

Józef MAZUR

Kazimierz RUŁKA

OBR-BG "BUDOKOP" - Mysłowice

BADANIA KONTROLNO-POMIAROWE GÓROTWORU I OBUDOWY WSTĘPNEJ
PODZIEMNYCH WYROBISK HYDROTECHNICZNYCH
ELEKTROWNI WODNEJ CZORSZTYN-NIEDZICA

Część II. BADANIA PRZEMIESZCZEN GÓROTWORU I OBUDOWY WSTĘPNEJ
WYROBISK HYDROTECHNICZNYCH PRZY ZASTOSOWANIU METODY
FOTOGRAMETRII JEDNOOBRAZOWEJ

Streszczenie. W artykule omówiono metodykę i wyniki badań przemieszczeń górotworu i obudowy wstępnej wyrobisk w hydroelektrowni Czorsztyn-Niedzica, przy zastosowaniu metody fotogrametrii jednoobrazowej.

1. Omówienie metodyki przeprowadzonych badań oraz techniki pomiarowej

Zgodnie z założeniami programu [1] ustalono lokalizację trzech stanowisk pomiarowych w wyrobisku z obudową kotwiono-betonową wykonaną metodą natrysku, a pozostałych pięciu w wyrobisku z obudową łukową, nad którym zalega stopniowo malejąca grubość nadkładu. Stanowiska te zlokalizowano w bardzo zróżnicowanych kompleksach skalnych. Założona dokładność pomiaru wynosiła ± 1 mm. Celem pomiarów było określenie przemieszczeń górotworu w wyrobiskach z obudową powłokową kotwiono-betonową i obudową łukową. Pomiarzy wykonało wg założonego programu Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego w Katowicach na zlecenie Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Budownictwa Górniczego "Budokop" Mysłowice.

Na stanowiskach pomiarowych zlokalizowanych w wyrobisku z obudową kotwiono-betonową punkty pomiarowe stanowiły wystające z górotworu końcówki kotew stanowiących obudowę wstępną wyrobiska. Na stanowiskach pomiarowych zlokalizowanych w wyrobisku z obudową łukową punkty pomiarowe stanowiły wystające z górotworu specjalnie zabudowane między łukami obudowy końcówki kotew (raspery).

Pomiary wykonano metodą fotogrametrii jednoobrazowej z pomiarem paralaks czasowych na podstawie zdjęć wykonanych ze stanowisk zapewniających stałość orientacji zewnętrznej (bez ustawiania kamery na tę samą wysokość w kolejnych cyklach obserwacyjnych). Ekspozycję wystających z góro-

tworu końcówek kotwi (reperów) wykonano metodą obrysową za pomocą lampy górniczej. Przedmiotowe prace pomiarowe wykonano w dwu etapach:

- prace pomiarowe dołowe zrealizowano w sztolni hydroelektrowni Czorsztyn
- opracowanie kameralne wyników pomiarów.

Szczegółowy sposób wykonania prac pomiarowych dołowych oraz opracowania kameralnego przedstawiono w opracowaniu [3].

2. Wyniki pomiarów

W okresie prowadzonych badań zainstalowano 9 stanowisk [rys. 1 i 2, cz. I] pomiarowych zlokalizowanych w sztolni lewej i prawej w następujących przekrojach pomiarowych:

- Przekrój III-III zlokalizowano w kompleksach skalnych wapieni rogowcowych łupkowych, spękanych kostkowo, przełamanych 1-2 mm wkładkami łupków czarnych lub iłów w chodniku pilotowym sztolni lewej z obudową powłokową kotwiono-natryskową, który następnie poszerzono do projektowanej szerokości górnej warstwy sztolni. W narożu stropu i ociosu stwierdzono silne sączenie wody.
Przekrój pomiarowy IV-IV zlokalizowano w kompleksach skalnych marglisto-łupkowych, w chodniku pilotowym sztolni lewej z obudową powłokową kotwiono-natryskową, który następnie poszerzono do projektowanej szerokości górnej warstwy sztolni.
- Przekrój pomiarowy VI-VI zrealizowano w kompleksach skalnych marglisto-łupkowych przełamanych wapieniami silnie zbrekcjonowanymi w chodniku pilotowym sztolni lewej z obudową łukową.
- Przekrój pomiarowy VII-VII zrealizowano w kompleksach skalnych marglisto-łupkowych z wkładkami wapieni piaszczystych twardych w chodniku pilotowym sztolni lewej z obudową łukową.
- Przekrój pomiarowy VIII-VIII zrealizowano w kompleksach skalnych łupków i margli przełamanych cienkimi warstwami wapieni piaszczystych szarych i twardych, w chodniku pilotowym sztolni lewej z obudową łukową.
Przekrój pomiarowy IX-IX zrealizowano w kompleksach skalnych łupków, wapieni rogowcowych, radiolarytów spękanych i brekcji wapienno-kalcytowej, w chodniku pilotowym w sztolni lewej z obudową łukową.
- Przekrój X-X zrealizowano w kompleksach skalnych radiolarytów zielonych i brekcji radiolarytowo-kalcytowej silnie zburzonej, w chodniku pilotowym w sztolni lewej z obudową łukową.
- Przekrój XIII-XIII zrealizowano w kompleksach skalnych marglisto-łupkowych, w chodniku pilotowym sztolni prawej z obudową powłokową kotwiono-natryskową, który następnie poszerzono do projektowanej szerokości górnej warstwy sztolni.

- Przekrój XIV-XIV zrealizowano na kontakcie kompleksów skalnych marglisto-żupkowych z kompleksami wapieni rogowcowymi, w chodniku pilotowym sztolni prawej, który następnie poszerzono do projektowanej szerokości.

W okresie badań uzyskano 135 odczytów pomiarowych w przekrojach od III-III do XIII-XIII. W kilku przypadkach nie dokonano planowanych pomiarów z powodu braku dostępu do przodków na skutek zalania wodą lub innych trudności techniczno-organizacyjnych. Z przekroju XIV-XIV nie uzyskano wyników pomiarów z powodu zniszczenia tegoż stanowiska przez roboty strzelowe.

Wyniki pomiarów opracowano wg programu FOT-3 obejmującego obliczenie przemieszczeń względnych punktów obserwacyjnych w odniesieniu do jednego z punktów przekroju przyjętego za punkt odniesienia w płaskim układzie współrzędnych X, Z (przy stałej orientacji w przestrzeni tego układu wychodzącego z punktu odniesienia). Szczegółowe wyniki pomiarów przedstawiono w opracowaniu [2].

Na podstawie uzyskanych doświadczeń należy stwierdzić, że przyjęta metoda pomiarów przemieszczeń górotworu i obudowy wstępnej i wyrobisk podziemnych hydroelektrowni Czorsztyn spełniła wymagania stawiane przez program. Zastosowana metoda w warunkach dołowych budowy podziemnych obiektów pozwoliła w sposób pewny, dokładny i szybki (bez zahamowań organizacyjno-technicznych cyklu budowy) zrealizować prace pomiarowe dołowe.

3. Ocena wyników badań przemieszczenia górotworu i obudowy wstępnej

Składowe przemieszczenia punktów E_{x_1} ; E_{z_1} obliczono najpierw w układzie względnym punktu odniesienia S, po osi X i Z w przedziale różnicy czasu pomiędzy kolejnym cyklem a cyklem wyjściowym, po czym składowe te przeliczono na składowe przemieszczeń zredukowanych.

Obliczenia składowych przemieszczeń zredukowanych wykonano do punktu odniesienia na ociosie właściwego dla danego przekroju pomiarowego, z wyjątkiem przekrojów pomiarowych III-III i IV-IV. Dla przekrojów pomiarowych III-III i IV-IV składowe przemieszczeń zredukowanych obliczono w układach względnych zaczepionych na punktach stropowych S wspólnych dla obu zdjęć, a to z uwagi na to, że wyrobisko górnicze na tym odcinku wykonywane było w dwu fazach (poszerzenie). W takich układach większość punktów na ociosach wykazuje podnoszenie spągu względem stropu przyjętego za stały. Celowe więc było zredukowanie składowych przemieszczeń na jeden z punktów A ociosu w danym przekroju pomiarowym.

Ponadto dla przekrojów pomiarowych opracowanych z jednego stanowiska wyniki z niektórych punktów pomiarowych mogły być błędne ze względu na naruszenie mechaniczne punktu czy niedokładną identyfikację na zdjęciu. Składowe przemieszczeń zredukowano wg wzorów:

$$E'_{x1} = E_{x1} - E_{xA},$$

$$E'_{z1} = E_{z1} - E_{zA}.$$

gdzie:

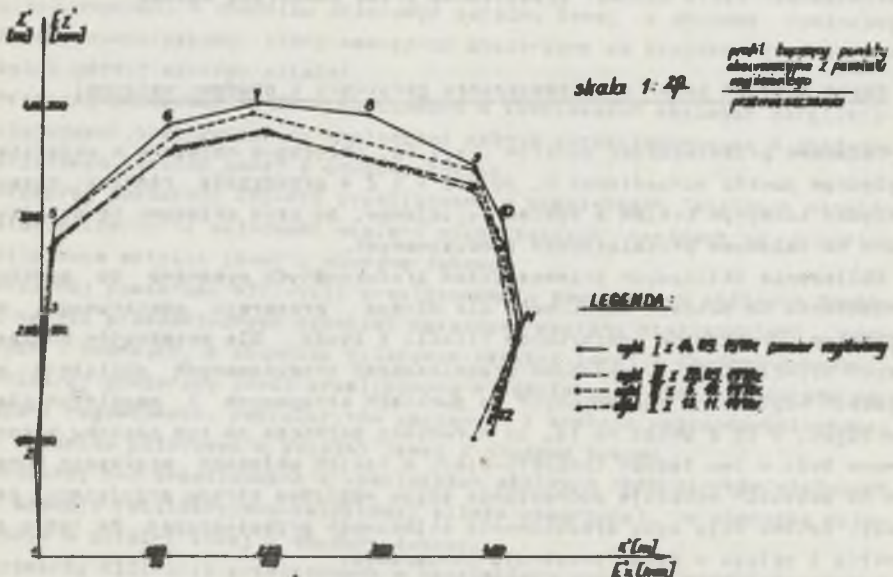
1, A - numery punktów;

E_{x1} , E_{z1} - obliczone na maszynie składowe przemieszczenia punktu "1" względem punktu "S" w okresie od pomiaru wyjściowego do aktualnego;

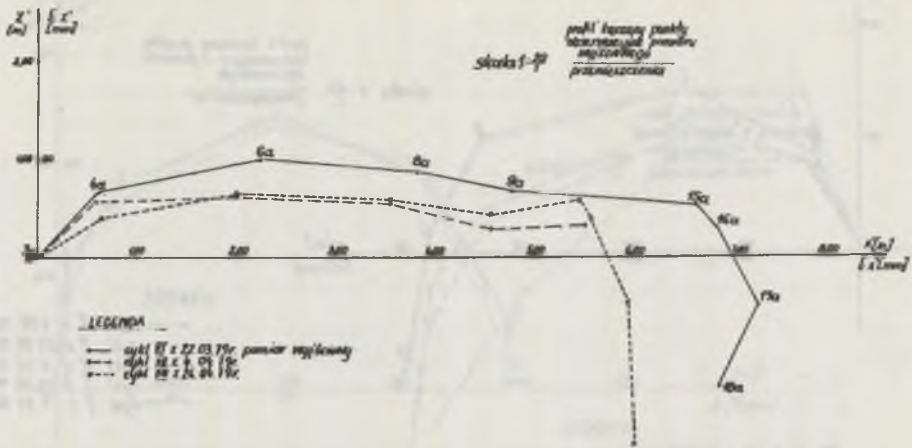
E_{xA} , E_{zA} - obliczone na maszynie składowe przemieszczenia punktu "A" (na ociosie) względem punktu "S" (strop lub naruszony inny punkt ociosu);

E'_{x1} , E'_{z1} - zredukowane składowe przemieszczenia punktu "1" względem punktu "A" na ociosie.

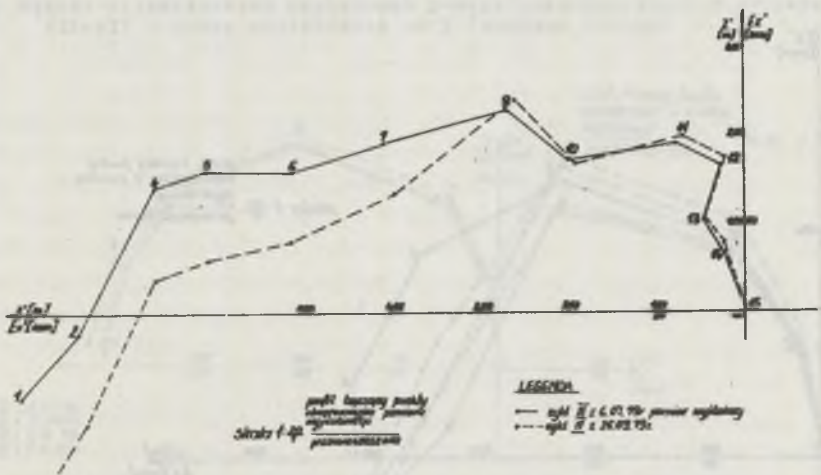
Dla punktów wyznaczonych z dwu stanowisk niezależnie uzyskano po dwie pary składowych i obliczono średnie. Analiza dokładności dwu par spostrzeżeń wykazuje, że błąd składowych jest rzędu 3 mm. Wyniki obliczeń przedstawiono w zestawieniach tabelarycznych pracy [2], a przykładowe na wykresach (rys. 1 do 8).



Rys. 1. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju III-III - punkt odniesienia nr 1 (obudowa powłokowa)

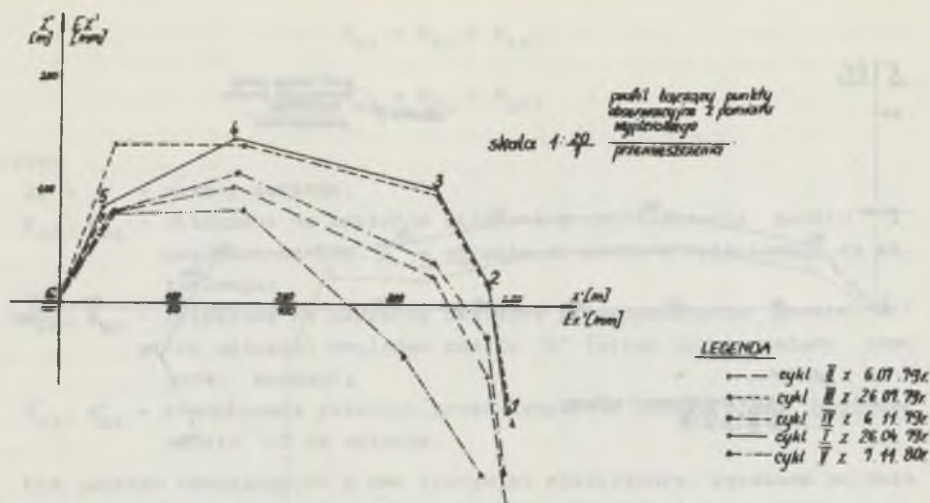


Rys. 2. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju III-III - punkt odniesienia nr 3a (obudowa powłokowa)

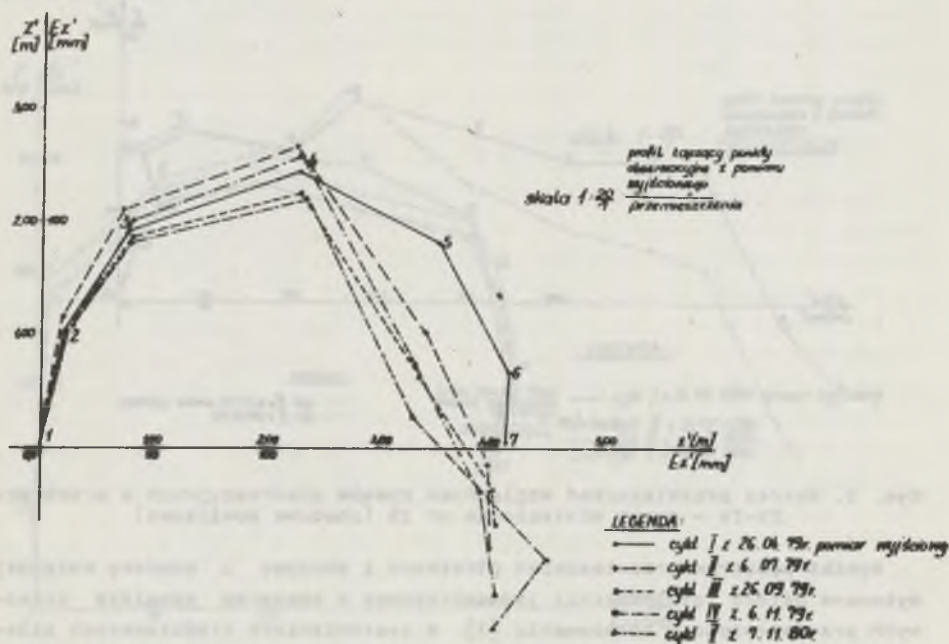


Rys. 3. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju IV-IV - punkt odniesienia nr 15 (obudowa powłokowa)

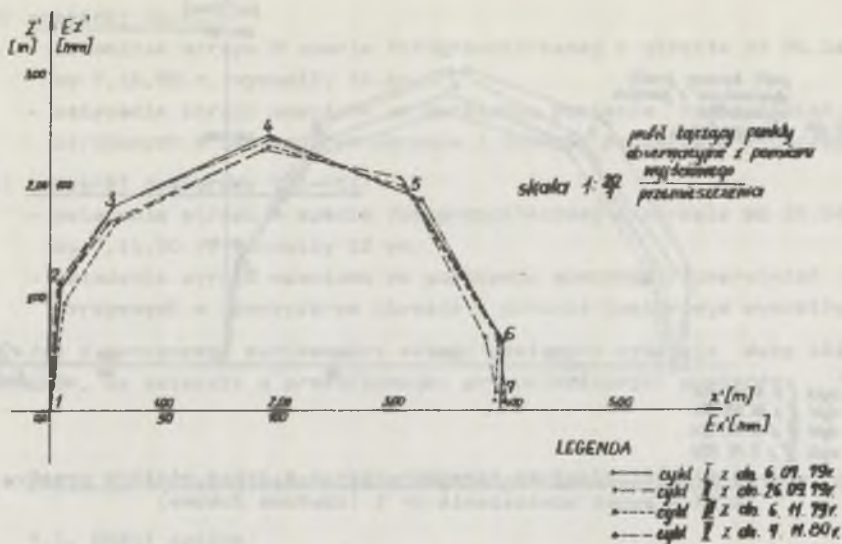
Wyniki pomiarów przemieszczeń górotworu i obudowy i obudowy wstępnej wykonane metodą fotogrametrii jednoobrazowej z pomiarem paralaksy czasowych przedstawiono w opracowaniu [3], w zestawieniach zredukowanych składowych przemieszczeń E'_{x1} ; E'_{z1} (przekroje III-III do X-X) oraz na odpowiednich wykresach potwierdzają również poczynione uprzednio spostrzeżenia. Analizując porównywalne przekroje pomiarowe III-III i IV-IV wynika, że zaobserwowane wartości wzrostu zredukowanych składowych przemieszczeń średnich górotworu i obudowy wstępnej kotłowo-betonowej osiągają swe naj-



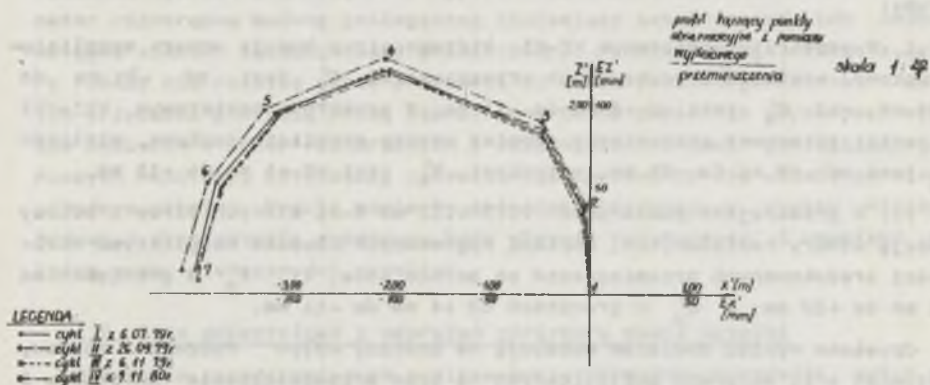
Rys. 4. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju VI-VI - punkt odniesienia nr 6 (obudowa łukowa)



Rys. 5. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju VI-VI - punkt odniesienia nr 1 (obudowa łukowa)

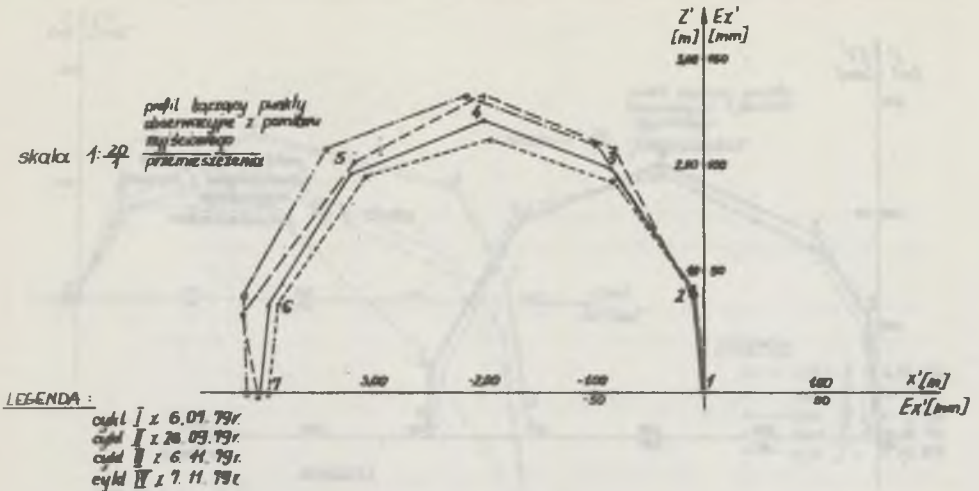


Rys. 6. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju VII-VII - punkt odniesienia nr 1 (obudowa łukowa)



Rys. 7. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju VIII-VIII - punkt odniesienia nr 1 (obudowa łukowa)

większe wielkości w partii stropowej. I tak w przekroju III-III w partii stropowej, którą budują utwory wapieni rogowcowych, wielkość zredukowanych przemieszczeń E'_z jest od -12 mm do -18 mm, zaś E'_x jest -12 mm. W przekroju pomiarowym IV-IV w partii stropowej, którą budują utwory marglisto-żupkowe, wielkość zredukowanych przemieszczeń E'_z od -5 mm do -52 mm, natomiast E'_x jest od ± 0 mm do $+6$ mm.



Rys. 8. Wykres przemieszczeń względnych znaków obserwacyjnych w przekroju IX-IX - punkt odniesienia nr 1 (obudowa łukowa)

Wyniki zaobserwowanych w przekrojach od VI-VI do X-X wartości wzrostu zredukowanych składowych przemieszczeń średnich górotworu otaczającego bezpośrednio wyrobisko z obudową podatną łukową można podzielić na dwie grupy:

I. W przekroju pomiarowym VI-VI, którego strop budują utwory marglisto-łupkowe, wielkość zredukowanych przemieszczeń E'_z jest od -31 mm do -84 mm, zaś E'_x jest od +4 mm do -13 mm. W przekroju pomiarowym VII-VII w partii stropowej stanowiącej również utwory marglisto-łupkowe, wielkość E'_z jest od -5 mm do -76 mm, natomiast E'_x jest od +1 mm do -11 mm.

II. W przekrojach pomiarowych VIII-VIII do X-X, których strop i ociosy budują utwory radiolarytów, wapieni rogowcowych i łupków marglistych wielkości zredukowanych przemieszczeń są bardzo małe, tj. E'_z w granicach od -2 mm do +10 mm, a E'_x w granicach od +4 mm do -11 mm.

Uzyskane wyniki pomiarów wskazują na znaczny wpływ rodzaju obudowy wstępnej oraz warunków geologicznych na stan przemieszczenia górotworu i obudowy - wpływ ten zarejestrowany został pomiarami fotogrametrycznymi deformacji górotworu i obudowy sztolni hydroelektrowni w Czorzycynie Niedzicy.

Porównanie przemieszczeń stropu pomierzonych za pomocą fotogrametrii z odpowiednimi pomiarami rozwarstwień stropu w stosunku do najgłębiej osadzonych reperów (od 6,0 do 10,0 m) wykazuje:

a) przekrój III-III:

- osiadania stropu w ocenie fotogrametrycznej w okresie od 14.09.78 r. do 26.04.79 r wynosiły 18 mm;
- osiadania stropu ocenione na podstawie pomiarów rozwarstwień warstw stropowych w identycznym okresie i punkcie pomiarowym wynosiły 25 mm

b) przekrój VI-VI:

- osiadania stropu w ocenie fotogrametrycznej w okresie od 26.04.79 r. do 7.11.80 r. wynosiły 31 mm;
- osiadania stropu ocenione na podstawie pomiarów rozwarstwień warstw stropowych w identycznym okresie i punkcie pomiarowym wynosiły 30 mm;

c) przekrój pomiarowy VII-VII:

- osiadania stropu w ocenie fotogrametrycznej w okresie od 26.04.79 r. do 7.11.80 r. wynosiły 12 mm;
- osiadania stropu ocenione na podstawie pomiarów rozwarstwień warstw stropowych w identycznym okresie i punkcie pomiarowym wynosiły 10 mm

Jak z powyższego wynika obie metody pomiarowe wykazują dużą zbieżność wyników, co świadczy o prawidłowości przeprowadzonych pomiarów.

4. Ocena wyników badań z punktu widzenia mechaniki górotworu

4.1. Uwagi ogólne

Przytoczone w części I i II publikacji trudności nie pozwoliły na realizację pełnego programu badań, mimo to możliwe jest ich analiza z punktu widzenia zjawisk zachodzących w górotworze i obudowie. Górotwór ze swą nader różnorodną budową geologiczną otaczający sztolnie oraz ich obudowa wstępna stanowi złożony układ przestrzenny. Poniższe uwagi, które z natury rzeczy nie roszcżą sobie pretencji do wyczerpania zagadnienia, są w tym przypadku pierwszą próbą skonstruowania na podstawie uzyskanych wyników pomiarów w nader różnorodnych i złożonych warunkach geologiczno-górnicznych hipotezy, dotyczącej jakościowego zachowania się układu górotwór-obudowa sztolni. Wyniki pomiarów omówiona wcześniej z punktu widzenia budowy i eksploatacji aparatury będą obecnie przytaczane i omawiane pod kątem oceny stateczności wyrobisk.

4.2. Stan odkształceń i naprężeń górotworu wokół sztolni

W świetle przedstawionych wyników pomiarów można wyobrazić sobie następujący przebieg zjawisk zachodzących w górotworze wokół sztolni hydroelektrowni Czoreztyń w Niedzicy. Wykonanie wyłomu sztolni w którejkolwiek jej części powoduje przekroczenie wytrzymałości skał znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska i pojawienie się strefy spękań rozwarstwień, przesuwającej się od stropu i ścian w głąb górotworu. Stwierdzony pomiarami zasięg strefy o maksymalnych wartościach rozwarstwień w ciągu 1-1,5 roku od chwili wykonania wyłomu (zabezpieczonego kotwiami o długości 3,6 m i betonem natryskowym) wyniósł powyżej 6,0 m w partii przyległej do sklepienia. Zasięg strefy maksymalnych wartości rozwarstwień górotworu zabezpieczonego obudową łukową podatną stwierdzony pomiarami w ciągu 1-1,5 roku od chwili wykonania wyłomu wyniósł również powyżej 6,0 m

w partii przyległej do sklepienia. Charakter wzrostu odkształceń górotworu w czasie (rys. 12-14, cz. I) świadczy o tym, że jego zachowanie pod obciążeniem w przybliżeniu odpowiada modelowi reologicznemu Puytynga-Thomsona, względnie modelowi Kelwina-Voigta. Wyraźny charakter reologiczny nadają górotworowi warstwy łupków marglistych i iłołupków. Należy podkreślić, że model reologiczny Poytynga-Thomsona przyjmowany przez wielu badaczy w niektórych rozwiązaniach lepiej aproksymuje własności reologiczne większości skał osadowych niż inne modele.

Założenie obudowy wstępnej powoduje zmianę stanu odkształcenia górotworu: przemieszczające się do wnętrza wyrobiska skały napotykają na opór obudowy wstępnej i w strefie przyległej do niej ulegają konsolidacji. Zaczyna się tworzyć strefa odkształceń i naprężeń ściskających stwierdzona wyraźnie pomiarami na kierunkach pomiarowych umieszczonych w strefie sztolni. Konsolidacja górotworu poza obudową powoduje wzrost obciążeń tej obudowy, przejawiający się zaobserwowanym znacznym wzrostem jej odkształceń obwodowych - charakter zmian dynamicznych tych odkształceń potwierdza poczynione uprzednio spostrzeżenia dotyczące modelu reologicznego górotworu.

Analiza teoretyczna zachowania się takiego modelu górotworu wskazuje na trafność doboru obudowy wstępnej w postaci kotwi i betonu natryskowego w ostatecznych wymiarach gabarytowych sztolni, której praca oznacza faktycznie zwiększenie parametrów wytrzymałościowych górotworu i przez to obniżenie końcowych wartości ciśnienia górotwóru na obudowę ostateczną.

5. Literatura

- [1] Badania górotworu i obudowy podziemnych wyrobisk hydrotechnicznych elektrowni wodnej w Czorsztynie-Niedzicy - Etap I. Szczegółowy program badań Temat U/332/77 - OBR-BG "Budokop" 1978 (praca niepublikowana).
- [2] Badania górotworu i obudowy podziemnych wyrobisk hydrotechnicznych elektrowni wodnej w Czorsztynie-Niedzicy - Etap II. Wyniki badań górotworu i obudowy wstępnej podziemnych wyrobisk hydrotechnicznych elektrowni wodnej w Czorsztynie-Niedzicy. Temat U/332/77 OBR-BG "Budokop" 1981 (praca niepublikowana).
- [3] Operat pomiarowy. Część archiwalna. Fotogrametryczny pomiar deformacji obudowy sztolni hydroelektrowni w Czorsztynie-Niedzicy. Umowa nr 5158pfn - Przedsiębiorstwo Miernictwa Górniczego w Katowicach, 1980 (praca niepublikowana).

Recenzent: Doc. dr inż. Władysław KONOPKO

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1983 r.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ
И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО КРЕПЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ВЫРАБОТОК
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ЧОРШТЫН-НЕДЗИЦА Ч. 2

Резюме

В работе оговорено методику и результаты исследований перемещений горной породы и предварительного крепления выработок в гидроэлектростанции Чорштын-Недзича с применением метода плоской фотограмметрии.

INVESTIGATIONS CONCERNING THE OROGEN AND TEMPORARY SUPPORT
OF HYDRAULIC SUBTERRANEAN HEADINGS IN THE HYDRO-ELECTRIC
POWER STATION AT CZORSZTYN-NIEDZICA (Part 2)

Summary

The paper deals with the methods and results of investigations concerning the displacement of the rock strata and temporary support of headings in the hydro-electric power station "Czorsztyń-Niedzica" by means of monophotogrammetry.