ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1976

Seria: GÓRNICTWO z.71 Nr kol. 470

Kazimierz Rułka
Józef Mazur

# KOTWIE DŁUGIE DLA WIELKOGABARYTOWYCH WYROBISK KOMOROWYCH

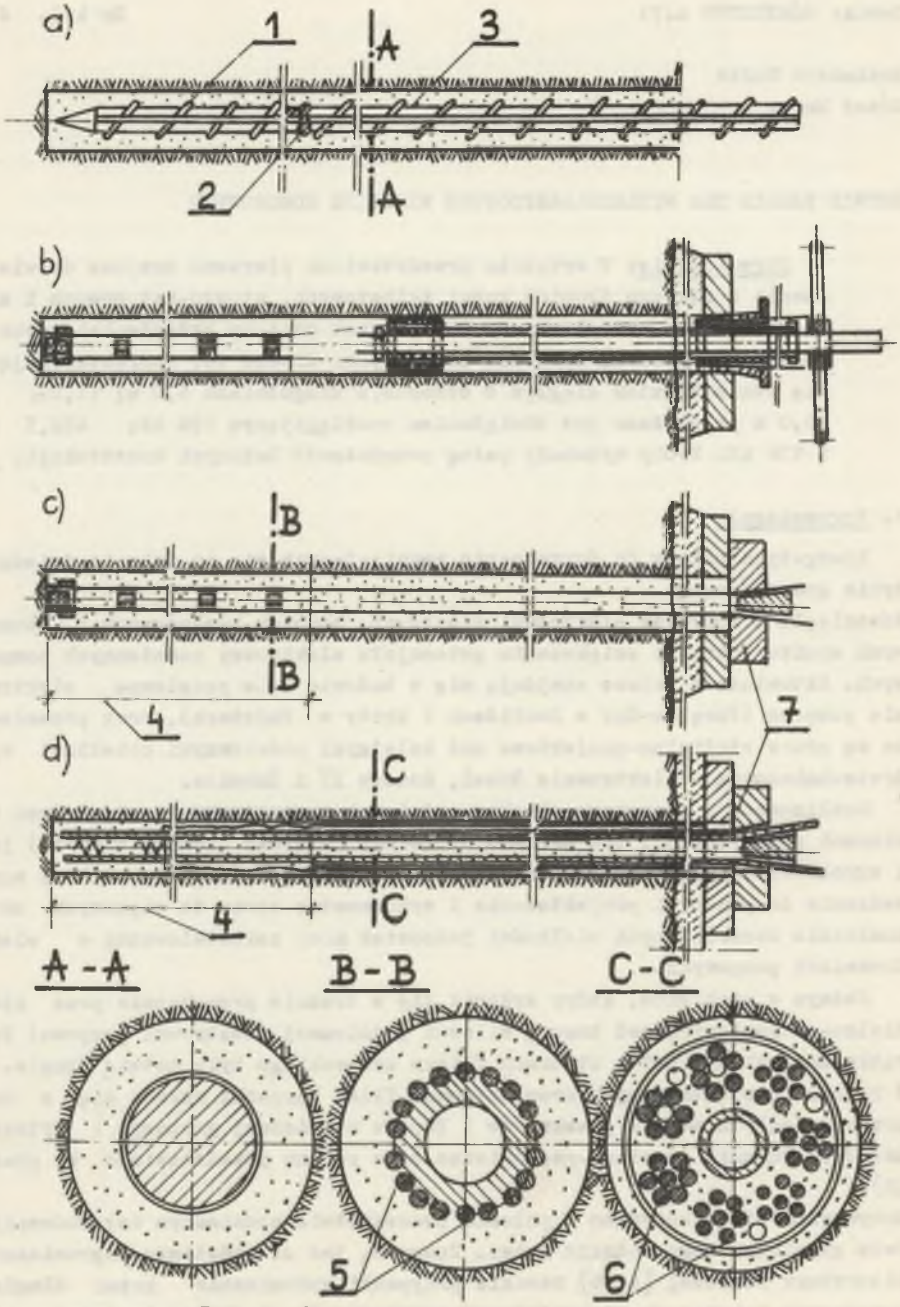
Streszczenie: W artykule przedstawiono pierwsze krajowe doświadczenia z zakresu długich kotwi żelbetowych, struno-betonowych i kablo-betonowych, zrealizowane dla potrzeb obudowy hydrotechnicznych wielkogabarytowych wyrobisk komorowych. Kotwie te, charakteryzujące się utwierdzeniem ciągłym w otworze, o długościach 6,0 m; 11,0 m i 15,0 m przebadano pod obciążeniem rozciągającym 196 kN; 462,5 kN i 936 kN. Próby wykazały pełną przydatność badanych konstrukcji.

## 1. Wprowadzenie

Energetyka należy do dynamicznie rozwijających się na świecie dziedzin życia gospodarczego.
Równolegle z rozwojem elektrowni cieplnych, wodnych kaskadowych i atomowych wynika potrzeba zwiększenia potencjału elektrowni podziemnych pompowych. Aktualnie w Polsce znajdują się w budowie dwie podziemne elektrownie pompowe (Porąbka-Żar w Beskidach i Młoty w Sudetach), oraz prowadzone są prace studialno-projektowe nad kolejnymi podziemnymi obiektami hydrotechnicznymi - elektrownie Sobel, Rożnów II i Żabnica.

Realizowane i planowane obiekty podziemne charakteryzują się dużymi wymiarami gabarytowymi, tak zarówno wyrobiska komorowe (komory siłowni) jak i wyrobiska korytarzowe poziome, pochyłe i pionowe. Jest to wynikiem wprowadzania do praktyki projektowania i wykonawstwa coraz to większych ekonomicznie uzasadnionych wielkości jednostek mocy zainstalowanej w elektrowniach pompowych.

Jednym z problemów, który wyłonił się w trakcie prowadzenia prac studialno-projektowych nad komorą siłowni podziemnej elektrowni pompowej Porąbka-Żar wykonywanej w utworach fliszu karpackiego były kotwie długie.
W rejonie projektowanej hydroelektrowni flisz karpacki składa się z naprzemianległych warstw piaskowców i łupków o zmiennej grubości i wytrzymałości. Warunki górniczo-geologiczne tego rejonu przedstawiono w pracy (2).
Dotychczas nie wykonywano w polskim budownictwie podziemnym czy budownictwie górniczym tego rodzaju kotwi. Znane są też na podstawie zagranicznej literatury fachowej [4; 8] rzadkie przypadki wykonywania kotwi długich sprężanych bazujących w zasadzie na mechanicznym utwierdzeniu kotwi w otworze, które w warunkach fliszu karpackiego są nieprzydatne.
Dla stateczności budowli Główne Biuro Studiów i Projektów Górniczych Katowice zaprojektowało jako jeden z wariantów element obudowy ostatecznej,




Rys. 1. Konstrukcje długich kotwi:

a - kotew żelbetowa; b - osprzęt montażowy kotwi strunobetonowej; c - kotew strunobetonowa; d - kotew kablobetonowa. 1 - pręt stalowy; 2 - połączenie spawane; 3 - zaprawa cementowa; 4 - głowica kotwiąca; 5 - struny stalowe; 6 - liny stalowe; 7 - blok kotwiący

tj. następujące rodzaje kotwi długich: kotwie prętowe nie sprężane żelbetowe oraz kotwie sprężane strunobetonowe i kablobetonowe (rys. 1).

Wymienione rozwiązania techniczne długich kotwi zostały kompleksowo przebadane przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Budownictwa Górniczego "BUDOKOP" Mysłowice w warunkach budowy hydroelektrowni Porąbka-Żar w celu uzyskania informacji o możliwości praktycznego ich zastosowania.

## 2. Kotwie nie sprężane żelbetowe o długości 6,0 m

Badania kotwi żelbetowych obejmowały przeprowadzenie prób nad technologią ich wykonania w warunkach dołowych budowy komory siłowni. Konstrukcję kotwi żelbetowej przedstawiono na rys. 1a. W wyniku badań ustalono następujące elementy konstrukcyjne kotwi:

- pręty okrągłe żebrowane skośnie do zbrojenia betonu ze stali 34GS,
- długość pierwszego odcinka pręta 3,5 m;
- długość drugiego odcinka pręta 3,0 m;
- całkowita długość osadzenia pręta w otworze kotwiowym do 6,0 m;
- średnica nominalna pręta $d_n$ = 28 mm;
- receptura zaprawy - piasek: cement portlandzki "350": woda w stosunku wagowym jak: 1:1: (0,3 - 0,4)

Wstępne badania w zakresie doboru w granicach do 20° kąta nachylenia kotwi długich w stosunku do kąta nachylenia warstw skalnych oraz ich nośności do 196 kN wykonano na kotwiach żelbetowych.
Próby przeprowadzono w stanowiskach badawczych w wyrobiskach we fliszu karpackim.

W wyniku prac badawczych, długie kotwie żelbetowe nie sprężane zostały w pełni zastosowane na skalę przemysłową jako zasadniczy element zabezpieczenia stropu i ścian bocznych komory siłowni do czasu wykonania obudowy ostatecznej.

## 3. Kotwie strunobetonowe o długościach 7,0 i 11,0 m

Zakres badań obejmował:
- próby półprzemysłowe wiercenia otworów kotwiowych;
- próby półprzemysłowe montażu, osadzania i sprężania kotwi w otworach;
- badania półprzemysłowe wielkości obciążeń kotwi strunobetonowych;
- badania półprzemysłowe strat naciągu i pełzania stali strun kotwi strunobetonowych.

### 3.1. Próby zastosowania kotwi strunobetonowych

Próby odwiercenia we fliszu karpackim otworów kotwiowych dla długich kotwi strunobetonowych przeprowadzono w specjalnych komorach badawczych.

Do wiercenia otworów kotwiowych zastosowano wiertnicę drenażową pneumatyczną typu WDP-1.
Odwiercono 6 otworów pod kątem od 10° do 15° w stosunku do kąta uwarstwienia skał.

Długość odwierconych otworów od 7,15 m do 11,40 m. Do wiercenia otworów kotwiowych stosowano kolejno: koronki jodełkowe i koronki rdzeniowe średnicy 115 mm, oraz świdry trójgryzowe średnicy 114 mm produkcji Fabryki Narzędzi Wiertniczych "Georyt".

Odwiercenie otworów koronkami jodełkowymi i rdzeniowymi sprawiało duże trudności techniczno-ruchowe. Uzyskano bardzo mały postęp wiercenia otworów, tj. 0,1-0,25 mb/godz.

Świdry trójgryzowe średnicy 114 mm (4 1/2") typu S i T okazały się najodpowiedniejsze spośród badanych w warunkach skał fliszu karpackiego. Uzyskano postęp wiercenia otworu od 2,0 do 3,0 m/godz. w zależności od rodzaju i twardości przewiercanych warstw skalnych.

Opierając się na uzyskanych doświadczeniach w zakresie kotwienia skał fliszowych [7] oraz na projekcie Biura Projektów Górniczych - Katowice, wykonano osprzęt do montażu (rys. 1b) i ostateczną konstrukcję kotwi (rys. 1c). W ostatecznej konstrukcji osprzętu do montażu i samej kotwi wprowadzono szereg koniecznych zmian w stosunku do projektu wynikłych z badań realizowanych w tym zakresie przez OBR-BG "BUDOKOP" a dotyczących szczegółów konstrukcyjnych i rodzaju materiałów.

Po odwierceniu otworów kotwiowych przystąpiono do montażu konstrukcji kotwi. Z 18 sztuk strun kotwiowych o Ø 5 mm, każda ze stali o $R_r \geqslant 1667122$ kN/m$^2$, uformowano kabel na długości stanowiącej głowicę.

Rys. 2. Stanowisko badawcze z zabudowaną długą kotwią strunobetonową

Pozostały odcinek strun kotwiowych uporządkowano w przewodzie dociskowo-uszczelniającym, wykonanym z dwu rur współśrodkowych.
Odpowietrzenie cementowanej przestrzeni głowicy zapewniono poprzez rurkę odpowietrzającą. Po tym przygotowaniu wprowadzono kabel strunowy do otworu razem z przewodem dociskowo-uszczelniającym.
Po wprowadzeniu kabla do otworu rozparto w nim przewód dociskowo-uszczelniający uszczelniając w ten sposób odcinek otworu przeznaczony do zakotwienia głowicy (rys. 1b).

Głowice kotwi strunobetonowej iniektowano zaczynem cementowym, przy pomocy dwuzbiornikowej mieszarko-wtryskarki.

Po takim przygotowaniu kotwi do badań uzbrojono wlot jej otworu w płytę stalową, osadzoną na zaprawie cementowej. Kabel pozostawiono bez obciążenia do czasu związania zatłoczonego zaczynu cementowego, po czym sprężono i zakotwiono (rys. 2).

Następnie zainiektowano pozostałą przestrzeń otworu zaczynem cementowym (rys. 1c).

Dla badań wykonano 6 sztuk długich kotwi strunobetonowych w tym trzy o długości utwierdzenia głowicy około 4 m oraz trzy o długości utwierdzenia głowicy około 6 m.

### 3.2. Badania parametrów technicznych kotwi strunobetonowych

Zaprogramowane badanie kotwi strunobetonowych przeprowadzono w zakresie nośności kotwi, strat naciągu oraz pełzania stali strun kablowych. Należy zaznaczyć, że w ogólnym przypadku konstrukcji strunobetonowych (1;5), na tę grupę strat składają się straty:

- pochodzące od sprężystego odkształcania konstrukcji $\Delta\delta_{\varepsilon}$,
- wynikające z poślizgu kabla w zakotwieniu $\Delta\delta_{m}$
- spowodowane tarciem kabla na łukach i załamaniach trasy $\Delta\delta_{\mu}$
- spowodowane tarciem kabla wzdłuż jego trasy $\Delta\delta_{\lambda}$

a więc:

$$\Delta\delta_{o} = \Delta\delta_{\varepsilon} + \Delta\delta_{m} + \Delta\delta_{\mu} + \Delta\delta_{\lambda}$$

Straty doraźne siły naciągowej w kablu składają się ze strat własnych, strat od tarcia w zakotwieniu oraz strat właściwych:

$$\Delta N_{d} = \Delta N_{w} + \Delta N_{z} + \Delta N_{o}$$

Z chwilą zakończenia sprężania zmiany siły sprężającej podlegają prawom reologicznym i tego rodzaju zmiany, zwane stratami reologicznymi $\Delta\delta_{r}$ odpowiednio zmniejszają ostateczne eksploatacyjne naprężenia w kablu $\delta_{zs}$:

$$\delta'_{zs} \cong \delta_{zs} - \Delta\delta_{r}$$

Do określenia strat naciągu kabli potrzebna jest suma strat własnych i strat od tarcia w zakotwieniu, określana współczynnikiem sprawności, lub bezpośrednia zależność ciśnienia oleju w zespole naciągowym (prasie hydraulicznej), mierzonego za pomocą manometru od siły naciągowej montażowej Pm.

Z publikacji krajowych i zagranicznych [1; 5; 6; 9; 10] wynika, że wartość sumarycznego współczynnika sprawności oraz wartość jego składowych, określane przez różnych badaczy, wykazują dużą rozbieżność i mogą być trak-

towane jedynie jako wielkości orientacyjne lub poglądowe. Jedynym miarodajnym sposobem właściwego uwzględniania tych strat jest przeprowadzenie eksploatacyjnego badania kontrolnego zespołu naciągowego (prasy hydraulicznej), zwanego również "cechowaniem prasy".
Cechowanie takie można przeprowadzić w naturalnych warunkach budowy lub na specjalnej konstrukcji oporowej, zapewniającej takie same warunki pracy zespołu, jakie wystąpią na budowie.

Ten sposób cechowania urządzenia naciągowego, prowadzący do ustalenia bezpośredniej zależności ciśnienia od siły naciągowej montażowej, pozwolił na całkowite pominięcie strat własnych oraz strat, wynikających z tarcia w zakotwieniu przy badaniu naciągu kotwi strunobetonowych.

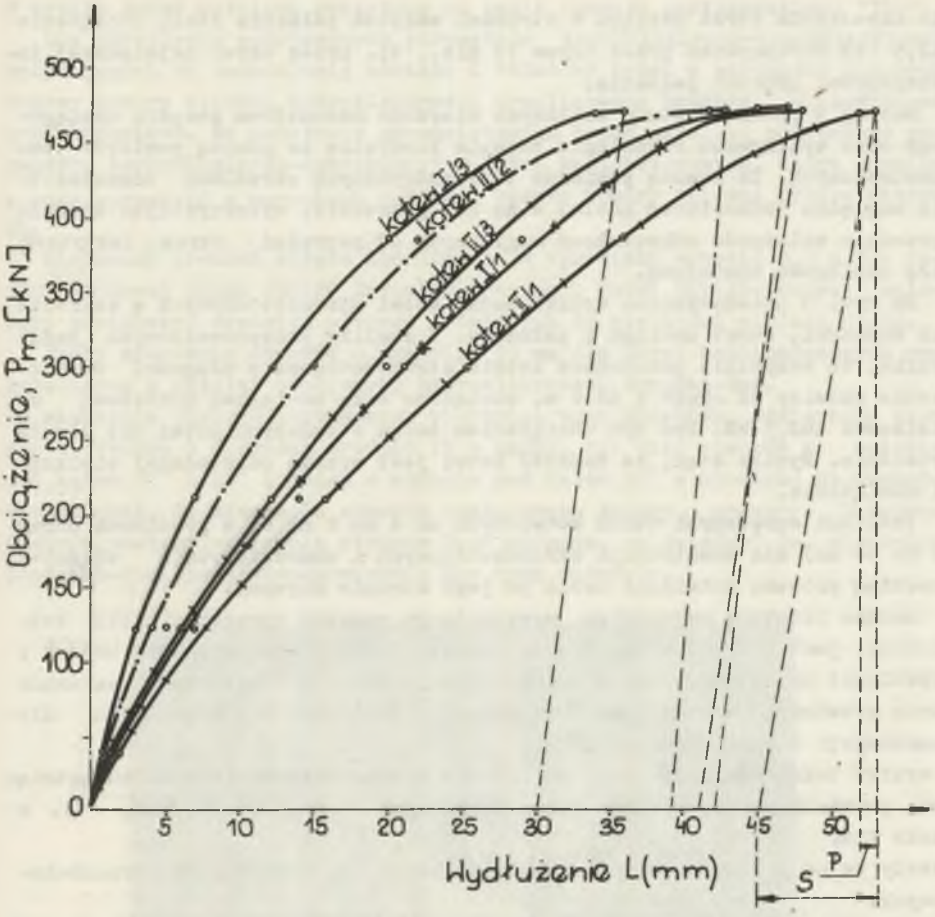
Nośność kotwi o długościach utwierdzenia głowic od około 4,0 m do 6,0 m badano przy pomocy prasy hydraulicznej typu H-C-2a, stosowanej do sprężania konstrukcji strunobetonowych. Siła naciągowa teoretyczna tej prasy wynosi 504,7 kN, siła naciągowa eksploatacyjna, obciążająca kotew, wynosi około 0,9 wartości siły naciągowej teoretycznej tj. 454,7 kN.

Podczas badania kotwi obciążano równocześnie wszystkie struny kotwiowe siłą naciągową eksploatacyjną do 462,5 kN. Wyniki obciążenia kotwi strunobetonowych uzyskano ze wskazań manometru o zakresie 0-39226 kN/m$^2$ i na podstawie charakterystyki technicznej prasy hydraulicznej.
Odczyty wielkości wzrostu obciążenia zarejestrowano co 2450 kN/m$^2$, przy czym równocześnie mierzono wydłużenie strun kotwiowych ze wzrostem obciążenia co 4900 kN/m$^2$. Maksymalnym naciągiem 462,5 kN obciążano każdą badaną kotew w czasie 10 minut, po czym mierzono wydłużenie i wstępnie zaklinowywano końcówki strun kotwiowych przy pomocy podkładki i stożkowego klina kotwiącego.

Następnie zwolniono struny kotwiowe spod obciążenia prasy hydraulicznej. Podczas uwalniania strun kotwiowych spod obciążenia prasy hydraulicznej powstał ich poślizg, który wynosił od 4 do 6 mm dla kotwi o długości całkowitej około 7m, a od 5 do 8 mm dla kotwi o długości całkowitej około 11 m. Powstałe pod obciążeniem wydłużenie jednostkowe strun kotwiowych wynosiło od 8,78 do 9,03 mm/m.

Wyniki pomiarów obciążenia i wydłużeń przedstawiono na wykresie (rys.3) charakteryzującym zależność wydłużenia liniowego strun kotwiowych od wielkości siły naciągowej montażowej.

Z analizy badań zakotwienia głowic kotwiowych o długości od około 4 m do około 6 m wynika, że ich nośność znacznie przewyższa wielkość siły 462,5 kN, jaką je obciążano. Straty naprężeń w konstrukcjach strunobetonowych wynikające ze sprężystego odkształcenia konstrukcji oraz straty spowodowane tarciem kabla wzdłuż jego trasy zmierzyć można za pomocą zainstalowanego siłomierza po stronie biernej konstrukcji. W przypadku badania kotwi strunobetonowej, zabudowanej w górotworze, stroną bierną konstrukcji jest głowica kotwi, usytuowana na dnie otworu wiertniczego. Takie usytuowanie głowicy kotwi nie pozwala na założenie siłomierza. Ze względu




Rys. 3. Zależność wydłużeń od siły naciągowej montażowej L = f (Pm) kotwi strunobetonowych;
P - pełzanie stali kabla kotwiowego, S - poślizg kabla kotwiowego

na powyższe trudności w badaniach ograniczono się do określenia strat naciągu powstałych skutkiem poślizgu kabla w zakotwieniu w bloku kotwiącym po stronie czynnej kabla i pełzania stalowych strun kotwiowych.

W oparciu o wyniki cechowania wykonano przy pomocy zespołu naciągowego badania pełzania strun kotwi struno-betonowych, zabudowanych w komorach badawczych w hydroelektrowni Porąbka-Żar. Zwiększając stopniowo ciśnienie w zespole naciągowym, badano faktyczne siły naciągowe montażowe, występujące pod blokiem kotwiącym po stronie czynnej kabla, wykorzystując wykres zależności ciśnienia oleju od siły naciągowej montażowej, sporządzony drogą cechowania urządzenia. Badany kabel obciążano siłą naciągową montażową do 26950 kN/$m^2$ tj. do około 462,5 kN.

Dla określenia strat naciągu w strunach wskutek pełzania stali obciążenie 462,5 kN utrzymywano przez okres 10 min., tj. przez okres największej intensywności procesu pełzania.

Naciąg i pełzanie strun kablowych mierzono manometrem zespołu zaciągowego oraz wykonywano równolegle badania kontrolne za pomocą pomiarów tensometrycznych. Za pomocą pomiarów tensometrycznych określono odkształcenie względne jednostkowe kabla, a na ich podstawie, wykorzystując zbadaną uprzednio zależność odkształceń względnych od naprężeń strun, faktyczną siłę naciągową montażową.

Na rys. 3 przedstawiono wyniki badań kotwi strunobetonowych w zakresie ich nośności, strat naciągu i pełzania. Z analizy przeprowadzonych badań wynika, że wszystkie przebadane kotwie strunobetonowe o długości utwierdzenia głowicy od około 4 do 6 m, obciążono siłą naciągową montażową do wielkości 462,5 kN. Pod tym obciążeniem żadna z badanych kotwi nie uległa zruszeniu. Wynika stąd, że nośność kotwi jest wyższa od zbadanej wielkości obciążenia.

Poślizgi sprężanych strun kotwiowych od 4 do 8 mm są w granicach normy (3 do 10 mm) dla konstrukcji strunobetonowych i charakteryzują właściwy przebieg procesu kotwienia kabla po jego stronie czynnej.

Bardzo istotnym czynnikiem, występującym podczas sprężania kabli kotwiowych, jest ich pełzanie. Proces pełzania kabli kotwiowych był badany i przebiegał najintensywniej w czasie 10 min. Zbadana wielkość pełzania strun kotwiowych wynosi 1 do 3 mm i jest w granicach dopuszczalnych dla konstrukcji strunobetonowych.

W wyniku badań stwierdza się, że podczas zakotwienia kabli w bloku kotwiącym, powstały straty naciągu strun kotwiowych od 56,3 do 61,1 kN, tj. o około 12%.

Straty te są zbliżone do dopuszczalnych strat dla konstrukcji strunobetonowych.

## 4. Kotwie kablobetonowe o długości 15,0 m

Zakres badań obejmował:
- badania elementów kotwi;
- próby wiercenia otworów kotwiowych;
- próby montażu, osadzania i sprężania kotwi w otworach;
- badania parametrów technicznych kotwi.

### 4.1. Badania elementów kotwi kablobetonowych

Dla ustalenia optymalnych parametrów konstrukcyjnych kotwi kablobetonowych zrealizowano wstępne badania powierzchniowe i dołowe ich elementów.

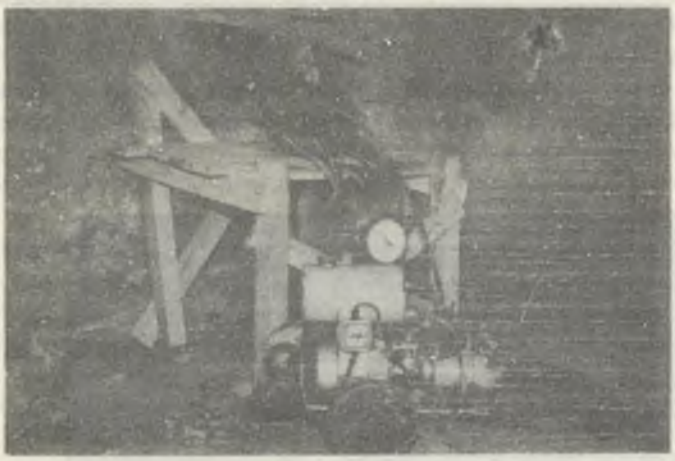
Na podstawie uzyskanych doświadczeń z badań w zakresie krótkich kotwi żelbetowych dla hydroelektrowni Porąbka-Żar [7] oraz pracy [3] wytypowano do prób receptury zapraw cementowych. Receptury te przebadano w zakresie zmian konsystencji i możliwości zatłaczania do otworów kotwiowych rurą miedzianą o $D_w$ = 13,6 mm, długości 17,4 m.

W wyniku badań ustalono recepturę na bazie cementu portlandzkiego "350".

Dla określenia podstawowych parametrów technologiczno-konstrukcyjnych wpływających na technologię montażu i zabudowy kotwi w warunkach dołowych budowy komory siłowni hydroelektrowni zrealizowano badania stanowiskowe powierzchniowe. Na podstawie przedmiotowych badań ustalono podstawowe parametry technologiczno-konstrukcyjne kotwi kablobetonowych, które zawnioskowano sprawdzić w warunkach dołowych budowy komory siłowni hydroelektrowni.

Minimalny promień skrętu konstrukcji w wyrobisku wynosił 3,0 m.Dla zaprojektowanej przez GBSiPG Katowice koncepcji kotwi kablobetonowej należało powiększyć średnicę otworów kotwiowych do wielkości minimum 85 mm.

Próby wiercenia otworów o średnicy 95 mm dla kotwi kablobetonowych przeprowadzono w sztolni odpływowej hydroelektrowni Porąbka-Żar.
Do wiercenia otworów zastosowano wiertnicę typu MDS-06WA. Odwiercono łącznie 6 otworów o długości średnio 15 m każdy, tj. pięć otworów w ociosie pod kątem $17^{o}$ i $25^{o}$ i jeden w stropie pod kątem $90^{o}$ w stosunku do uwarstwienia skał. Do wiercenia otworów zastosowano świdry gryzery. Uzyskano średnie postępy wiercenia otworów 0,48 mb/godz. co świadczy że wiertnica typu MDS-06WA jest nieodpowiednia dla tych warunków.



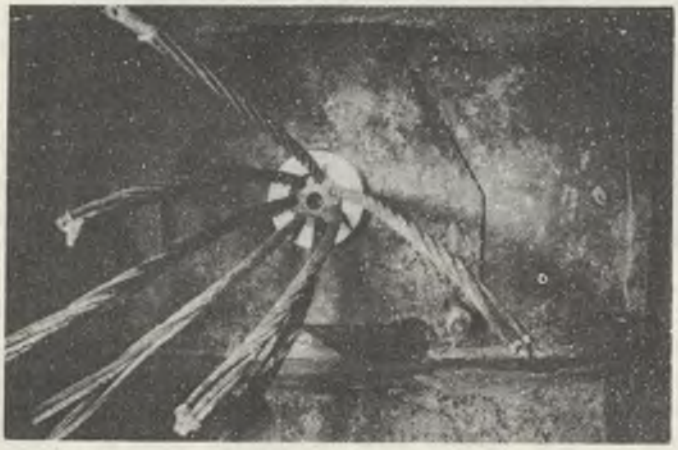
Rys. 4. Stanowisko badawcze kotwi kablobetonowych

Badania kotwi kablobetonowych przeprowadzono w stanowisku badawczym (rys. 4). Po przygotowaniu warsztatowym elementów kotwiowych przystąpiono do montażu konstrukcji kotwi. Z 6 sztuk naprężonych lin stalowych splotów 7 x 5 mm ze stali o $R_r \geqslant 1470900$ kN/m$^2$ uformowano kabel do projektowanej konstrukcji z równoczesnym założeniem pozostałych elementów konstrukcyjnych. Konstrukcję kotwi kablobetonowej stanowiącą jej głowicę, na długości perferowanej rury stalowej, zatopiono substancją klejącą.

Po przygotowaniu wprowadzono kabel kotwiowy do otworu, po czym nałożono na końcowy odcinek lin płytę stalową wyrównawczą. Przestrzeń między caliznę skalną a płytą wyrównawczą wypełniono masą betonową.
Głowice kotwi o kątach nachylenia od + 17° do + 25° zainiektowano kolejno zaprawą cementową pod ciśnieniem 784-1176 kN/m$^2$, natomiast kotwi stropowej pod ciśnieniem 1960-2450 kN/m$^2$, po czym doiniektowano pod ciśnieniem 3430-3920 kN/m$^2$ w czasie 30 min.
Po wykonaniu iniekcji doszczelniającej zamknięto ewentualny wypływ zaprawy z kotwi. Schemat zabudowanej długiej kotwi kablobetonowej przedstawia rys. 1d.

4.2. Badania parametrów technicznych kotwi kablobetonowych

Badania kotwi przeprowadzono w zakresie wytrzymałości zapraw cementowych, wielkości obciążeń kotwi, pełzania i strat naciągu stalowych lin kotwiowych.
Sprężanie kotwi kablobetonowych wykonywano przy pomocy specjalnej prasy hydraulicznej typu Herkules H-120 stosowanej w budownictwie powierzchniowym do konstrukcji kablobetonowych.
Dopuszczalna siła naciągowa tej prasy wynosi 1176 kN i odpowiadająca jej siła naciągowa montażowa równa jest 1083 kN. Z uwagi na uzyskiwane podczas sprężania bardzo duże wielkości obciążeń, proces sprężania konstrukcji kablobetonowych wykonywany był przez ekipę specjalistyczną.
Ogólny widok stanowiska badawczego podczas sprężania kotwi przedstawiono na rys. 4. Natomiast rys. 5 obrazuje fragment sprężonej długiej kotwi kablobetonowej.



Rys. 5. Sprężona długa kotew kablobetonowa

Dla konstrukcji kotwi kablobetonowych będących przedmiotem badań zaprojektowano zaprawę cementową $R_w$ = 8820 kN/m$^2$. Kotwie kablobetonowe zło-

żone z 6 lin o długości utwierdzenia głowicy 4,0 m obciążano siłą naciągową montażową do wielkości 936 kN. Wyniki obciążenia kotwi kablobetonowych uzyskiwano ze wskazań manometru o zakresie 0-3922 kN/m$^2$ zainstalowanym na prasie hydraulicznej i na podstawie charakterystyki technicznej prasy hydraulicznej.
Odczyty wielkości wzrostu obciążenia rejestrowano w interwale: 2940; 4900; 9800; 19600; 27400 i 31360 kN/m$^2$, przy czym równocześnie mierzono wydłużenie lin kotwiowych ze wzrostem obciążenia.

Naciągiem do 936 kN obciążono trzy kotwie w czasie 10 min.i jedną kotew do 818 kN w czasie 15 min, po czym pomierzono wydłużenie i wstępnie zaklinowano końcówki lin kotwiowych w bloku kotwiącym. Następnie zwolniono struny kotwiowe spod obciążenia prasy hydraulicznej.

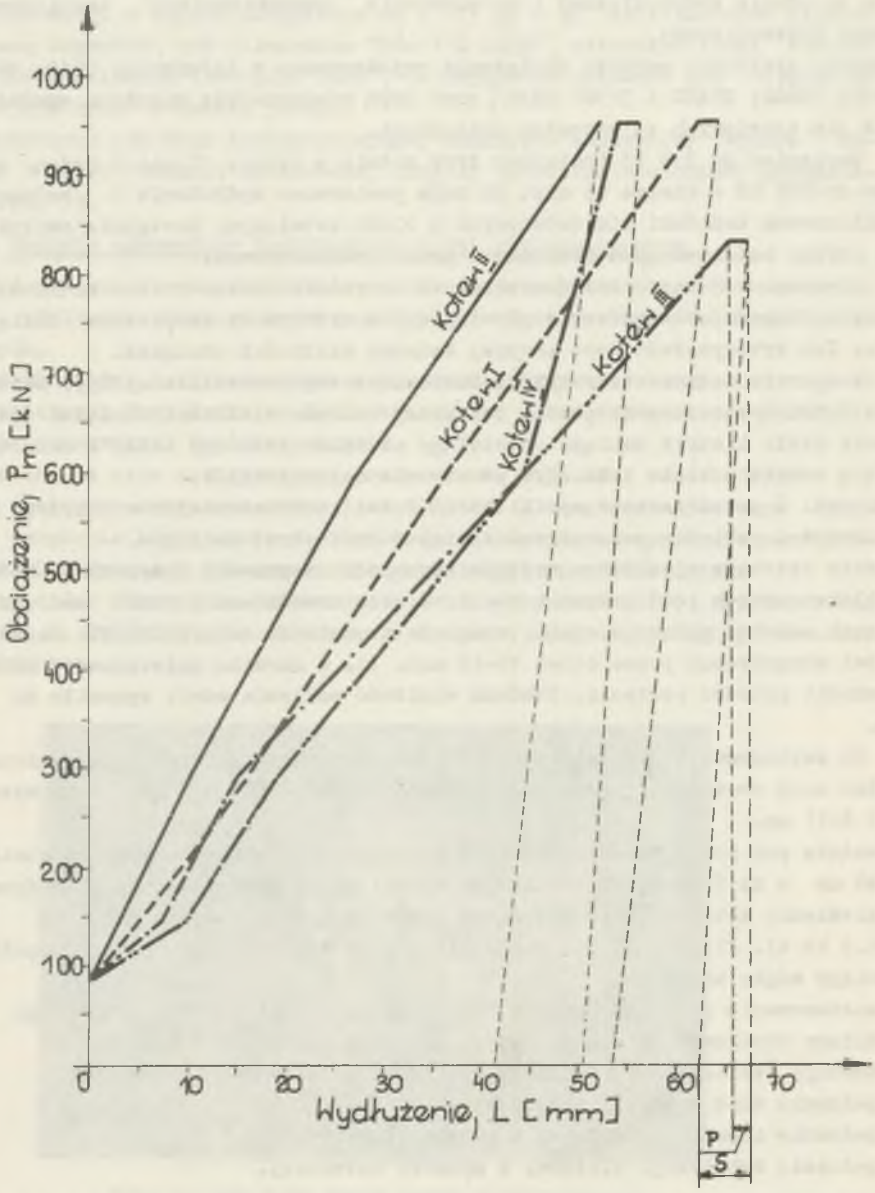
Z przeprowadzonych badań wynika, że wszystkie badane kotwie kablobetonowe o długości utwierdzenia głowicy 4,0 m wytrzymały przyłożone obciążenie. Ich wytrzymałość jest powyżej badanej wielkości obciążeń.

W oparciu o charakterystykę techniczną prasy hydraulicznej typu Herkules H-120 wykonano przy pomocy tej prasy badania wielkości obciążeń pełzania stali i strat naciągu powstałego skutkiem poślizgu kabla w zakotwieniu w czasie w bloku kotwiącym po stronie czynnej kabla.
Na rys. 6 przedstawiono wyniki badań kotwi kablobetonowych w zakresie ich wydłużeń i pełzania pod wpływem obciążeń oraz strat naciągów.
Bardzo istotnym zjawiskiem występującym podczas procesu sprężania kotwi kablobetonowych jest pełzanie stali. W celu zredukowania strat naciągu w linach wskutek pełzania stali, wywołane obciążenie maksymalne dla badanej kotwi utrzymywano przez okres 10-15 min. tj. w okresie największej intensywności procesu pełzania. Zbadana wielkość pełzania stali wynosiła do 2 mm.

Po zaklinowaniu lin kotwiowych w bloku kotwiącym podczas uwalniania kotwi spod obciążenia prasy hydraulicznej powstał ich poślizg,który wynosił 5-11 mm.
Powstałe pod obciążeniem wydłużenie jednostkowe lin kotwiowych wynosiło 3,48 mm m do 5,27 mm m. Analizując wyniki badań stwierdza się,że podczas zakotwienia kabli w bloku kotwiącym powstały straty naciągu 167,6 kN i 268,5 kN tj. 21,6% i 31,3%. Wnioskuje się,że wpływ na tak znaczny spadek naciągu mogło mieć:

- zastosowanie do konstrukcji kotwi złożonej z 6 lin, bloku kotwiącego z klinem stożkowym kotwiącym zaprojektowanym dla kotwi 7 liniowej;
- korozja stali, która umożliwia dodatkowy poślizg na zakotwieniu;
- pełzanie skał w partii sprężonej;
- pełzanie zaprawy cementowej w głowicy kotwiowej;
- pełzanie substancji klejącej w głowicy kotwiowej.

Obserwowany w dwu przypadkach z wpływem czasu w okresie do 36 dni i do 6 miesięcy spadek naciągu kotwi wynosił w pierwszym przypadku 2,58%,zaś w drugim 7,8%. Zatem wnioskuje się że spadek ten mógł być powodowany ko-




Rys. 6. Zależność wydłużeń od siły naciągowej montażowej L = f (Pm) kotwi kablobetonowych;

P - pełzanie stali kabla kotwiowego, S - poślizg kabla kotwiowego

rozją stali w bloku kotwiącym powstałą na skutek niewykonania, niezwłocznie po sprężeniu, drugiego etapu iniekcji kotwi kablobetonowych.

## 5. Ocena możliwości stosowania kotwi długich w warunkach fliszu karpackiego

Wyniki badań długich kotwi żelbetowych, strunobetonowych i kablobetonowych w utworach fliszu karpackiego pozwalają na postawienie następujących wniosków:

1. Stwierdzono praktyczną możliwość stosowania długich kotwi żelbetowych, strunobetonowych i kablobetonowych do zabezpieczenia ścian i stropu komór o bardzo dużych wymiarach gabarytowych w warunkach fliszu karpackiego.
2. Zarówno długie kotwie żelbetowe, strunobetonowe jak i kablobetonowe osiągają parametry techniczne umożliwiające stosowanie ich w budownictwie podziemnym w wysokich wyrobiskach komorowych; parametry te są bardzo zbliżone do wartości dopuszczalnych dla konstrukcji sprężanych stosowanych w budownictwie powierzchniowym.
3. W zakresie badanych obciążeń (kotwie żelbetowe 196 kN, strunobetonowe 462,5 kN, kablobetonowe 936 kN) nie stwierdzono uszkodzeń konstrukcji kotwi.
4. Dla prawidłowego i szybkiego odwiercenia otworów kotwiowych w utworach fliszu karpackiego należy stosować wiercenie udarowo-obrotowe.
5. Uważa się za celowe prowadzenie dalszych badań kotwi długich w warunkach fliszu karpackiego, ze szczególnym uwzględnieniem kotwi kablobetonowych oraz granicznych sił zrywających lub wyrywających.

## LITERATURA

[1] Cieszyński K., Hładyniuk W., Bielawski J.: Technologia konstrukcji kablobetonowych. Arkady, Warszawa 1968.

[2] Filimowski J.: Wybrane zagadnienia geologii inżynierskiej z dokumentacji badań prowadzonych dla Elektrowni Szczytowo-Pompowej "Beskid". Biuletyn informacyjny - hydrogeologia i geologia inżynierska 1970, rocznik III nr 1.
Zjednoczenie Przedsiębiorstw Hydrogeologicznych w Warszawie.
Działowy Ośrodek Informacji Technicznej i Ekonomicznej przy Przedsiębiorstwie Hydrogeologicznym Kraków.

[3] Godziek J., Misiąg F., Mizia A., Posyłek E., Potoczny A., Rułka K., Stopnicki D., Wichur A.: Wytyczne cementacji obudowy i górotworu poza obudową wyrobisk górniczych. Zakład Badań i Doświadczeń Budownictwa Górniczego. Mysłowice 1972.

[4] Holz P.: Prestressed support at Bancroft. Canadian Mining Journal, november 1963.

[5] Kaufman S., Olszak W., Eimer Cz.: Budownictwo Betonowe, tom III. Konstrukcje sprężone. PAN Komitet Inżynierii Lądowej. Arkady. Warszawa 1965.
[6] Kluz T. i inni: Beton sprężony, konstrukcje i technologia, tom I. Ośrodek Informacji Technicznej i Ekonomicznej w Budownictwie. Warszawa 1968.
[7] Mazur J.: Badania nad doborem właściwej obudowy wstępnej dla podziemnego budownictwa hydrotechnicznego w warunkach fliszu karpackiego. Praca doktorska AGH Kraków, 1974.
[8] Rescher O.J.: Erfarungen beim Ausbau der Kawernen-Zentrale Weytaux mit Spritzbeton und Felsankern. Felsmechanik u. Ingenieurgeol. Suppl. IV 1968.
[9] Wittfoht H.: Das Spannverfahren PZ "Bautechnik", 1954, nr 11.
[10] Zerna W.: Ein vielseitiges Spannbetonverfahren "Beton und Stahlbeton" 1955.

ДЛИННЫЕ АНКЕРА ДЛЯ КАМЕРНЫХ ВЫРАБОТОК
С БОЛЬШИМИ ГАБАРИТАМИ

Р е з ю м е:

В статбе представлены первые опыты по применению длинных железобетонных, струнобетонных и каблебетонных анкеров, выполненных в ПНР для нужд поддержания гидротехнических камерных выработок с большими сечениями. Эти анкера, характеризующиеся непрерывным закреплением в скважинах, на длине 6,0м, 11,0м и 15,0м были испытаны условиях растягивающих нагрузок 196 кН, 462,5 кН и 936кН Эксперименты показали полную работоспособность испытанных конструкций.

LONG ANCHORS FOR BIG DIMENSIONED HYDRAULIC CHAMBER
EXCAVATIONS

S u m m a r y

The first home experiments in the field of long reinforced concrete, string concrete and cable concrete anchors have been presented in this paper.
The experiments were realized for the needs of lining of big dimensioned hydraulic chamber galleries. These anchors, characterized by the continual fastening in the holes, of lengths of 6,0; 11,0 m and 15,0 m have been examined under the stretch loading of 196 kN; 462,5 kN and 936 kN.
The tests proved the complete utility of the examined constructions.