasiąkliwości cegieł wpływa korzystnie na ich odporność na korozję. W związku z czym partię cegieł przeznaczoną do murowania należy poddać kąpieli w roztworze wodnym ahydrosilu sodowego lub potasowego. Roztwór należy sporządzić wg stosunku: 1 część ahydrosilu do 30 części wody. Producentem ahydrosilu są Zakłady Silikonów w Nowej Sarzynie k. Leżajska. Efektem kąpieli cegieł w roztworze ahydrosilu jest ich hydrofobizacja, co prowadzi do ograniczenia nasiąkliwości.

### 5.1.1.2. Zwiększenie wytrzymałości i odporności korozyjnej zapraw cementowych

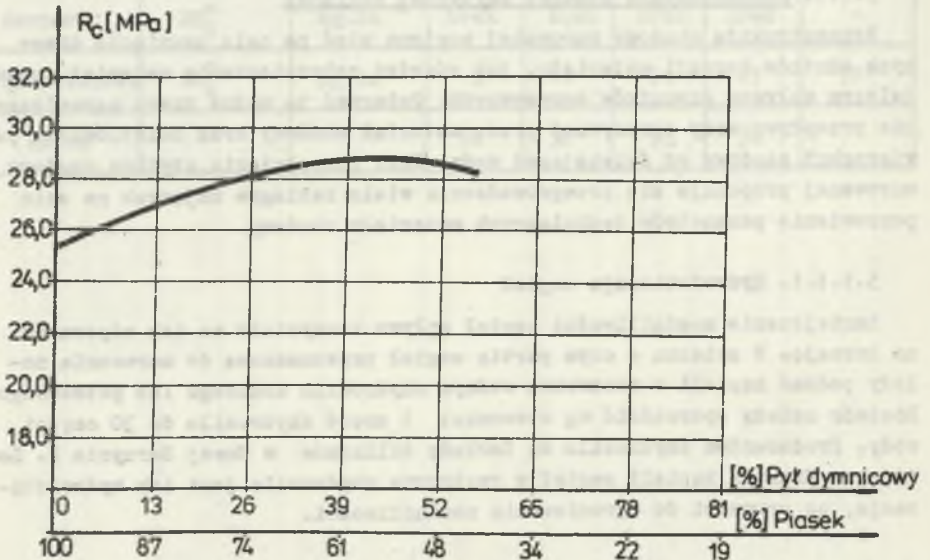
Na podstawie przeprowadzonych obserwacji w kilkudziesięciu szybach eksploatowanych na terenie GOP stwierdzono, że najszybciej ulega zniszczeniu zaprawa. Jest to efekt wypłukiwania cząstek zaprawy, jak i korozji, pod wpływem wód agresywnych. Żywotność obudów murowych ceglanych zostałaby znacznie przedłużona, gdyby stosowano zaprawy wysokowytrzymałościowe uodpornione na agresję, głównie siarczanową. Na podstawie prowadzonych badań w IPBKiOP zaleca się stosowanie wysokowytrzymałościowej zaprawy cementowej z wypełnieniem aktywnym.

Skład proponowanej zaprawy powinien być następujący:

- 1) cement portlandzki 350 - 1 cz. wagowa,
- 2) kruszywo aktywne - 3 cz. wagowe.

Kruszywo aktywne jest kompozytem piasku z pyłem dymnicowym, który wprowadzony do mieszanki kosztem piasku powoduje w pewnych granicach zwiększenie wytrzymałości zaprawy. Badania przeprowadzone na pyłach dymnicowych Elektrowni w Chorzowie wykazały, że korzystny jest dodatek pyłu w ilości 30-40% w stosunku do ilości piasku w kruszywie.

Wytrzymałość zaprawy z kruszywa aktywnego, w zależności od ilości pyłu dymnicowego, przedstawiono na rys. 22. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zaprawy na kruszywie aktywnym przy przechowywaniu w wodach



Rys. 22. Wytrzymałość zaprawy cementowej z kruszywem aktywnym w zależności od ilości pyłu dymnicowego

Fig. 22. Strength of cement mortar with reactive aggregate according to smoke-box dust amount

kopalnianych o agresji siarczanowej osiąga wyższe wytrzymałości o około 20% od zaczynów z kruszywa zwykłego. Dodatek pyłu dymnicowego do zaprawy zwiększa jej odporność na agresję siarczanową, w wyniku zmniejszenia zawartości wolnego wapna w zaprawie. Ponadto zaprawa tak sporządzona wykazuje mniejszą nasiąkliwość. Dależe zmniejszenie nasiąkliwości zaprawy można uzyskać przez jej hydrofobizację.

W celu hydrofobizacji zaprawy cementowej proponuje się dodatek do wody zarobowej w postaci ahydrosilu sodowego lub potasowego w ilości 0,5%. Prace prowadzone w IPKIO Politechniki Śląskiej wykazały przy takim dodatku przyspieszenie czasu wiązania o 20-30% w stosunku do zaprawy cementowej bez dodatku oraz zwiększenie wytrzymałości na ściskanie o około 10%.

### 5.1.2. Rekonstrukcja obudowy betonowej

Uzupełnienie skorodowanych partii obudowy betonowej powinno być poprzedzone właściwym przygotowaniem powierzchni istniejącej obudowy, jak również masy betonowej przeznaczonej do wykonania uzupełnienia. Powierzchnia kontaktowa pomiędzy starym i nowym betonem będzie stanowiła miejsce najsłabsze w obudowie. W literaturze spotyka się wiele przykładów nieskutecznych zabezpieczeń, polegających na uzupełnieniu zniszczonych miejsc konstrukcji świeżym betonem, ze względu na małą przyczepność pomiędzy świeżym i starym betonem oraz ze względu na skurcz masy betonowej w czasie procesu wiązania i twardnienia. Sytuację pogarszają drgania mechaniczne, które w przypadku szybu pochodzą z ruchu naczyń wyciągowych i są przenoszone na obudowę poprzez zamocowane w niej dźwigary. Drgania te wywołują w płaszczyźnie kontaktowej betonów mikrospeknięcia, których zasięg powiększa się w miarę upływu czasu. Grozi to opadnięciem bloku betonowego do szybu, co może stanowić poważne zagrożenie dla ruchu. W związku z powyższym proponuje się przyjąć następujące wytyczne odnośnie do zabezpieczenia i uzupełnienia obudowy betonowej:

1. Stosowanie warstwy kontaktowej między starym a świeżym betonem obudowy. Po dokładnym usunięciu skorodowanego betonu, oczyszczoną powierzchnię obudowy należy pokryć warstwą kontaktową przez natrysk powłokowy preparatem o nazwie "Osolan k-0", produkowanym w Zakładach Chemicznych w Oświęcimiu. Badania przyczepności warstwy świeżego betonu do starego, przy zastosowaniu preparatu "Osolan K-0", wykazały zwiększenie przyczepności o około 60% w stosunku do betonów bez preparatu. Zaleca się przy wilgotnym betonie jednokrotne jego pokrycie warstwą preparatu kontaktowego, natomiast przy suchych powierzchniach należy stosować pokrycie dwukrotne.

2. Uzupełnienie ubytków obudowy betonowej przy zastosowaniu betonu natryskowego z dodatkami uszczelniającymi. Przy wykonywaniu uzupełnień obudowy betonowej, należy wziąć pod uwagę możliwość ponownej korozji betonu w miejscach przepływu agresywnych wód. W związku z powyższym do masy betonowej należy zastosować dodatek uszczelniający "Osolan K-0", w ilości 1,5-3% w stosunku do wagi cementu. Jak wykazały badania, dodatek preparatu,

oprócz działania uszczelniającego, wpływa również na podwyższenie wytrzymałości betonu o około 30%. Uzupełnienie ubytków obudowy należy wykonać przy zastosowaniu betonu natryskowego ze zbrojeniem siatkowym lub drutem.

3. Kotwienie uzupełnianych odcinków obudowy. Mając na uwadze całkowitą likwidację zagrożeń dla ruchu szybu, przy ewentualnym oderwaniu się bloku betonu stanowiącego uzupełnienie ubytków obudowy (np. wskutek małej przyczepności betonu świeżego do betonu obudowy, skurczu w czasie wiązania betonu oraz głównie rozwoju mikroszczelin przy długotrwałym oddziaływaniu drgań mechanicznych na obudowę), należy przeprowadzić kotwienie w miejscach uzupełnień, przy zastosowaniu krótkich kotew stalowych, mocowanych na zaprawie cementowej.

### 5.1.3. Zabezpieczenie powierzchni obudowy

Zabezpieczenie obudowy przed dalszą korozją i łuszczeniem można osiągnąć przez możliwie maksymalne osuszenie obmurza obudowy oraz jego izolację od wpływów atmosferycznych. Zabiegi zabezpieczające dotyczą utrzymania właściwego systemu drenażu i wychwytywania wody ściekającej po obudowie. W celu wychwytywania wody ściekającej po obudowie i wyciekającej zza obudowy zaleca się założenie w obudowie sączków odwadniających, wykonanych z rur perforowanych o średnicy  $\varnothing$  650 mm, umieszczonych w skałach za obudową na głębokość 1 m. Odszaczona woda następnie zostaje uchwycona w system rynien i skierowana do rurociągu odwadniającego. Dla zabezpieczenia powierzchni obudowy przed postępującym złuszczeniem, celowe jest wykonanie natrysku hydrofobowego powierzchni obmurza. Natrysk taki powinien być przeprowadzony w miejscach zawilgoceń obudowy przez wody ściekające. Do celów hydrofobizacji obudowy proponuje się stosowanie preparatu silikonowego "Silema".

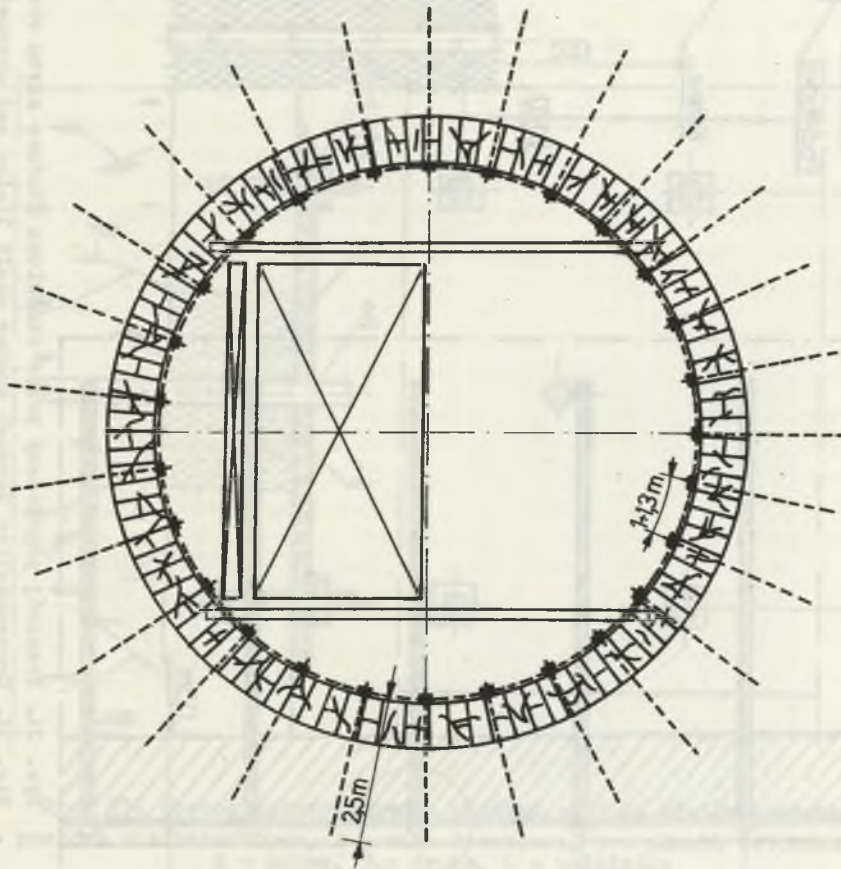
Dodatkowym efektem stosowania hydrofobizacji obudowy jest ograniczenie złodowacenia obudowy w porze zimowej. Hydrofobizację obudowy uzyskuje się również przez zastosowanie natrysku izolacyjnego wodnym roztworem ahydrosilu sodowego lub potasowego w ilości - 1 cz. wagowa ahydrosilu na 30 części wagowych wody. Zabieg natrysku izolacyjnego na powierzchnię obudowy wykonuje się po uprzednim jej oczyszczeniu z materiału skorodowanego. Ułożenie warstw natrysku izolacyjnego odbywać się może przy zastosowaniu powszechnie dostępnych urządzeń natryskowych, np. pistoletów malarskich itp.

### 5.2. Dodatkowe wzmocnienie rury szybowej

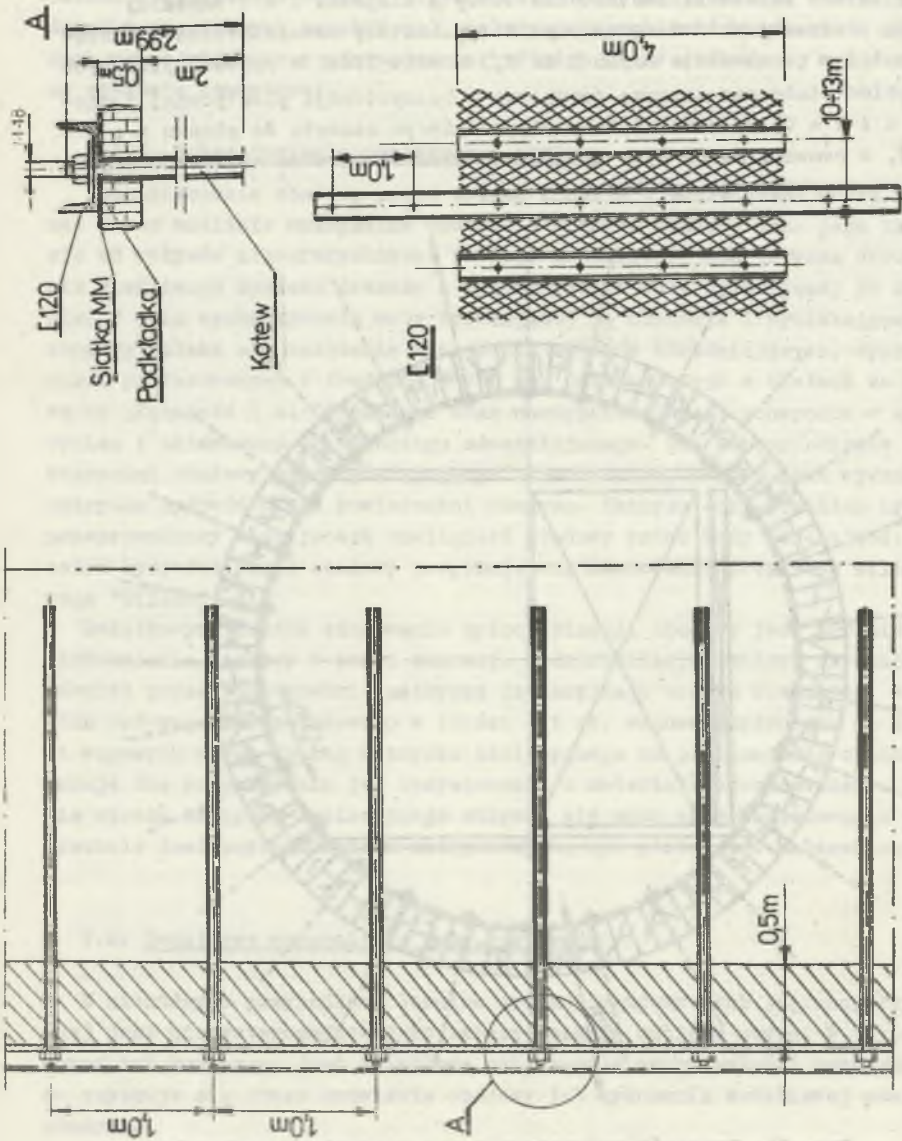
W niektórych przypadkach lokalna wymiana obudowy (lub jej uzupełnienie) jest niewystarczające jako zabezpieczenie odcinka szybu. W takich wypadkach konieczne jest dodatkowe zwiększenie wytrzymałości konstrukcji, co uzyskuje się przez kotwienie obudowy lub wykonanie dodatkowej powłoki obmurza.

### 5.2.1. Kotwienie obudowy

W przypadku występowania skał zwięzłych za obudową, dodatkowe zwiększenie wytrzymałości obudowy uzyskuje się przez jej kotwienie, przy zastosowaniu długich kotew stalowych mocowanych w górotworze. Na rys. 23 i 24 przedstawiono zastosowany w KWK "Barbara" - Chorałów sposób wzmocnienia obudowy takimi kotwiami. Zastosowane kotwy o długości 2 m i średnicy 16-18 mm łączono spoiwem cementowym. Kotwy zostały rozmieszczone w odstępach co 1,3 m po obwodzie szybu i co 1,3 m odległości w rzędach pionowych. Jako spoiwo stosowano zaprawę cementową o konsystencji plastycznej i stosunku  $c : w = 0,33$  oraz udziale objętościowym cementu do piasku  $c : p = 1 : 3$ , z cementu marki 450. Sposób ten miał również na celu wzmocnienie górotworu otaczającego wyrobisko.



Rys. 23. Przekrój poprzeczny szybu z rozmieszczeniem kotew  
Fig. 23. Cross-section of a shaft with anchor arrangement



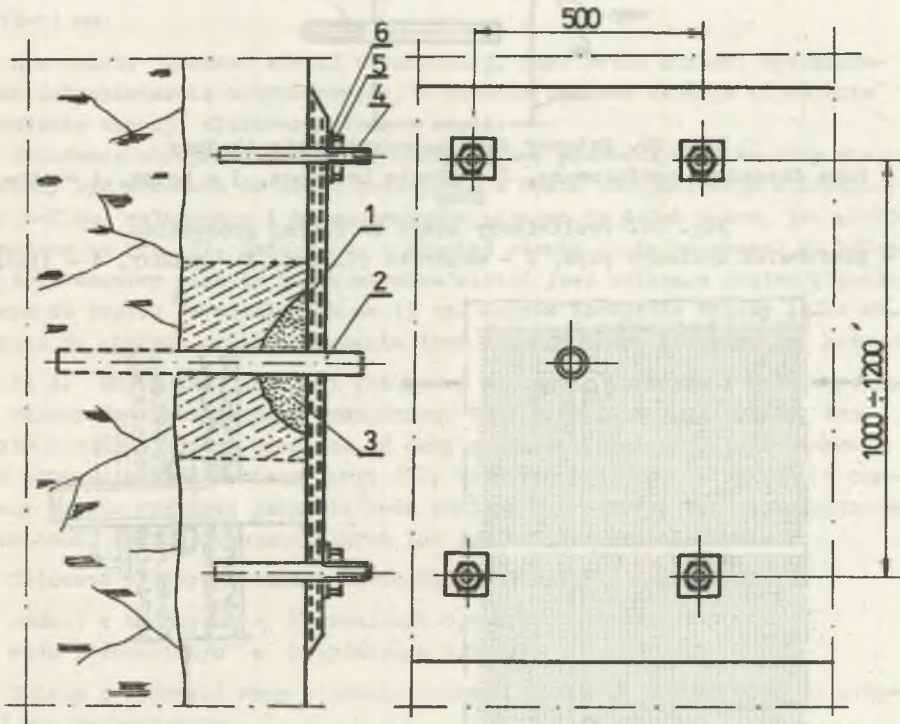
Rys. 24. Przekrój poprzeczny przez skotwioną obudowę szybu oraz układ ceowników  
Fig. 24. Cross-section through anchor shaft lining and channel section system

### 5.2.2. Wykonanie dodatkowej powłoki siatkobetonowej

W przypadku występowania dużych pasm skorodowanej obudowy celowe jest wykonanie powłoki siatkobetonowej, przytwierdzonej do obudowy krótkimi kotwiami stalowymi, szczękowymi lub wklejanymi. W celu wykonania takiego zabezpieczenia konieczna jest następująca kolejność prowadzenia robót:

- 1) przygotowanie podłoża,
- 2) zamontowanie kotew w obudowie,
- 3) ułożenie poszycia z siatki,
- 4) przygotowanie mieszanki betonowej i ułożenie betonu,
- 5) pielęgnacja powłoki w czasie jej twardnienia.

Sposób wykonania powłoki siatkobetonowej został przedstawiony na rysunkach 25, 26 i 27.



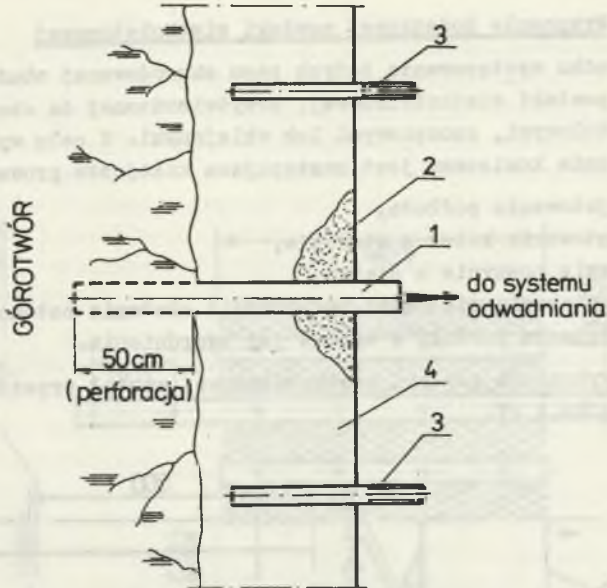
Rys. 25. Sposób zabezpieczenia obudowy powłoką siatkobetonową

1 - powłoka siatkobetonowa, 2 - rura drenażowa, 3 - plomba betonowa,  
4 - kotew, 5 - śruba, 6 - podkładka

Fig. 25. Method of lining protection by net-concrete coating

1 - net-concrete coating, 2 - drainage pipe, 3 - concrete filling,  
4 - anchor, 5 - screw, 6 - washer



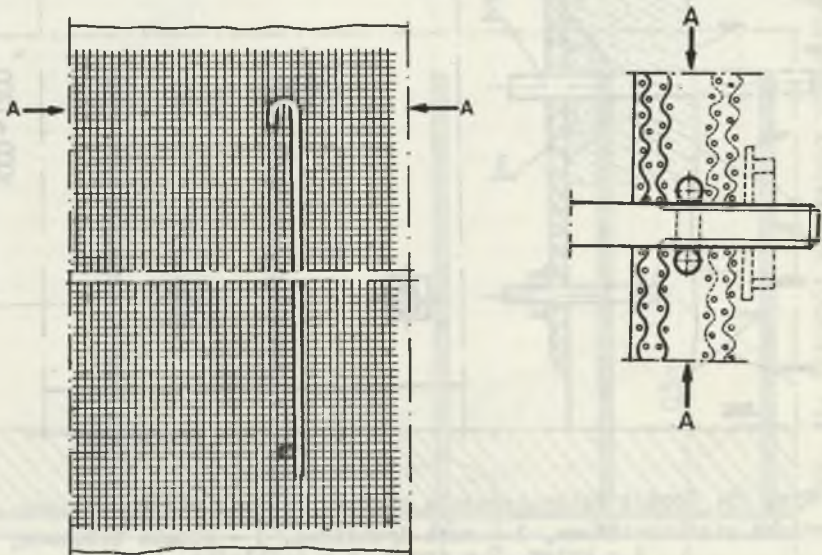


Rys. 26. Wstępny etap zabezpieczenia obudowy

- 1 - rura drenażowa perforowana, 2 - plomba betonowa, 3 - kotew, 4 - obudowa

Fig. 26. Preliminary stage of lining protection

- 1 - perforated drainage pipe, 2 - concrete filling, 3 - anchor, 4 - lining



Rys. 27. Mocowanie zbrojenia siatkobetonowego rozpiętego na kotwach i prętach drutu zbrojeniowego

Fig. 27. Fixing of net-concrete reinforcement stretched on anchors and reinforcement bars

Ad 1. Z miejsc skorodowanych obudowy usuwa się zniszczony materiał aż do zdrowego betonu. Powyżej i poniżej miejsc skorodowanych powierzchnię, do której ma dolegać powłoka siatkobetonowa, należy oczyścić z warstw pyłów i szlamu pochodzącego z wycieków wód.

Ad 2. W odstępach zaznaczonych na rys. 25 należy nawiercić otwory w obudowie i zamocować w nich krótkie kotwy stalowe o długości zamocowania w betonie w granicach 20-25 cm.

Ad 3. Do wykonania powłoki siatkobetonowej można stosować kilka typów siatki, np.:

- siatkę plecioną (tkaną) z drutu o grubości 1,0 mm, siatka ta posiada wymiar oczek 10 x 10 mm,
- siatkę zgrzewaną o grubości drutu o wymiarach oczek jak wyżej,
- siatkę sześciokątną z drutu o grubości 0,8-1,0 mm i wymiarze oczek 12-14 mm.

Nie należy stosować siatki ocynkowanej, gdyż beton stanowi wystarczające zabezpieczenie antykorozyjne, a powłoka cynkowa stwarza zagrożenie powstania korozji elektrochemicznej stali.

Układanie zbrojenia przebiega następująco: pierwsze dwie warstwy siatki powinny być mocowane do kotew oraz pręta z drutu zbrojeniowego o średnicy  $\varnothing = 6-8$  cm, założonego i przymocowanego pionowo do dwóch kotew, jak przedstawiono na rys. 27. Następnie, z drugiej strony pręta mocowane są kolejne trzy warstwy siatki. Każda warstwa siatki jest związana drutem wiązałkowym do prętów zbrojeniowych co 15 cm. Całość zbrojenia należy lekko docisnąć do obudowy przez dotknięcie śrub z podkładkami stalowymi na kotwach.

Ad 4. Składniki mieszanki betonowej - cement, kruszywo i woda - powinny odpowiadać następującym wymaganiom. Cement powinien być świeży, tzn. użyty w ciągu jednego miesiąca od daty produkcji. Zalecane jest stosowanie cementu portlandzkiego marki 350, kruszywo powinno się składać z czystego piasku wysokiej jakości. Woda powinna być czysta, bez zanieczyszczeń alkalicznych, solami rozpuszczalnymi lub zawiesinami organicznymi.

Zalecane proporcje wagowe składników powinny być następujące:

- a) cement : kruszywo - w granicach 0,4-0,6,
- b) woda : cement w/c - w granicach 0,3-0,4.

Należy przyjmować wagę w stanie suchym. Mieszanie betonu powinno odbywać się mechanicznie.

Przy układaniu betonu należy przestrzegać następujących zasad:

- a) temperatura powietrza w czasie betonowania i w okresie następnych siedmiu dni nie powinna być niższa od  $+10^{\circ}$ ,
- b) układanie betonu należy rozpocząć od dolnej części zbrojenia i prowadzić ku górze pasmami o szerokości 30 cm,

Tablica 23

Receptura opracowanego w IPBK10P kompozytu wypełniającego - opartego na pyłach dynamicowych elektrowni Chorzów

| Nr | % zawartości cementu portlandzkiego 350 | % zawartości pyłu dynamicowego | % dodatku $NH_4H_2PO_4$ w stosunku do cementu i pyłu | Początek wiązania min | Koniec wiązania min | Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach MPa | Gębsar właściwy $kN/m^3$ |
|----|---|--------------------------------|--|-----------------------|---------------------|--|--------------------------|
| 1  | 70                                      | 30                             | 3  | 85                    | 300                 | 18,0                                       | 16,2                     |
| 2  | 60                                      | 40                             | 3  | 70                    | 95                  | 15,0                                       | 16,0                     |
| 3  | 50                                      | 50                             | 3  | 75                    | 115                 | 13,0                                       | 15,77                    |

Tablica 24

Receptura opracowanego w IPBK10P kompozytu wypełniającego - opartego na pyłach dynamicowych elektrowni Łagisza

| Nr | Skład zaprawy % |    |    | Stosunek wody do spoiwa | Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach $F_c 28$ MPa | Wytrzymałość na ściskanie po 60 dniach $F_c 60$ MPa | Czas wiązania h |        | Czas wiązania z przyspieszeniem h |     |
|----|-----------------|----|----|-------------------------|---|---|-----------------|--------|-----------------------------------|-----|
|    | C               | W  | P  |                         |   |   | początek        | koniec |                                   |     |
| 1  | 35              | 30 | 30 | 0,64                    | 8,5   | 13,9  | 17,50           | 34,20  | 245                               | 825 |
| 2  | 40              | 20 | 40 | 0,63                    | 10,1  | 15,1  | 15,25           | 28,50  | 230                               | 740 |
| 4  | 45              | 10 | 45 | 0,61                    | 13,1  | 16,7  | 15,50           | 34,00  | 210                               | 440 |

- c) mieszankę betonową należy ułożyć i zatrzeć w ciągu 60 min od wymieszania,
- d) w przypadku betonowania ręcznego, układanie betonu należy wykonać przez nakładanie mieszanki betonowej na zbrojenie i ubijanie tak, aby szczelnie dolegał do powierzchni istniejącej obudowy. Warstwa siatki od strony szybu powinna posiadać otulinę betonową o grubości 2 cm.

Ad 5. Pielęgnacja betonu polega na polewaniu zabetonowanej konstrukcji wodą i zapobieganiu wysychaniu (nawet powierzchniowemu) betonu. Polewanie wodą należy rozpocząć po około 6 godzinach od ułożenia betonu i prowadzić cyklicznie przez 7 dni. Przez następne 21 dni należy beton utrzymać w stanie wilgotnym.

### 5.3. Wypełnienie pustek między obudową szybu a górotworem

Wypełnienie pustek występujących za obudową szybu ma na celu lepsze rozparcie obudowy szybu o obrys wyrobiska. Spowoduje to równomierny rozkład ciśnienia górotworu na obudowę i ograniczy kształtowanie się niekorzystnych momentów zginających i naprężeń rozciągających w obudowie.

Na podstawie prowadzonych badań w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni proponuje się stosowanie kompozytu wypełniającego, którego receptura została podana w tablicy 22. Podstawowymi składnikami kompozytu są: cement portlandzki marki 350 oraz pył dymnicowy, uzyskiwany jako produkt odpadowy z elektrofiltrów powstających w wyniku spalania węgla energetycznego w paleniskach rusztowych elektrowni. Środkiem modyfikującym, przyspieszającym czas wiązania kompozytu jest fosforan jednoamonowy  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ , który dodaje się w ilości 3% w stosunku do masy składników suchych. Dodatek pyłów dymnicowych jest celowy ze względu na uodpornienie kompozytu w warunkach działania wód agresywnych. Jak wykazały badania prowadzone w IPBK i OP, kompozyty pyłowo-cementowe modyfikowane fosforem jednoamonowym osiągają w wodach kopalnianych wytrzymałości średnio 20% wyższe od czystych zaczynów cementowych. Zestawienie materiałów dla wypełnienia  $1 \text{ m}^3$  pustki przedstawia się następująco:

#### I. Składniki suche:

- 1) cement portlandzki 350 - 540 kg,
- 2) pył dymnicowy - 360 kg.

#### II. Woda i dodatki do wody zarobowej:

- 1) woda - 495 l,
- 2) fosforan jednoamonowy - 27 kg

Technologia wypełniania przestrzeni za obudową szybu powinna przebiegać z uwzględnieniem następujących warunków: Na etapie wstępnym należy dokładnie wymieszać ze sobą składniki suche, tj. cement portlandzki i pył dymnicowy oraz przygotować ciecz zarobową przez rozpuszczenie w wodzie właściwej ilości fosforanu jednoamonowego. Po mechanicznym zmieszaniu składników suchych z cieczą zarobową i uzyskaniu ciekłej konsystencji zaczynu (średnica rozlewności = 160 wg PN-62/6731-07) można przystąpić do jego wtłaczania za obudowę przy zastosowaniu pompy cementacyjnej lub grawitacyjnie. Zaczyn należy wtłaczać przez uprzednio wywiercone w obudowie otwory przy utrzymaniu maksymalnego ciśnienia wtłaczania, nie przekraczającego 0,2 MPa. Otwory należy rozmieścić w ten sposób, aby pionowa odległość pomiędzy kolejnymi otworami wynosiła w granicach 1,0-1,5 m. Zabieg wypełnienia pustej przestrzeni powinno się rozpocząć od otworu położonego najniżej i prowadzić w kierunku ku górze przez kolejne, wyżej położone otwory.

W IPBKiOP Politechniki Śląskiej opracowano również inną recepturę kompozytu wypełniającego, którą przedstawiono w tablicy 23. Do wykonania kompozytu wypełniającego użyto pyłu dymnicowego Elektrowni Łągisza, cementu i wapna. Spoiwo wg receptury nr 2, po zamieszaniu z piaskiem w stosunku 1:3 i zarobieniu wodą, zapewnia uzyskanie materiału o wytrzymałości  $R_c 28 = 10,1$  MPa i  $R_c 60 = 15,1$  MPa. Pył dymnicowy Elektrowni Łągisza powoduje w tym przypadku wydłużenie procesu twardnienia materiału. Wytrzymałość końcową materiał uzyskuje po okresie około 60 dni. Ze względu na bardzo długi czas twardnienia materiału proponuje się stosowanie dodatku przyspieszającego czas wiązania spoiwa w postaci fosforanu jednoamonowego  $NH_4H_2PO_4$  w ilości 3% w stosunku do ilości spoiwa. Technologia wypełniania przy tej recepturze jest podobna do wcześniej podanej receptury.

#### 5.4. Wykorzystanie przedstawionych zabezpieczeń obudów w szybach na terenie GOP

Przedstawione powyżej sposoby zabezpieczenia obudów szybowych nie wyczerpują wszystkich technologii napraw i zabezpieczeń. Omawiane sposoby gwarantują jednak poprawę stanu technicznego obudów szybowych i są pewnym rozwiązaniem problemu zabezpieczenia obudów pracujących w trudnych warunkach górniczo-geologicznych. W tablicy 24 przedstawiono sposoby zabezpieczeń stosowanych w celu poprawy stanu technicznego obudów szybowych. Odpowiednio wczesne podjęcie prac zabezpieczających w szybie pozwala na znaczne przedłużenie jego okresu eksploatacji, przy zachowaniu pełnej stateczności wyrobiska. Dotychczasowa praktyka w stosowaniu przedstawionych metod zabezpieczeń obudów szybowych wykazała, że najlepsze parametry techniczne i ekonomiczne uzyskuje się przy stosowaniu następujących zabezpieczeń:

- lokalnej wymiany obudowy - przy występowaniu odcinków obudowy murowej ceglanej o obniżonych parametrach wytrzymałościowych,
- hydrofobizacji obudowy - w przypadku znacznego dopływu wód agresywnych do wyrobiska,
- wypełniania pustek za obudową - w przypadku, jeśli występuje niekorzystny rozkład naprężeń wokół rury szybowej,
- stosowania betonu natryskowego - w przypadku występowania odcinków obudowy betonowej o zaniżonych parametrach wytrzymałościowych,
- kotwienie obudowy - w przypadku zniszczenia struktury obudowy wpływami eksploatacyjnymi,
- stosowania siatkobetonu - w przypadku występowania znacznych ubytków i miejsc o obniżonych parametrach wytrzymałościowych w obudowach betonowych.

Wszystkie omówione metody pozwalają na wykonanie zabezpieczeń w trakcie normalnej eksploatacji szybu.

Tablica 25

Zestawienie sposobów zabezpieczenia obudowy oraz czynników powodujących uszkodzenie obudowy niektórych szybów z rejonu GOP

| Lp. | Nazwa szybu i kopalni                   | Sposób zabezpieczenia obudowy szybowej   | Czynnik powodujący uszkodzenie obudowy                        |
|-----|---|--|---|
| 1   | 2                                       | 3  | 4   |
| 1   | Wyzwolenie I<br>KWK Barbara-<br>Chorzów | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prowadzenie uzupełnień i wymiany obudowy przy zastosowaniu cegieł o wysokich parametrach wytrzymałościowych</li> <li>2. Zabezpieczenie obudowy przed korozją i łuszczeniem przez utrzymanie właściwego systemu drenażu i wychwytywanie wody z za obudowy</li> <li>3. Wykonanie natrysku hydrofobowego</li> </ol> | <p>duża agresywność wody</p> <p>duże zawilgocenie obudowy</p> |
| 2   | S-II<br>KWK<br>Siemianowice             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wymiana całkowita lub częściowa obudowy w miejscach skorodowanych</li> <li>2. Hydrofobizacja cegieł</li> <li>3. Stosowanie dodatków do zapraw murarskich</li> <li>4. Wykonanie natrysku silikonowego</li> <li>5. Kotwienie obudowy</li> </ol>  | <p>duża agresywność wody</p>                                  |
| 3   | Wit Stwos<br>KWK Powstań-<br>ców Śl.    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lokalna wymiana obudowy</li> </ol>   | <p>wpływy eksploatacji pochodzące od starych zrobów</p>       |
| 4   | Józef<br>KWK Bobrek                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wzmocnienie obudowy szybu</li> </ol>   | <p>prawdopodobny wpływ eksploatacji</p>                       |

| 1  | 2                                       | 3  | 4  |
|----|---|--|--|
| 5  | Mieczysław<br>KWK<br>Pstrowski          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utrzymanie w stałej drożności sączków wychytujących spływającą wodę</li> <li>2. Wzmocnienie obudowy szybu</li> </ol>   | duże zawilgoce-<br>nie obudowy,<br>wpływ przewodzo-<br>nej eksploata-<br>cji |
| 6  | Szyb VII<br>KWK Polska                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zastosowanie w szybie skutecznego systemu rynienek ściekowych</li> <li>2. Prowadzenie koniecznych remontów i napraw obudowy ze względu na duże wskaźniki deformacji górotworu</li> </ol>   | wpływ przewodzo-<br>nej eksploatacji<br>w filarze ochron-<br>nym szybu       |
| 7  | Anna<br>KWK<br>Sosnowiec                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hydrofobizacja obudowy</li> <li>2. Założenie sączków odwadniających</li> <li>3. Wymiana i naprawa zniszczonej części obudowy</li> </ol>  | duże zawilgoce-<br>nie obudowy,<br>silna agresyw-<br>ność wody               |
| 8  | Wyzwolenie II<br>KWK Barbara<br>Chorzów | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wypełnienie pustek występujących w obudowie</li> <li>2. Zastosowanie kotwienia obudowy w celu jej wzmocnienia</li> </ol>   | pustki za obudo-<br>wą szybową, duża<br>agresywność wody                     |
| 9  | Jadwiga<br>KWK Czerwone<br>Zagłębie     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Utrzymanie właściwego systemu drenażu i wychwytywanie wody wyciekającej zza obudowy</li> <li>2. Hydrofobizacja obudowy</li> <li>3. Wypełnienie pustek za obudową</li> <li>4. Wymiana obudowy w miejscach o zmniejszonej wytrzymałości</li> </ol> | występowanie<br>pustek za obudo-<br>wą                                       |
| 10 | Bończyk<br>KWK Rozbark                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wymiana obudowy w rejonach występowania korozyjnych ubytków obudowy</li> <li>2. Wzmocnienie obudowy w rejonie pionowego podkucia obudowy</li> </ol>  | duża agresywność<br>wody   |
| 11 | Julian II<br>KWK Julian                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wykonanie otworów drenażowych</li> <li>2. Wypełnienie pustek za obudową szybu</li> <li>3. Wzmocnienie obudowy szybu</li> </ol>   | występowanie<br>pustek za obudo-<br>wą                                       |
| 12 | Jan II<br>KWK<br>Dębienko               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hydrofobizacja obudowy</li> <li>2. Częściowa wymiana obudowy</li> </ol>  | agresja siarcza-<br>nowa, eksploata-<br>cja w filarze<br>ochronnym           |

| 1  | 2                           | 3  | 4   |
|----|-----------------------------|--|---|
| 13 | Szyb II<br>KWK Gliwice      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Naprawa i częściowa wymiana obudowy</li> <li>2. Obserwacja obudowy w rejonie pęknięcia. W przypadku dalszej propagacji szczeliny - istnieje konieczność opracowania projektu zabezpieczenia szybu w tym rejonie</li> </ol> |   |
| 14 | Szymon<br>KWK Halemba       | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Opracowanie projektu przebudowy części obudowy szybu</li> <li>2. Przeprowadzenie kolejnych badań po okresie 5 lat</li> </ol>   | agresja siarczanowa, eksploatacja w pobliżu szybu                 |
| 15 | Reymont<br>KWK<br>Andeluzja | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wypełnienie pustek za obudowę</li> <li>2. Wymiana skorodowanej części obudowy</li> </ol>   | występowanie pustek za obudowę                                    |
| 16 | Czułów II<br>KWK Murcki     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Odwodnienie górotworu w rejonie szybu</li> <li>2. Zabezpieczenie rury szybowej przed wpływami eksploatacji</li> </ol>  | eksploatacja w filarze ochronnym szybu                            |
| 17 | Grunwald II<br>KWK Halemba  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. W przypadku prowadzenia eksploatacji w rejonie filara ochronnego szybu opracowanie odpowiedniego projektu eksploatacji w tym rejonie z punktu widzenia minimalizacji wpływów na rurę szybową</li> </ol>                    | eksploatacja w pobliżu szybu, agresja siarczanowa                 |
| 18 | Szczepan<br>KWK Sosnowiec   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kotwienie obudowy</li> <li>2. Założenie saczków w miejscach wycieku wody</li> <li>3. Zabezpieczenie zniszczonej części obudowy za pomocą siatki-kobetonu</li> </ol>  | silna agresywność, siarczanowa woda                               |
| 19 | Sosnowiec<br>KWK Sosnowiec  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stworzenie lepszego ujęcia wody infiltrującej przez obudowę</li> <li>2. Przeprowadzenie remontu obudowy w miejscach skorodowanych</li> </ol>   | agresja siarczanowa   |
| 20 | Bartosz<br>KWK Katowice     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wypełnienie pustek za obudowę</li> <li>2. Opracowanie projektu przebudowy szybu na wyznaczonych odcinkach</li> </ol>   | agresja siarczanowa, eksploatacja w filarze ochronnym             |
| 21 | Warszawa<br>KWK Katowice    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wykonanie w obudowie szybu otworów penetracyjnych, mających na celu określenie wielkości pustek za obudowę</li> <li>2. Wzmocnienie obudowy szybu</li> </ol>  | agresja siarczanowa, stara eksploatacja w filarze ochronnym szybu |



#### LITERATURA

1. Borecki M., Chudek M., Ledwoń J.: Stateczność ścianki cylindrycznej obudowy szybowej. "Przegląd Górniczy" 1975, nr 1.
2. Brunarski i inni: Budownictwo betonowe, tom VIII. Badanie materiałów, elementów i konstrukcji. Arkady, Warszawa 1970.
3. Brunarski L., Runkiewicz L.: Instrukcja stosowania metody ultradźwiękowej do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji. ITB, Warszawa 1973.
4. Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Śląsk, Katowice 1974, cz. 1.
5. Chudek M., Mechanika górotworu. Skrypt Pol. Śl. Gliwice 1981.
6. Chudek M.: Wytrzymałość obudowy murowej wyrobisk górniczych w świetle badań modelowych. Materiały II sesji naukowej Wydziału Górniczego Pol. Śl., Gliwice 1964.
7. Chudek M.: Przyczynek do współpracy obudowy tubingowo-betonowej. Archiwum Górnictwa, t. VIII, z. 2, 1963.
8. Chudek M.: Zagadnienie grubości i stanu naprężeń kołowej obudowy betonowej szybów w zależności od ciśnienia wody przepływającej przez nią ruchem laminarnym. Archiwum Górnictwa, t. X, z. 1, 1964.
9. Chudek M.: Eksploatacja filara ochronnego szybu i zabezpieczenie obudowy w strefie uskokowej. ZN Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 57, Gliwice 1973.
10. Chudek M., Podgórski K., Kleta M.: Współpraca budowli podziemnych z górotworem objętym wpływami eksploatacji górniczej. Prace Komisji Górniczej PAN, Ossolineum, Oddz. Katowice, Katowice 1982.
11. Chudek M., Rułka K.: Konstrukcje siatkobetonowe w budownictwie podziemnym. Wyd. Śląsk, Katowice 1968.
12. Chudek M., Rułka K.: Zastosowanie metody analizy wymiany cieplnej i układu temperatur do projektowania oraz kontroli procesu dojrzewania betonu w obudowie szybów zgłębnionych metodą mrożenia. ZN Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 27, Gliwice 1967.
13. Chudek M., Stefański L.: Loads and Stress Occuring in the Orogen in the Vicinity of Wall Headings Remains of Coal Seams and Barrier Pillars in Underground Mines. Prace Komisji Górniczej PAN, Ossolineum, Oddz. Katowice. Katowice 1985.
14. Chudek M., Stefański L.: Wpływ eksploatacji złóż pokładowych na górotwór i powierzchnię. Praca w druku.
15. Chudek M., Szczepaniak Z., Podgórski K.: Przemieszczenie górotworu i przebieg ciśnień na obudowę szybu przy eksploatacji pokładów w filarach ochronnych. ZN Pol. Śl., s. Górnictwo z. 37, Gliwice 1969.
16. Filipczyński L., Pawłowski Z., Wehr L.: Ultradźwiękowe metody badania materiałów. WNT, Warszawa 1963.
17. Garwicz: Badania sejsmiczne. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1958.
18. Janiczek S.: Materiałoznawstwo z chemią dla górników. Skrypty centralne WTS. Gliwice 1977.
19. Majchrzak R.: Zastosowanie metod akustycznych do badania parametrów technicznych obudów murowych-betonowych i ceglanych. Gliwice 1979. Praca doktorska nie publikowana.

20. Matuschek J.: Technika ultradźwiękowa. WNT, Warszawa 1961.
21. PN-61/B-06253 - Korozja betonu.
22. Pocztowik C.J., Kaszkin S.K.: Ultrazwukowyje izmierienija w bietonnych pokrytijach. "Awtomobilnoje Dorogi", 1962, nr 7.
23. Prace IPBKİOP: Sposób zabezpieczenia obudowy szybu VII KWK Polska. Gliwice 1977. Praca nie publikowana.
24. Prace IPBKİOP: Sposób zabezpieczenia obudowy szybu S-II KWK Siemianowice. Praca nie publikowana.
25. Prace IPBKİOP: Sposób zabezpieczenia obudowy szybu Wyzwolenie II KWK Barbara - Chorzów. Praca nie publikowana.
26. Praca zbiorowa: Les essais sur beton par la methode de L'auscultation dynamique. Annales de L'institut Technigue du batiment et des travaux publics. 309-3010/1973.
27. Praca zbiorowa: Ochrona powierzchni przed uszkodami górnictwymi. Wyd. Śląsk, Katowice 1984.
28. Sorokin: Geofizyka poszukiwawcza. Wyd. Geofizyczne, Warszawa 1956.
29. Stenzel, Szymanko: Metody geofizyczne w badaniach ultradźwiękowych. Warszawa 1973.
30. Strzelecki Z.: Poradnik materiałoznawstwa dla potrzeb budownictwa podziemnego kopalń. Wyd. Śląsk, Katowice 1972.
31. Strzelecki Z., Machowski M., Witosiński J.: Zastosowanie metod akustycznych (ultradźwiękowych) dla wybranych zagadnień budownictwa górnictwa. Prace Komisji Górnictwo-Geodezyjnej, Górnictwo z. 11, 1972.
32. Ultrasonic testing of concrete. Materiały firmy Teratest (Great Britain LTD).
33. Wehr J.: Pomiar prędkości i tłumienia fal ultradźwiękowych. PWN, Warszawa 1972.

## ZAGADNIENIE OCENY STANU TECHNICZNEGO CZYNNYCH SZYBÓW GÓRNICZYCH ORAZ SPOSOBY ICH ZABEZPIECZEŃ

### Streszczenie

W pracy omówiono czynniki wpływające na stan techniczny obudów szybowych w kopalniach węgla kamiennego ze szczególnym uwzględnieniem agresywności środowiska wodnego w stosunku do obudów murowych.

Przedstawiono podstawy i zasady stosowania ultradźwiękowych metod: "V" i propagacji pośredniej, badania doraźnej wytrzymałości na ściskanie konstrukcji murowych w warunkach jednostronnego dostępu. Zamieszczone zostały przykłady wyznaczania krzywych skalowania dla obudów ceglanych, betonitowych i betonowych wraz ze sposobem wyznaczania wytrzymałości obudowy szybu. Następnie przedstawiono analizę wyników pomiarów wytrzymałości górniczych obudów szybowych w rejonie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego oraz typowe sposoby napraw i rekonstrukcji obudów szybowych.

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТНЫХ СТВолов  
И СПОСОБЫ ИХ ЗАЩИТЫ

Р е з ю м е

В работе обсуждаются факторы влияющие на техническое состояние креплений шахтного ствола в каменноугольных шахтах с особым учётом агрессивности водной среды по отношению к сплошной крепи.

Представлены основы и принципы применения ультразвуковых методов "У" и косвенного распространения исследования временной прочности на сжатие и конструкций сплошной крепи в условиях одностороннего доступа. Показаны примеры определения кривых градуировки для кирпичных, бетонных и бетонитных крепей, а также способы определения прочности крепления шахтного ствола. Затем представлен анализ результатов измерения прочности горных шахтных креплений в Горносилякском промышленном районе и типичные способы ремонта и реконструкции креплений шахтного ствола.

## EVALUATION OF TECHNICAL CONDITIONS OF MINING SHAFTS AND METHODS OF THEIR PROTECTION

### S u m m a r y

The paper discusses the factors influencing technical conditions of shaft linings in coal mines with particular consideration of water medium aggressivity towards brick linings.

There have been presented principles of ultrasonic method application: "V" and indirect propagation for testing of immediate compression strength and brick structures in the conditions of one side access.

The examples how to determine curves of scaling for brick and concrete linings and how to determine shaft lining strength have been presented. Moreover, the analysis of measurement results of shaft lining strength in the Upper Silesian Industrial Region and typical methods of shaft lining repairs and reconstruction have been shown.



**WYDAWNICTWA NAUKOWE I DIDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ  
MOŻNA NABYC W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:**

- 44-100 Gliwice — Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b  
44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a  
40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Żwirki i Wigury 33  
40-096 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12  
41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10  
41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22  
41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2  
47-400 Racibórz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1  
44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1  
41-200 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7  
41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288  
00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN —  
Pałac Kultury i Nauki  
Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę  
Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.