

Józef MAZUR

Kazimierz RULKA

**BADANIA ELEMENTÓW OBUDOWY WSTĘPNEJ DLA TUNELI HYDROENERGETYCZNYCH
ELEKTROWNI WODNEJ CZORSZTYN-NIEDZICA**

Streszczenie. Tunele hydroenergetyczne elektrowni w Czorsztynie-Niedzicy charakteryzujące się znacznymi przekrojami poprzecznymi i kubaturami zostały zlokalizowane w bardzo trudnych warunkach geologicznych. Dobór odpowiedniej trwałej obudowy dla tych wyrobisk poprzedzono badaniami "in situ". W referacie przedstawiono niektóre fragmenty przeprowadzonych badań nad doбором elementów obudowy wstępnej. W szczególności obejmują one wyniki badań nad doбором kotwi i betonu natryskowego.

1. Wprowadzenie

W roku 1976 podjęto budowę zapory i hydroelektrowni w Czorsztynie-Niedzicy. Realizacja tego przedsięwzięcia wymagała rozwiązania szeregu problemów techniczno-organizacyjnych związanych z budową obiektu o dużych przekrojach poprzecznych i kubaturach wyrobisk podziemnych w warunkach różnorodnych słabego górotworu. Do rozwiązania tych problemów został zaangażowany również Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Budownictwa Górniczego "Budokop" Mysłowice, który posiada bogate doświadczenia przy budowie tego rodzaju obiektów.

1.1. Krótką charakterystykę utworów geologicznych w rejonie budowy obiektów podziemnych elektrowni wodnej Czorsztyn-Niedzica**1.1.1. Warunki geologiczne****Litologia i stratygrafia**

Przeprowadzone przez Przedsiębiorstwo Geologiczne Budownictwa Wodnego "Hydrogeo" Kraków badania otworami z powierzchni oraz w wyrobiskach drążonych z powierzchni i podziemnych wykazały, że występujące na badanym terenie utwory można podzielić ze względu na wiek na dwie grupy:

- utwory oswartorzędowe-kenozoiczne,
- utwory kredowe i jurajskie-mezozoiczne.

Utwory oswartorzędowe występujące na omawianym obszarze są pochodzenia: rzecznego (żwiry, otoczaki granitów, piaskowców, wapieni, gliny), wietrze-

niowego (rumosze skał, gliny i ily) i osuwiskowego (gliny przemieszane z rumoszem skał oraz otoczkami).

Utwory kredowe i jurańskie. Są one bardzo urozmaicone pod względem litologicznym i stratygraficznym. Ta duża zmienność utworów została spotęgowana niezwykle skomplikowaną tektoniką, powodującą nieciągłość poszczególnych ogniw, luki stratygraficzne oraz dużą zmienność miąższości.

Na omawianym obszarze w rejonie budowy obiektów podziemnych występują następujące utwory mazozoiczne:

- utwory fliszowe (naprzemianległe cienkoławicowe warstwy piaskowców i łupków marglistych),
- utwory margli globotruncanowych (margle zielone, pstre i czerwone z przeławiczeniami łupków marglistych),
- utwory globigerinowo-radiolarytowe (czarne, szare lub szarozielone łupki margliste, przekładane wapieniami marglistymi, wapieniami o grubości 2±20 cm oraz czarnymi rogowcami),
- utwory wapieni rogowcowych (białe, jasnozielonawe lub jasnokremowe wapienie w ławicach 10±20 cm z przerostami niebieskawych lub czarnych rogowców), mocno spękanych, wiele szczelin wtórnie scementowanych kalcytem, dużo szczelin otwartych powodujących rozpadanie skały w czasie wietrzenia,
- utwory wapieni bulastych i pseudobulastych; wapień bulasty to wapień gruzłowaty lub gruzłowatolawicowy ozerwonny lub pstry, wapień pseudobulasty to wapień ulawicowy lub łupkowaty o słabo zaznaczającej się bulastowości z bardzo licznymi przerostami ozerwonnych i brunatnych rogowców,
- utwory radiolarytów ozerwonnych (pstre lub ulawiczone rogowce, wapienie krzemionkowe barwy czerwonej, twarde, mocno spękane - szczeliny wypełnia kalcyt),
- utwory radiolarytów zielonych (przeważnie zielone, jasnozielone, szarozielone rogowce i wapienie krzemionkowe) mocno spękanych,
- utwory radiolarytów manganowych (zielono-niebieskie lub szare rogowce z nalotami związków manganu oraz łupki przewarstwiające ławice rogowców),
- utwory sferosydytowe (czarne margliste ily i łupki),
- utwory łupków posidoniovych (szare lub czarne łupki margliste i łupkowe wapienie mułowcowe wietrzejąc przechodzą w ciężką glinę).

Tektonika

Tektonika omawianego obszaru badań jest bardzo urozmaicona i skomplikowana (rys. 1 i 2). Oprócz szeregu sfałdowań przechodzących w łuski obalone wstecznie i silnego zbrekojonowania utworów, występuje również szereg wyciśnień bardziej plastycznych skał między utworami szytynymi.

Cechą charakterystyczną struktur tektonicznych są silne redukcje niektórych ogniw, sfałdowania dysharmonijne, zbrekojonowanie a nawet znylonityzowanie utworów skalnych. Z sfałdami wiąże się występowanie dyslokacji po-

przeczących i skośnych do kierunku rozciągłości warstw, które dodatkowo zaburzają układy jednostek tektonicznych, dzieląc poszczególne pasma na poprzesuwane wzajemnie bloki.



Rys. 1. Charakterystyczny fragment budowy geologicznej w rejonie sztolni



Rys. 2. Charakterystyczny fragment budowy geologicznej sztolni - w górnej części obudowa wstępna z kotwi i betonu natryskowego

Trzonem wszystkich elementów strukturalnych są wapienie rogowcowe. Warstwy ułożone są pionowo lub stromo i przebiegają w kierunku równoleżnikowym. Od podnóża prawego zbocza doliny następuje skręt głównej masy wapieni na kierunek NWW - SEE. Ze skrętem tym zwiększony jest system dyslokacji poprzecznych.

Szczegółowy opis tektoniki zawarty jest w "Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej do projektu technicznego zapory ziemnej na rzece DunaJCiu w Czorsztynie-Niedzicy" wykonanej przez "Hydrogeo" Kraków [1]. Zarówno tektonika fałdowa, jak i dyslokacje pionowe podłużne, skośne i poprzeczne powodują, że górotwór jest silnie spękany, naruszony przez szereg ruchów górotwórczych i tworzy bardzo trudny teren dla prowadzenia robót górniczych. Ogólnie rzecz biorąc, można postawić twierdzenie, że roboty górnicze są oazy czasu prowadzone w silnie tektonicznie zruszonym górotworze, co w znacznym stopniu warunkuje stosowanie odpowiednich metryk robót strzelniczych, jak również zabezpieczenie przed nadmiernym opadaniem skał do wyrobisk.

Hydrogeologia

Na badanym terenie występują wody podziemne w utworach czwartorzędowych oraz w utworach podłoża skalnego. Wody czwartorzędowe, występujące w utworach aluwialnych, mają związek hydrauliczny z Dunajcem i tworzą z nim jeden horyzont wodonośny. Żwiry tarasów wyższych są przeważnie zaglinione i w nielicznych przypadkach tworzą lokalnie zawieszane zbiorniki wodne. Niekiedy zbiorniki te posiadają zwierciadło napięte, co świadczy o izolacji utworami gliniastymi wód szczelinowych, nie mających powiązania z poziomem wody Dunajca.

Chemizm wód Dunajca przedstawia się następująco: odczyn pH 7,3 - 8,3, twardość przemijająca 5,3° - 7,3°, twardość ogólna 5,3° - 7,3°, brak agresywnego CO₂, siarczany 16,7 - 65,8 mg/l, chlorki 4,2 - 14,2 mg/l. Powyższe dane świadczą, że jest to woda miękka, niezmineralizowana i nieagresywna w stosunku do betonu. Podobnie wody pobrane z wapieni rogowcowych, radiolarytów oraz warstw globigerynowo-radiolariowych również nie posiadają cechy agresywności w stosunku do betonu. Tylko w jednym przypadku pobrana próba wody z otworu 319 wykazuje słabą agresywność żugującą w stosunku do wolnego wapienia.

Warunki hydrogeologiczne w podłożu skalnym zostały szeroko omówione w "Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej do projektu technicznego..." opracowanej przez "Hydrogeo" Kraków i zilustrowane tam dwoma mapami oraz przekrojami do tych map [1]. Rozpoznanie to zostało wzbogacone nowymi spostrzeżeniami w wyniku badań wykonanych do "Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej do projektu podstawowego..." [2] opracowanej przez Hydrogeo Kraków i problem ten został tam ponownie przeanalizowany, nie wnosząc w zasadzie zmian.

Zmienność warunków geologicznych

Opierając się na przekrojach geologiczno-inżynierskich, opracowanych przez "Hydrogeo" Kraków ("Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu technicznego...") [1] oraz na badaniach OBR-BG "Budokop" [3], przeprowadzoną analizę zmienności warunków geologiczno-inżynierskich dla obydwu sztolni.

Tabela 1

Parametry fizykomechaniczne skał dla potrzeb projektowania obudowy sztolni spustowo-energetycznych w Czerestynie-Niedzicy

Kom- pleks	Rodzaje skał	Wytrzyma- ność na ścis- cie R_g [da N/cm ²]	Wytrzyma- ność na rozryw- cie R_t [da N/cm ²]	Współ- czynnik Protost- tyczny diako- nometrycz- ny μ [t/m ²]	Gęstość właściwa ρ [t/m ³]	Spójność (MPa)	Kąt tar- cia wew- nętrznego (α)	Moduł ści- sliwości $E(01)$ [da N/cm ²]	Moduł ści- sliwości $E(02)$ [da N/cm ²]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Wapienie rogowce	675±1515	brak danych	8±10	2,59±2,77	$\frac{3,7 \pm 9,3}{0,57 \pm 0,93}$	36±44	4550±45800	14325±41850
B	Radiolaryty, wapienie, twarde marg- lice	422±517	"	4±8	2,62±2,67	$\frac{5,6 \pm 8,5}{0,58 \pm 0,85}$	28±31	3625	13910
C	Utwory mar- glisto- flis- sowe, łupki marg- liste i ilaste	498±808	"	1±5	2,1±2,70	$\frac{0,15^x}{0,05^x}$	11±17 ^x	1720±37800 ^x	4480±37450 ^x

^x Frakty tylko na łupkach ilastych ze strefy uskokowej.

Z analizy przekrojów geologiczno-inżynierskich wynika, wynika, że w sztolni lewej wapienie rogowcowe stanowią około 47%, zaś radiolaryty około 20% kompleksu skalnego. Pozostała część to utwory marglisto-fliszowe, stanowiące kompleks skał słabych o małym module ściśliwości.

Natomiast sztolnia prawa przechodzi przez kompleks skalny, składający się w około 55% z wapieni rogowcowych, w 26% z radiolarytów, a w 19% z utworów marglisto-fliszowych.

Parametry fizykomechaniczne

Parametry fizykomechaniczne skał przedstawiono w tabelicy 1. Została ona zestawiona na podstawie wyników badań, zawartych w "Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej..." [1] opracowanej przez "Hydrogeo" Kraków oraz w "Badaniach własności mechanicznych skał podłoża..." opracowanych przez JBW-PAN, Gdańsk 1969 r. [4].

1.2. Obiekty podziemne elektrowni wodnej Czorsztyn-Niedzica

1.2.1. Krótka charakterystyka wyrobisk podziemnych

Schemat podziemnych obiektów elektrowni wodnej Czorsztyn-Niedzica przedstawiono na rys. 3. Łączna długość podstawowych wyrobisk korytarzowych w tym obiekcie wyniesie 510,7 m, o kubaturze około 16.000 m³. Wyrobiska te charakteryzują się bardzo dużymi ostatecznymi powierzchniami przekroju poprzecznego w świetle wyłomu od 46,0 m² do 65,0 m², a w świetle obudowy ostatecznej od 25,0 m² do 38,5 m². Występują tu sztolnie o ciśnieniach wody na obudowę dochodzących do 0,8 MPa (8,0 at).

Oprócz wyrobisk korytarzowych poziomych na uwagę zasługuje wykonanie dwu pionowych komór uderzeń o łącznej kubaturze 2830 m³ i przekroju kołowym w świetle wyłomu 95,0 m², a w świetle obudowy ostatecznej 63,6 m² oraz dwu komór zamknięć o wymiarach w wyłomie każda: długość 19,4 m, szerokość 11,2 m i wysokość 12,0 m oraz w świetle obudowy ostatecznej długość 19,4 m szerokość 7,0 m, wysokość 7,5.

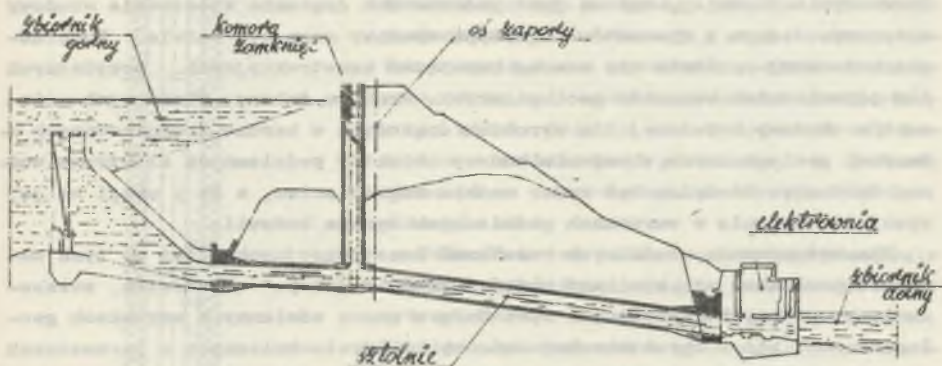
Do najpoważniejszych zadań będących w realizacji obiektów podziemnych elektrowni wodnej Czorsztyn należy zaliczyć wykonanie podziemnych rozwidleń sztolni o maksymalnej szerokości wyrobiska w wyłomie 16,0 m i wysokości 8,7 m.

1.2.2. Warunki pracy podstawowych wyrobisk podziemnych

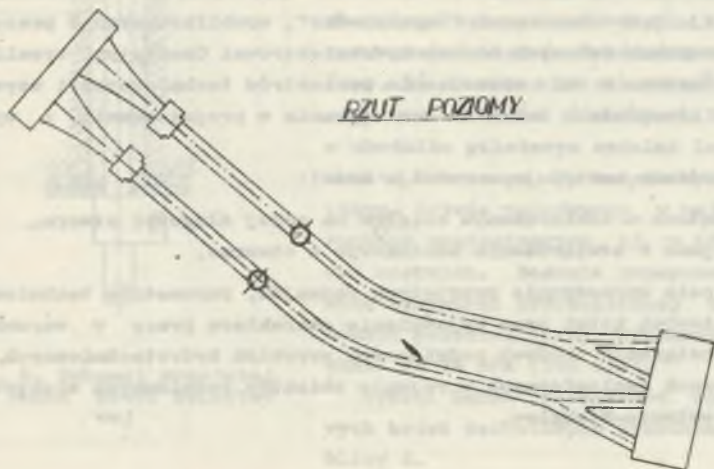
Spośród podziemnych wyrobisk drążonych dla potrzeb budowy elektrowni wodnej Czorsztyn-Niedzica na uwagę zasługują takie wyrobiska, jak: sztolnie ciśnieniowe i komory zamknięć charakteryzujące się bardzo dużymi wymiarami gabarytowymi i szczególnymi warunkami pracy obudowy. Jak wykazały przeprowadzone przez "Hydrogeo" Kraków badania, warunki geologiczne tego rejonu są skrajnie różne i trudne i stąd wynikły problemy związane z do-

borem odpowiedniego rodzaju obudowy dla szczególnych warunków pracy wyrobisk hydroelektrowni. W szczególnie trudnych warunkach pracować ma obudowa sztolni ciśnieniowych, na którą oddziaływać będą ciśnienie zewnętrzne górotworu, ciśnienie zewnętrzne wody i ciśnienie wewnętrzne wody występujące podczas pracy hydroelektrowni. Zatem nie bez znaczenia jest dobór właściwej obudowy, szczególnie wstępnej, dla tego charakteru pracy wyrobisk. W wyrobiskach tych znajduje zastosowanie obudowa wstępna i ostateczna. Szczególne znaczenie ma tutaj utrzymanie poprzez obudowę wstępną górotworu w stanie naturalnym i niedopuszczenie do odprężenia. Odprężenie górotworu prowadzi w efekcie do likwidacji odporu biernego przy pracy sztolni pod ciśnieniem.

PRZEKRÓJ PIONOWY



RZUT POZIOMY



Rys. 3. Schemat wyrobisk hydrotechnicznych elektrowni wodnej Czorsztyn-Niedzica

W oparciu o niektóre obliczenia wykonane przez OBR-BG "Budokop" Mysłowice w projekcie koncepcyjnym górniczych wyrobisk hydrotechnicznych przy zaporze w Czorsztynie-Niedzicy można przyjąć, że przy właściwym wykonaniu obudowy wstępnej górotwór przejmie około 40% obciążeń z różnicy pomiędzy ciśnieniem wewnętrznym wody na obudowę ostateczną sztolni a ciśnieniem zewnętrznym wody na tę obudowę.

2. Badania elementów obudowy wstępnej

2.1. Badania sprawdzające nad doborem optymalnego rozwiązania konstrukcyjnego kotwi

Analiza wykazała, że w trudnych warunkach geologicznych, jakimi charakteryzują się utwory w rejonie obiektów podziemnych elektrowni wodnej w Czorsztynie-Niedzicy, cenne jest podczas ich drążenia stosowanie obudowy wstępnej. Jednym z elementów tego typu obudowy mogą być kotwie. W obudowie kotwiowej wyróżnia się szereg rozwiązań konstrukcyjnych przydatnych dla odpowiednich warunków geologicznych. Problem doboru właściwych elementów obudowy kotwiowej dla wyrobisk drążonych w bardzo zróżnicowanych utworach geologicznych w rejonie budowy obiektów podziemnych elektrowni wodnej Czorsztyn-Niedzica był nader ważnym zagadnieniem, a to z uwagi na jej specjalne zadanie w warunkach podziemnych tychże budowli.

Dla wytypowania właściwych rozwiązań konstrukcyjnych kotwi do tych warunków posłużono się wynikami badań "OBR-BG Budokopu" Mysłowice, zwłaszcza przemysłowych, uzyskanymi wprawdzie w nieco odmiennych warunkach geologicznych, ale w wyrobiskach podziemnych hydrotechnicznych o parametrach górniczo-technicznych zbliżonych do wyrobisk podziemnych elektrowni w Czorsztynie, tj. hydroelektrowni "Porąbka-Zar", opublikowanych w pracy [5]

Zatem w warunkach dołowych budowy hydroelektrowni Czorsztyn zrealizowano badania testowe w celu sprawdzenia parametrów technicznych i uzyskania szybkiego przejścia z badań do zastosowania w projektowaniu i wykonawstwie.

Badaniom poddano następujące rodzaje kotwi:

- kotwie żelbetowe o utwierdzeniu ciągłym na całej długości otworu,
- kotwie wklejane o utwierdzeniu odcinkowym w otworze.

Miały one na celu sprawdzenie przyjętych rodzajów, parametrów techniczno-wytrzymałościowych kotwi oraz wyjaśnienie charakteru pracy w warunkach statycznego obciążenia obudowy podziemnych wyrobisk hydrotechnicznych, drążonych w utworach geologicznych w rejonie obiektów podziemnych elektrowni wodnej w Czorsztynie-Niedzicy.

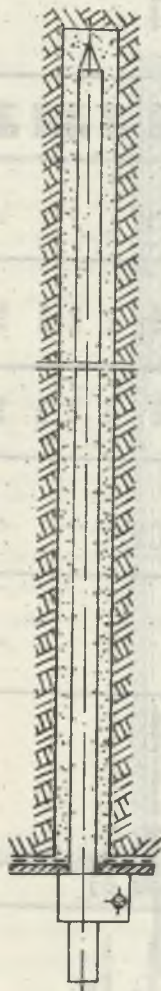
2.1.1. Badania parametrów wytrzymałościowych kotwi żelbetowych

Doboru elementów konstrukcyjnych kotwi żelbetowych, receptur zapraw kotwionych oraz sposobu ich zakładania dokonano na podstawie wyników uprzednio zrealizowanych badań przez "Budokop" Mysłowice [5].

Podstawowym kryterium wyboru konstrukcji cięgiła kotwi była założona nośność (obciążenie na rozciąganie) minimum 78,5 kN (8000 kG), jako graniczna wielkość obciążenia cięgiła (przy odkształceniu sprężystym). Warunek ten spełniają pręty o średnicach nominalnych ϕ 16 mm i większych ze stali 34GS oraz ϕ 18 mm i większych ze stali 18G2. Na skutek umocowania (zabetonowania) cięgiła na całej długości otworu kotwionego nie przewidziano nadawania naciągu wstępnego kotwiom żelbetowym proponowanych konstrukcji, stąd mocowanie siatek opięcia ścian wyrobiska spełnia funkcję pomocniczą, nie wpływając na charakterystykę pracy kotwi. Opięciu nie przypisuje się znaczenia w stabilizacji górotworu, a jedynie stanowi ono ochronę przed opadnięciem odłamków skał.

Nośność kotwi żelbetowych charakteryzuje się wytrzymałością cięgiła kotwionego oraz wytrzymałością zamocowania kotwi w otworze. Zrealizowano badania w kierunku doboru zamocowania odpowiadającego względnie przewyższającego wytrzymałość cięgiła kotwi. Badania wytrzymałościowe (nośności) kotwi żelbetowych (rys. 4) wykonano na zabudowanych przez Przedsiębiorstwo Robót Górniczych Bytom kotwiach w chodniku pilotowym sztolni lewej hydroelektrowni Czorsztyn. Do badań wybrano w sposób losowy kotwie zabudowane w najgorszych warunkach geologicznych, tj. w iłolupkach bardzo miękkich. Badania przeprowadzono za pomocą wrywarki hydraulicznej typu GIG produkcji polskiej. Próby wykonano na zakresie skali do 14 MPa (140 atn).

Wyniki badań parametrów wytrzymałościowych kotwi żelbetowych przedstawiono w tabelicy 2.



Rys. 4. Schemat przyjątej do badań kotwi żelbetowej

Tabela 2

Wyniki badań parametrów wytrzymałościowych kotwi spoiwowych w hydroelektrowni w miejscowości-Niedźwiży

Lp.	Lokalizacja stanowiska badawczego	Kodexki skaly w miejscu zabudowy kotwi	Rodzaj i średnica ciępek kotwi (mm)	Rodzaj utwardzenia dla otworu	Długość otworu kotwiowego (cm)	Długość utwardzenia, odległość ciępek od otworu (cm)	Siła utwardzenia po czasie- t_{ut} (kg)		O b e s e r w a c j e
							12 godz.	6 dni	
1	Chodnik pilotowy lewy, oście lewy	ślizgki bardzo miękkie, swierdny wilgotne w otworu	Spal 3408 g 22	Zadunek POK	170	30	24,8 2300	-	Kotew plynie.
2	"	"	"	"	170	30	32,4 3300	-	"
3	"	luki piaszczyste w dnio otworu	"	"	170	30	26,1 2800	-	Kotew plynie. Otwór odsiarczony z trudna.
4	Chodnik pilotowy lewy, oście przedku	ślizgki bardzo miękkie, swierdny w otworu wilgotne	"	"	170	30	32,4 3300	-	Kotew plynie.
5	Chodnik pilotowy lewy, oście przedku	luki piaszczyste w dnio otworu	"	"	170	30	29,3 2700	-	Kotew plynie.
6	Chodnik pilotowy lewy, oście oście	ślizgki piaszczyste w dnio otworu	"	"	170	30	26,1 2800	-	Kotew plynie.
7	Chodnik pilotowy lewy, lewy oście	ślizgki bardzo miękkie	"	zaprawa cementowo-piaszczysta	210	210	-	104,2 10700	Kotew wytrzymałe obciążenie. Zarwany łącznik wyrzynarki.
8	Chodnik pilotowy lewy, lewy oście	ślizgki bardzo miękkie	"	"	210	210	-	95,1 9500	Kotew wytrzymałe obciążenie.
9	Chodnik pilotowy lewy, oście prawy	ślizgki bardzo miękkie	"	"	210	210	-	95,1 9500	"
10	"	"	"	"	210	210	-	95,1 9500	"
11	"	"	"	"	210	210	-	95,1 9500	"
12	"	"	"	"	210	210	-	95,1 9500	"

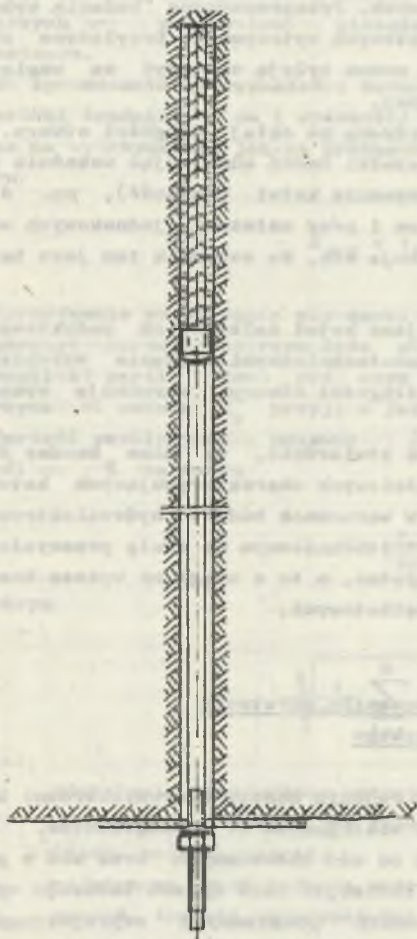
2.1.2. Badania parametrów wytrzymałościowych kotwi wklejanych

Jedną z alternatyw badanych elementów obudowy wstępnej dla warunków geologicznych utworów w rejonie hydroelektrowni w Czorsztynie-Niedzicy były testowe badania w serii próbnej "in situ" kotwi wklejanych utwierdzanych odcinkowo w otworze na bazie żywio polimal 109 (rys. 5).

Doboru elementów konstrukcyjnych kotwi wklejanych oraz sposobu ich osadzania w otworach dokonano na podstawie uprzednio zrealizowanych prac przez OBR-BG "Budokop" Mysłowice [5]. Ładunki kotwiowe z substancją klejącą dobrano w oparciu o opracowane w OBR-BG "Budokop" kotwie wklejane typu POK. Elementy konstrukcyjne tych kotwi charakteryzowały się następującymi parametrami technicznymi:

- średnica nominalna cięgła 22 mm, stal żebrowana 34GS,
- długość utwierdzenia cięgła w otworze kotwiowym 0,3 m,
- długość otworu kotwiowego 1,7 m

Badania wytrzymałościowe (nośności) kotwi wklejanych wykonano w chodniku pilotowym sztolni lewej hydroelektrowni Czorsztyn. Lokalizację stanowisk badawczych wybrano w sposób losowy w najgorszych warunkach geologicznych, tj. w łupkach bardzo miękkich zawilgoconych i w łupkach piaszczystych. Badania sił utwierdzenia kotwi w otworze zrealizowano po czasie 12 godzin wiązania za pomocą wyrywarki hydraulicznej typu GIG o zakresie skali 14 MPa (140 atn)



Rys. 5. Schemat przyjętej do badań kotwi wklejanej

Wyniki badań parametrów wytrzymałościowych kotwi wklejanych przedstawiono w tabelicy 2.

2.1.3. Ocena przydatności kotwi

Przeprowadzone badania testowe wykazały, że spośród rozważanych kotwi w różnych warunkach geologiczno-górnicznych drążenia wyrobisk w utworach w rejonie budowy hydroelektrowni Czorzęstyn w Niedzicy praktyczne zastosowanie w podziemnym budownictwie hydrotechnicznym znaleźć mogą:

- kotwie żelbetowe utwierdzone na całej długości otworu nawet w ilościach bardzo miękkich na zaprawach cementowych. Przeprowadzone badania wykazały, że każda z badanych kotwi żelbetowych wytrzymała przyłożone obciążenie 96 kN (9800 kG), do jakiego można byłoby obciążyć ze względu na zakres pracy wyrywarki hydraulicznej,
- kotwie klejane typu POK, lecz utwierdzone na całej długości otworu. W oparciu o przedstawione w tablicy 2 wyniki badań analizując wskaźnik porównawczy, tj. jednostkową siłę zamocowania kotwi (nośność), np. dla długości zamocowania w otworze 30,0 cm i przy założeniu jednakowych warunków geologiczno-górnicznych, wnioskuje się, że wskaźnik ten jest bardzo wysoki.

Zastosowanie kotwi klejanych w miejsce kotwi żelbetowych podyktowane może być jedynie względami organizacyjno-technicznymi drążenia wyrobisk. Natomiast utwierdzenie kotwi na całej długości otworu warunkuje wymogi pracy budowli hydrotechnicznych.

W wyniku wstępnych badań kotwi można stwierdzić, że mimo bardzo dobrych parametrów techniczno-wytrzymałościowych charakteryzujących kotwie klejane, ich powszechne zastosowanie w warunkach budowy hydroelektrowni Czorzęstyn w podziemnym budownictwie hydrotechnicznym na skalę przemysłową wydaje się być ekonomicznie mniej korzystne, a to z uwagi na wyższe koszty produkcji w porównaniu z kotwiami żelbetowymi.

4.2. Badania sprawdzające nad zabezpieczeniem górotworu przez zastosowanie betonu natryskowego

W warunkach utworów geologicznych w rejonie budowy hydroelektrowni konieczne jest zabezpieczenie skał przed wietrzeniem i zawilgoceniem. Na skutek napływu wilgotności pochodzącej od wód budowlanych oraz wód z powierzchni konieczne jest zastosowanie izolacji. Jako sposób izolacji oraz jako element obudowy wstępnej wyrobisk podziemnych zaprojektowano beton natryskowy klasy B-150 [5].

W celu sprawdzenia parametrów wytrzymałościowych betonu natryskowego przeprowadzono w Laboratorium Polowym "Energopolu-2" na budowie w Czorzęstynie testowe badania przemysłowe, których wyniki omówiono poniżej.

2.2.1. Badania parametrów wytrzymałościowych betonu natryskowego

Badania zrealizowano na bazie dostępnych urządzeń i materiałów wsadowych podczas wykonywania na skłębę przemysłową tychże betonów w sztolniach.

Zastosowane betony natryskowe o projektowanej klasie B-150 zgodnie z normami EN-77/0434-06 i EN-78/0434-07 poddano badaniom niszczącym na ściskanie, zgodnie z normą PN-75/B-06250. W tabelicy 3 przedstawiono wyniki testowych badań przemysłowych niszczących wytrzymałości na ściskanie tychże betonów.

Do sprawdzenia wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie stosowano próbki średnicy 16 cm i wysokości 16 cm. Wyniki badań próbek przeliczono na wytrzymałość jak na próbkach sześciennych o krawędzi 15 cm wg wzoru:

$$R_{\phi 15} = 1,15 R_{\phi 16}$$

Sprawdzenie wytrzymałości betonu natryskowego na ściskanie polegało na ocenie poziomu wyrażonego rozrzutem wytrzymałości umownej, oddzielnie dla każdej poszczególnej partii betonu, przy czym zgodnie z pktm 3.2.3.1 PN-75/B-06250 wytrzymałość umowną R_b^u przyjęto jako równą wytrzymałości średniej R .

Wartość współczynnika zmienności (ν) wytrzymałości na ściskanie betonu określono wg wzoru:

$$\nu = \frac{s}{R_{sr}} \cdot 100$$

w którym:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_i - R_{sr})^2}$$

gdzie:

- s - odchylenie standardowe wytrzymałości na ściskanie w serii składającej się z n próbek [da N/cm²],
- n - liczb. próbek w serii,
- R_i - pojedynczy wynik badania wytrzymałości na ściskanie [da N/cm²],
- R_{sr} - wartość średnia wytrzymałości na ściskanie określona przez zbada-
nie serii składającej się z n próbek [da N/cm²],
- ν - współczynnik zmienności wytrzymałości na ściskanie w serii składającej się z n próbek.

2.2.2. Ocena przydatności betonu natryskowego

W oparciu o przeprowadzone testowe badania nad zastosowaniem betonu natryskowego jako elementu obudowy wstępnej wyrobisk hydrotechnicznych, wykonywanych w skrajnie trudnych warunkach geologicznych, nasuwają się następujące spostrzeżenia i wnioski:

Tabela 3

Wyniki testowych przemyślorych badań ni-somacych wytrzymałości na ściskanie
betonu natryskowego

Lp.	Data betono- wania	Data badania	Nr pró- tokolu	Loka i sacja obrotu	Nr ozna- czenia serii	Charakterysty- ka geomet- ryczna		Przedmioty β ₁₀ /16 [kg/cm ²]	Średnia serii R _{0,15} [da N/cm ²]	S _{0,15} [da N/cm ²]	Współczynnik zmniejszający ψ _{0,15}
						średn. β (cm)	wys. h (cm)				
1	2										
1	6.07.78	10.11.78	1/78	45 mb stolni prawe	I	16	6	304 289	284	327	26,35
2	18.08.78	10.11.78	3/78	70 mb stolni lewej	II	16	16	266 232 276	261	300	30,12
3	10.09.78	10.11.78	4/78	75 mb stolni lewej	XII	16	16	109 222 256	270	310	47,75
4	29.09.78	10.12.78	7/78	80 mb stolni lewej	IV	16	16	198 304 304	269	309	70,38
5	3.10.78	10.11.78	8/78	100 mb stolni lewej	V	16	16	229 222 265	216	248	68,79
6	3.11.78	1.12.78	10/78	105 mb stolni lewej	VI	16	16	247 216	220	257	28,90
7	10.11.78	16.3.79	12/78	115 mb stolni lewej	VII	16	16	183 204 204	210	241	5
8	16.2.79	16.3.79	14/79	150 mb stolni lewej	VIII	16	16	214 201 156	210	241	60,48
9	10.9.78	10.11.78	5/78	40 mb stolni prawe	IX	16	16	274 244 274	264	304	10,92
10	20.9.78	10.11.78	6/78	45 mb stolni prawe	X	16	16	233 238	262	301	37,32
11	15.10.78	13.11.78	9/78	50 mb stolni prawe	XI	16	16	212 274 103	223	256	50,33
12	3.11.78	3.12.78	11/78	56 mb stolni prawe	XII	16	16	301 287 184	271	312	31,62
13	16.11.78	16.3.79	13/78	65 mb stolni prawe	XII	16	16		223	296	52,84

- przeprowadzone badania wykazały, że wykonany beton natryskowy może znaleźć praktyczne zastosowanie jako element obudowy wstępnej w skrajnie trudnych warunkach geologicznych w podziemnych obiektach hydroelektrowni Czorsztyn,
- wyniki badań wykazały, że wykonany beton natryskowy w sztolniach charakteryzuje się w każdym badanym przypadku średnią wytrzymałością na ściskanie $\bar{R}_{\phi 15} > 200$ da N/cm², a zatem odpowiada klasie betonu B150,
- spośród trzynastu badanych serii jedynie w trzech współczynnik zmienności wytrzymałości na ściskanie γ jest powyżej 20%, co wg punktu 5.4 normy PN-75/B-06250 poziom wytwarzania mieszanki betonowej w tych seriach należałoby ocenić jako niedostateczny, jednak z uwagi na to, że te trzy serie charakteryzują się średnią wytrzymałością na ściskanie $\bar{R}_{\phi 15}$ od 241 da N/cm² do 309 da N/cm², tj. większą od 200 da N/cm², zgodnie z punktem 3.2.2 ww. normy odpowiada zaprojektowanej klasie betonu B150,
- uzyskana wytrzymałość na ściskanie betonu natryskowego $R_{\phi 15} > 200$ da N/cm² pozwala na uwzględnienie go w obliczeniach obudowy ostatecznej.

Uzyskane wyniki badań testowych optymalizujących poszczególne elementy obudowy wstępnej, tj. kotwie i beton natryskowy, sprawdzono przy łącznym zastosowaniu w postaci obudowy wstępnej. Wyniki przedmiotowych badań przedstawiono w referacie pt. "Badania kontrolno-pomiarowe górotworu i obudowy wstępnej podziemnych wyrobisk elektrowni wodnej Czorsztyn-Niedzica" [6].

LITERATURA

- [1] Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu technicznego zapory ziemnej na rzece Dunajcu w Czorsztynie-Niedzicy. Hydrogeo, Kraków.
- [2] Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu podstawowego zapory ziemnej na rzece Dunajec w Czorsztynie-Niedzicy. Hydrogeo, Kraków.
- [3] Badanie górotworu i obudowy podziemnych wyrobisk hydrotechnicznych elektrowni wodnej w Czorsztynie-Niedzicy. Praca OBR-BG "BUDOKOP", Mysłowice 1981.
- [4] Badania własności mechanicznych skał podłoża zapory ziemnej na rzece Dunajcu w Czorsztynie-Niedzicy. IBW-PAN, Gdańsk 1969.
- [5] Mazur J.: Badania nad doborem właściwej obudowy wstępnej dla podziemnego budownictwa hydrotechnicznego w warunkach fliszu karpackiego Praca doktorska, Kraków 1974.
- [6] Mazur J., Rułka K.: Badania kontrolno-pomiarowe górotworu i obudowy wstępnej podziemnych wyrobisk hydrotechnicznych elektrowni wodnej w Czorsztynie-Niedzicy. Referat na Konf. N-T 1983 r. Górnictwo z. 128.

Recenzent: Doc. dr inż. Władysław KONOPKO

Wpłynęło do redakcji w maju 1983 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КОРПУСА
 ДЛЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ЧОРШТЫН-НИЕДЗИЦА

Р е з ю м е

Гидроэнергетические тоннели гидроэлектростанции в Чорштыне-Ниедзице характеризуются значительными поперечными сечениями и кубическими размерами дислоцированы в очень трудных геологических условиях. Подбор соответствующего надблюдного корпуса для этих выработок определенными исследованиями "in situ". В работе представлены некоторые фрагменты проведенных исследований при подборе элементов предварительного корпуса. В частности касаются они результатов исследований подбора анкеров и напыленного бетона.

INVESTIGATIONS OF THE ELEMENTS OF THE INTRODUCTORY LINING
 FOR THE HYDROENERGETIC TUNNEL OF THE HYDRO-ELECTRIC
 POWER STATION CZORSZTYN-NIEDZICA

S u m m a r y

Hydroenergetic tunnel of the power station in Czorsztyn Niedzica, characterised by large cross sections and cubage have been located in very difficult geological conditions. A choice of a properly stable lining for these headings have been preceded by in situ experiments. In the paper some excerpts of the investigations ofr a choice of elements of the introductory lining have been presented. In particular the results of the investigations for the choice of bolting and shot crete are given.