

GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKIE PROBLEMY BUDOWY STOPNI WODNYCH NA ODCINKU DOLINY GÓRNEGO SANU

W ZWIĄZKU z gwałtownym wzrostem zapotrzebowania na energię elektryczną po drugiej wojnie światowej Polska zaczęła w znacznie większym stopniu włączać do ogólnego bilansu energię uzyskiwaną z siłowni wodnych. Między innymi opracowano projekt zabudowania rzek karpackich szeregiem stopni wodnych, przez co nastąpi zredukowanie przebiegów katastrofalnych wyrządzających szkody we własnym dorzeczu oraz zlikwidowanie stanów powodziowych na Wiśle.

Budowa zapór i zbiorników wodnych narusza istniejące warunki bardziej, niż inne budowle inżynierskie i dlatego badania geologiczne muszą być bardziej wnikliwe, muszą poznać nie tylko stan istniejący, ale i dać prognozę zachowania się górotworu po zmianie warunków naturalnych. Historia budowy zapór podaje, że do 1930 r., a więc do czasu, w którym ukazała się praca Berkeya o konieczności prowadzenia studiów geologicznych dla budowli inżynierskich uległo zniszczeniu około 250 zapór i w większości przypadków przyczyną było niedostateczne poznanie skał podłoża. Kontynuując prace Berkeya E. B. Burwell i B. C. Moneymaker (1) stwierdzili, iż budowla inżynierska wiąże się z podłożem, na którym jest posadowiona i wymaga również przystosowania projektowanego obiektu do skał podłoża. M. Lugeon (11) podaje, że z 23 katastrof aż 19 zostało spowodowanych nie przystosowaniem zapór do skał podłoża w wyniku niedostatecznego poznania budowy geologicznej. O konieczności przystosowania budowli piętrzącej do skał podłoża piszą również M. G. Gignoux i R. Barbier (8). Te rozważa-

nia prowadzą do wniosku o konieczności ścisłej współpracy inżyniera-hydrotechnika z geologiem. Współpraca i wzajemne zrozumienie muszą trwać w czasie wszystkich etapów projektowania, okresu budowy, jak również i eksploatacji stopnia wodnego (2, 3).

Poznanie warunków i budowy geologicznej powinno się odbywać zgodnie z zasadą „od ogółu do szczegółu”, bo tylko ona gwarantuje dokładne zaznajomienie się ze specyfiką budowy geologicznej i danie prognozy zachowania się górotworu po spiętrzeniu wody przez zaporę.

San na swojej 444 km drodze przepływa przez Bieszczady (górny odcinek Sanu), Doły Jasielsko-Sanockie i Pogórze Dynowskie (środkowy San), a po wypłynięciu z Karpat w Przemyślu — przez Kotlinę Sandomierską (dolny San). Różnica wysokości między źródłami a ujściem wynosi 710 m. Wobec czego zaprojektowano wykorzystanie części spadku rzeki przez wybudowanie szeregu stopni wodnych w układzie kaskadowym (3, 9), gdyż w ten sposób można wykorzystać większą część spadku na całej długości rzeki ograniczając zalaną powierzchnię do minimum.

Decydujące znaczenie o pracy całej kaskady ma zbiornik wodny położony najwyżej, a jeżeli jest to zbiornik posiadający możliwość zakumulowania dużej ilości wody, wówczas układ taki jest najkorzystniejszy dla wyzyskania całkowitej energii rzeki.

W taki właśnie sposób zaprojektowano kaskadę Sanu — zbiornik, który będzie mógł wyrównać wieloletnie przepływy wody. Zlokalizowano go naj-

wyżej i on właśnie będzie decydował o pracy stopni niżej położonych (3).

Stopień wodny *S* składa się z: **zapory betonowej ciężkiej, silowni przyzaporowej szczytowo-pompowej o mocy instalowanej 120 MW; oraz zbiornika.** Siłownia będzie pracowała jedynie 3 — 4 godziny na dobę w czasie szczytowego zapotrzebowania mocy, a w pozostałych godzinach zwłaszcza w nocy, będzie pompowała wodę.

Stopień wodny *M* zlokalizowany poniżej poprzedniego składa się z: **zapory kombinowanej, derywacji ciśnieniowej oraz tunelu;** w końcowym odcinku tunelu wykuto w górotworze **komorę uderzeń** (siłowni wolnostojącej, przepływowej o mocy instalowanej 8 MW); **zbiornika.**

Prace geologiczne odcinka doliny Sanu, w którym lokalizuje się scharakteryzowane wyżej stopnie, prowadzili w latach 1928—1931 L. Horwitz oraz Zb. Opolski, a w okresie późniejszym również i J. Wdowiarz. Wyniki swoich prac przedstawili oni w „Sprawozdaniach”, „Posiedzeniach Naukowych” oraz „Biuletynie Państwowego Instytutu Geologicznego”.

Wcześniej, bo na początku lat dwudziestych bieżącego stulecia uwaga inżynierów hydrotechników została skierowana na możliwość wykorzystania energetycznego Sanu w miejscowości M. Z tego też okresu pochodzi wzmianka K. Pomianowskiego o korzystnych warunkach geologicznych w miejscach proponowanych zamknąć w dolinie górnego Sanu. Również i prace przy budowie stopnia wodnego *M* wyprzedzają kartowanie L. Horwita, brak jednak w literaturze wzmianki o wykorzystaniu wyrobiska górniczego (tunelu) w opracowaniach geologicznych.

Omawiany odcinek doliny Sanu znajduje się na obszarze grupy zewnętrznej Karpat fliszowych (15) w jednostce tektonicznej zwanej centralną depresją karpacką. Synklinorium to ciągnące się od Dunajca aż po Bukowinę w przekroju Wańkowa-Baligród osiąga maksymalną szerokość 25 km (13). Synklinorium jest zbudowane z wtórnie sfałdowanych warstw krośnieńskich.

W pracach szczegółowych prowadzonych przez Przedsiębiorstwo Geologiczno-Inżynierskie Energetyki w latach 1954—1961 zastosowano podział litologiczno-facjalny wydzielający:

1) **serię piaskowcowo-lupkową** odpowiadającą dolnym warstwom krośnieńskim L. Horwita (10) i Zb. Opolskiego (12);

2) **piaskowiec gruboławicowy**, warstwę przejściową między dolnymi a środkowymi warstwami krośnieńskimi;

3) **serię lupkowo-piaskowcową**, odpowiednik środkowych warstw krośnieńskich (10, 12).

Kompleks warstw krośnieńskich centralnej depresji karpackiej tworzy szereg jednostek tektonicznych, z których jedna nazwana przez L. Horwita synkliną Czulnia-Jawor obejmuje większą część opisywanego odcinka doliny Sanu.

Najstarsza z wyliczanych wyżej seria piaskowcowo-lupkowa zbudowana jest z piaskowców o różnej strukturze od drobnoziarnistych przez średnio (które są dla niej charakterystyczne) do gruboziarnistych. Na powierzchniach uławicenia występuje duża ilość drobnych blaszek muskowitu, a w niektórych ławicach drobne, zwęglone szczątki organiczne. Spoiwo piaskowców jest ilasto-wapniste lub nawet ilaste. Piaskowce, zwłaszcza średnioziarniste, wietrzeją bardzo łatwo rozsypując się na zailony piasek. Miąższość poszczególnych ławic dochodzi do kilku lub kilkunastu metrów. Część piaskowców o większej miąższości wietrzeje kuliście, a znany jest również występujący w niektórych piaskowcach drobny „kras”, który można porównać z krasem piaskowców Elby (14). Ławice piaskowców przewarstwiane są cienkimi wkładkami łupków piaszczystych, albo kompleksami

kilkudziesięciometrowymi łupków przeławicających się z piaskowcami o tej samej, niedużej miąższości. Kompleksy te są podobne do serii zaliczanej do środkowych warstw krośnieńskich. Procentowa miąższość piaskowców budujących serię piaskowcowo-lupkową dochodzi do 75%.

W morfologii seria ta zaznacza się łagodnie nachylonymi zboczami wzniesień.

Następna z kolei seria — piaskowiec gruboławicowy — jest bardzo ważnym poziomem przewodnim wśród monotonicznie wykształconych warstw krośnieńskich. Miąższość jego wynosi 65 m, wydzielono w nim trzy części:

1) **piaskowiec spagowy** o miąższości 23 m z dwoma kilkunastocentymetrowymi wkładkami łupków. Piaskowiec ten charakteryzuje się dość dużym stopniem spękania i zwietrzienia;

2) **wkładkę piaskowcowo-lupkową** o grubości 4 m, zbudowaną z 8 warstewek piaskowca (55%) o miąższości od kilkunastu do kilkadziesiąt cm oraz z 9 warstewek (45% całkowitej miąższości serii) łupków ilastych. Jedna z wkładek jest łupkiem ankerytowym;

3) **piaskowiec stropowy** o miąższości 38 m, z czterema kilkunasto-centymetrowymi wkładkami łupków.

Średni skład petrograficzny piaskowca stropowego z większej ilości próbek określony metodą planimetriowania pod mikroskopem jest następujący: kwarc 43—64%; skalenie 0,3—1%; muskowit do 0,3%; biotyt do 0,05%; glaukonit 0,5—1,2%; tlenki żelaza 0,1—0,6%; zwęglone szczątki organiczne do 0,5%; minerały ciężkie przeważnie granat 0,03—0,2%; spoiwo 33—54% (w tym węglanu wapnia częściowo przekrystalizowanego 11—20%); substancji ilastej 18—38%. Piaskowiec ten charakteryzuje się dużą wytrzymałością na zgniatanie (w stanie niezwiertziałym do 1200 kg/cm²) i jest bardzo odporny na wietrzenie. Jest więc elementem grzbietotwórczym.

Najmłodsza z wydzielanych — seria łupkowo-piaskowcowa buduje jądro synkliny Czulnia-Jawor. Seria ta, to nawzajem przeławicające się łupki i piaskowce o tych samych mniej więcej miąższościach. W pojedynczych zaledwie przypadkach miąższość ławic piaskowców dochodzi do około 1 m, przeważnie jednak nie przekracza kilku lub kilkunastu centymetrów. Piaskowce mają strukturę drobnoziarnistą, a w kilku przypadkach można spotkać ławice o częściowo grubszym ziarnie w spagu. Tekstura przeważnie jest skorupowa, rzadziej płytowa. Barwa piaskowców ciemnoszara i stalowoszara charakteryzuje niezwiertzałe piaskowce. Spoiwo ich jest wapnisto-ilaste. Łupki ilaste, margliste lub częściowo piaszczyste mają mniej więcej identyczną



Ryc. 1. Wietrzenie kuliste w serii piaskowcowo-lupkowej. Fot. autor.

Fig. 1. Spherical weathering in the sandstone-slate series.

miąższość co i piaskowce. Procentowy udział łupków w budowie serii wynosi około 50—70%. Ogólna miąższość całej serii łupkowo-piaskowcowej wynosi 330 m.

Synklina Czulnia-Jawor jest asymetryczna. Północno-wschodnie skrzydło jest ustawione stromiej (kąąt upadu około 70°), południowo-zachodnie łagodniej (około 55°). Osiowa partia synkliny o kierunku rozciągłości 120—300° jest wtórnie sfałdowana w szereg normalnych lub stromych fałdów. Oś synkliny w kierunku NW podnosi się ku górze pod kątem około 15°.

Na specjalną uwagę zasługuje omówienie budowy geologicznej młodszych utworów czwartorzędowych. Liczne wyrobiska pozwoliły na dokładne poznanie i rozpoziomowanie litologiczno-facjalne utworów pokrywowych, a w powiązaniu z ich ułożeniem na odtworzenie historii modelowania doliny Sanu w czwartorzędzie (1, 6). Natrafiono na pogrzebane formy morfologiczne przykryte 25 m pokrywami stokowymi.

Wydzielano cztery główne powierzchnie erozyjno-akumulacyjne. W wysokości 100 m ponad poziomem rzeki stary plejstocenijski poziom erozyjny — taras wysoki 40 m odpowiadający poziom zlodowacenia krakowskiego, taras średni około 20—15 m związany ze zlodowaceniem środkowopolskim oraz taras niski około 8—4 m związany ze zlodowaceniem bałtyckim. W tym ostatnim wycięty jest taras holocenijski (6). Stwierdzono, że górne odcinki zboczy musiały być obniżone w czasie całego czwartorzędzie o minimum 20—30 m. Obraz modelowania odcinka doliny Sanu był wynikiem działania dwóch podstawowych czynników. Charakteru wykształcenia litologicznego oraz ułożenia warstw (a więc budowy geologicznej) i klimatu oraz czasu jego działania. Na pierwszy plan wśród szczegółów budowy geologicznej wysuwa się piaskowiec gruboławicowy, który w okresie modelowania doliny był albo zaporą, przez którą przelamywała się rzeka, albo stromą ścianą, wzdłuż której San płynął ku NW. Największe meandry wytworzył San przed wpływieniem do synkliny Czulnia-Jawor, a zatem koło Soliny i Uherzec. Spowodowane to było koniecznością przecięcia piaskowca gruboławicowego.

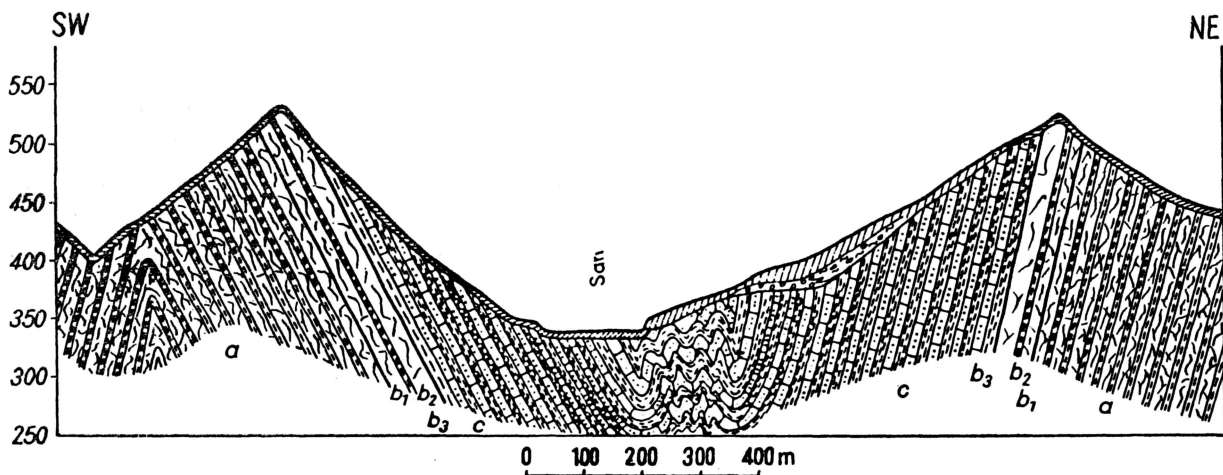
W wyniku badań geologiczno-inżynierskich w dolinie Sanu prowadzonych dla potrzeb budownictwa wodno-energetycznego wydzielono dwie grupy skał:

- a) starsze — trzeciorzędowe skały podłoża, wykształcone jako warstwy krośnieńskie,
- b) młodsze — czwartorzędowe skały nadkładu.

Uwzględniając ten podział należało rozwiązać następujące problemy geologiczno-inżynierskie dla właściwego zaprojektowania i zbudowania stopni wodnych:

1. Dokładnie poznać litologię i własności fizyczno-mechaniczne poszczególnych typów skał, procesy niszczące strukturę skał, ewentualnie szybkość wietrzenia oraz linię zasięgu tego wietrzenia w odniesieniu do powierzchni stropowej skał.
2. Poznać ułożenie skał, zafałdowania (głównie kierunki spękań i ich charakter), wielkość szczelin i głębokość ich zasięgu oraz ewentualnie materiał wypełniający; częstotliwość występowania szczelin w profilu pionowym i na powierzchni poziomej.
3. Określić morfologię stropu skał podłoża i głębokość zwietrzenia pod przykryciem utworów młodszych, a więc grubość eluwium i jego własności fizyczno-mechaniczne.
4. Poznać stosunki wodne w górotworze w normalnych warunkach, zależność przepuszczalności skał podłoża od głębokości, od stopnia spękania skał i od wykształcenia litologicznego poszczególnych serii skalnych, rozprzestrzenienie stref o dużej wodoprzepuszczalności w stosunku do projektowanych obiektów stopnia wodnego; postawić prognozę zmiany stosunków wodnych w górotworze po spiętrzeniu wody przez zaporę; wielkość dopływu wody do dołu fundamentowego w czasie budowy.
5. Określić własności przyczepności betonu do skał zależnie od wykształcenia litologicznego i podać najkorzystniejsze warunki układania i przygotowania skał podłoża przed betonowaniem; określić wielkość kąta tarcia betonu po skałach podłoża zależnie od elementów przestrzennych warstw i wykształcenia litologicznego.
6. Poznać i zaprojektować zabiegi techniczne, w których wyniku polepszy się własności mechaniczne skał i lepiej połączy bloki betonowe ze skałami; zlikwiduje się lub zmniejszy do minimum ilości wody filtrujące pod zaporą lub wokół niej, a w rezultacie obniży się wartość wycieku i straty wody w zbiorniku.
7. Określić stateczność zboczy i krawędzi morfologicznych naturalnych i sztucznych zarówno w czasie budowy, jak i eksploatacji stopni wodnych; podać dopuszczalne bezpieczne nachylenia krawędzi wykopów i wyłomów w zależności od wykształcenia litologicznego skał.
8. Znaleźć i udokumentować złoża materiałów skalnych w najbliższym sąsiedztwie budowanego stopnia, które można wykorzystać przy budowie wszystkich lub części obiektów stopnia.

Problemy geologiczno-inżynierskie dla grupy skał młodszych obejmowały:



Ryc. 2. Przekrój geologiczny przez synklinę Czulnia-Jawor

a — seria piaskowcowo-lupkowa, b₁ — piaskowiec spagowy, b₂ — wkładka piaskowcowo-lupkowa, b₃ — piaskowiec stropowy, c — seria łupkowo-piaskowcowa.

Fig. 2. Geological cross-section through the Czulnia-Jawor syncline

a — sandstone-slate series, b₁ — base sandstone, b₂ — sandstone-slate interbedding, b₃ — top sandstone, c — slate-sandstone series.

1. Poznanie wykształcenia, charakteru skał nadkładu i ich własności fizyczno-mechanicznych. Problem ten dotyczył zarówno utworów aluwialno-rzecznych, jak i stokowych.
2. Zaznajomienie się z grubościami poszczególnych warstw, sposobem ich ułożenia i wzajemnego następstwa oraz stopniem zwietrzienia lub scementowania.
3. Odtworzenie historii modelowania doliny w czwartorzędzie, a pośrednio poznanie warunków klimatycznych, wywołujących określone skutki.
4. Zachowanie się zwierciadła wody gruntowej w utworach aluwialnych i jego związek z poziomem wody w rzece; określenie możliwości poboru wody przemysłowej i pitnej w okresie budowy i dla zaopatrzenia osiedli stałych po jej zakończeniu.
5. Obserwacje podatności poszczególnych typów osadów na osuwanie się, obrywanie, czy też inne ruchy masowe zależnie od sposobu wykształcenia, ułożenia i wzajemnego położenia względem siebie; określenie możliwości zabezpieczenia się przed ruchem nadkładu.
6. Rozważenie możliwości odizolowania skał podłoża splekanych i zwietrzałych od wody zbiornika przez utworzenie w rejonie zapory ekranu wodoszczelnego z glin znajdujących się na stokach.
7. Znalezienie oraz udokumentowanie ilościowe i jakościowe złóż materiałów budowlanych w pobliżu stopnia wodnego i zależnie od tego zaprojektowanie odpowiedniego typu budowli piętrzącej.
8. Wytypowanie terenów dla przełożenia dróg, które po spiętrzeniu zostaną zalane; określenie linii brzegowej zbiornika, która w wyniku abradującej działalności wody nie zostanie zniszczona (określenie minimalnej odległości przesiedleń i wywłaszczeń); określenie terenów, które zostaną podtopione lub zabagnione przez podniesienie zwierciadła wody gruntowej; wskazanie terenów dla przeniesienia obiektów zatopionych oraz podanie parametrów potrzebnych dla ich zaprojektowania i wykonania.

Cały ten wachlarz zagadnień i problemów geologiczno-inżynierskich wymagał specjalnego podejścia w ich rozwiązywaniu ze względu na duże różnice w charakterystyce stopni wodnych. Z drugiej strony właśnie budowa geologiczna skał podłoża i utworów pokrywowych narzucała konieczność takiego, a nie innego rozwiązania stopnia i decydowała o pewnych danych technicznych. Dla przykładu można podać, iż zaporę S była rozważana jako kamiennie-narzućowa, a nawet ziemna ze względu jednak na brak materiałów ziemnych o określonej jakości i w koniecznej ilości zdecydowano się na budowę betonowej zapory ciężkiej.

Uchwycenie tych problemów geologiczno-inżynierskich jest wynikiem długotrwałej, stałej współpracy z projektantami i budowniczymi-hydrotechnikami od chwili rozpoczęcia prac projektowych, a więc od założeń projektowych przez następne stadia projektowania, okres budowy, aż do początków eksploatacji stopnia.

Prace geologiczno-inżynierskie prowadzone w odcinku doliny Sanu początkowo na terenie stopnia wodnego M, a następnie S.

Projekty kaskadowej zabudowy Sanu i innych rzek karpackich wskazywały na konieczność przygotowania odpowiednio wyszkolonej kadry i opracowania specjalnego podejścia do zagadnień geologiczno-inżynierskich budownictwa wodnego. Dzięki rozpoczęciu prac dla stopnia wodnego M o mniejszym „ciężarze gatunkowym” teren tego stopnia stał się poligonem doświadczalnym przed przystąpieniem do prac dla następnych, większych obiektów posadowionych na skałach facji fliżkowej. Koszt prac geologiczno-inżynierskich w stosunku do całości kosztów stopnia M wyniósł 2,66% (J. Dziewański). Wartość ta odpowiada

mniej więcej kosztem prac cytowanych przez L. Benda oraz Leggeta, ale jest większa od podanych przez Zb. Różyckiego. Dla stopnia wodnego S koszt tych prac nie osiąga już 1% wartości całej inwestycji, co może świadczyć o wykorzystaniu doświadczeń uzyskanych w czasie prac na terenie stopnia M.

Celem prac badawczych prowadzonych na terenach stopni wodnych M i S było właściwe zaprojektowanie poszczególnych obiektów stopni i dostosowanie ich do skał, w których będą posadowione, a myślą przewodnią prac geologiczno-inżynierskich była wzajemna współzależność i współpraca budowli inżynierskiej ze skałami podłoża i nadkładu.

Metody badań geologiczno-inżynierskich nie różniły się od ogólnie znanych i stosowanych w innych dziedzinach nauk geologicznych, wymagana była jedynie duża dokładność w rejestrowaniu i interpretowaniu zjawisk geologicznych.

Prace badawcze polegały na:

- 1) kartowaniu powierzchniowym i profilowaniu odsłoneń naturalnych i sztucznych;
- 2) wykonywaniu prac górniczo-poszukiwawczych, jak: wiercenia maszynowe obrotowe, wiercenia ręczne, kopanie szybków i wykopów;
- 3) badaniach geofizycznych;
- 4) prowadzeniu prac specjalnych polegających na badaniu wodochłonności i cementochłonności górotworu; określeniu przyczepności betonu do skał podłoża;
- 5) badaniach laboratoryjnych — określeniu składu petrograficznego i chemicznego skał oraz ich własności fizyczno-mechanicznych; badaniu chemizmu wód i szkodliwego wpływu na beton wykonany z różnych cementów.

Kartowanie powierzchniowe prowadzono w trzech podziałkach: dla terenu stopnia wodnych wraz ze stokami wzniesień (do linii działu wodnego pierwszego rzędu doliny Sanu (1:10 000; dla placów budowy wraz z obiektami podstawowymi (zapory, siłownia, trasa rurociągu itp.) stosowano podkłady 1:2000, a dla pasa szerokości około 500 m równoległego do osi zapory sporządzono zdjęcie 1:500. Obszary złóż materiałów budowlanych dokumentowano na planach 1:1000 i 1:2000.

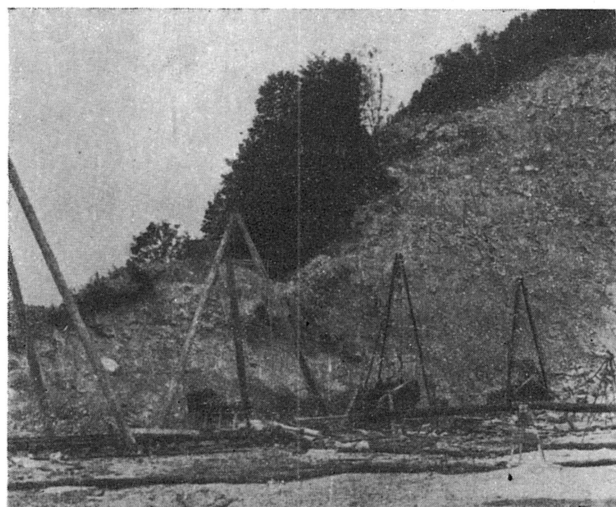
Zróznicowanie podziałki zdjęcia i stopnia dokładności rejestrowania faktów geologicznych w obrębie tego samego obszaru pozwoliło rozwiązać szereg problemów zarówno naukowych, jak i praktycznych. Niestety przy wykonywaniu tych prac nie udało się zachować zasady „od ogółu do szczegółu”, a więc zdjęcie w podziałce 1:10 000 nie wyprzedzało w czasie prac prowadzonych na bardziej szczegółowych podkładach topograficznych. Spowodowane to było przede wszystkim terminami opracowań geologicznych miejsc zamknięcia doliny rzeki, a następnie również i brakiem podkładów topograficznych w mniejszych podziałkach w początkowych etapach prac geologiczno-inżynierskich. Brak było w tym czasie również i zdjęć lotniczych omawianego terenu oraz przeszkolonego personelu, który mógłby wykonać fotointerpretację geologiczną tych zdjęć.

Prace górniczo-poszukiwawcze zgrupowano w miejscu posadowienia zapory (zdjęcie 1:500), obiektów placu budowy i na terenach dokumentowanych złóż materiałów budowlanych (1:1000 i 1:2000). Prace te obejmowały: obrotowe wiercenia maszynowe, rdzeniowe do głębokości około 100 m, wiercenia ręczne kilkunastometrowe oraz szybki i wykopy różnej głębokości i długości. Zasada, którą kierowano się przy rozmieszczaniu wyrobisk oraz wykonywaniu w nich obserwacji i badań, była możliwość kompleksowego wykorzystania wyrobisk, co w rezultacie dawało podwójną oszczędność — czasu i kosztów. Wiercenia maszynowe były otworami geologicznymi (poznaniem litologii, tektoniki), hydrogeologicznymi (obserwacje wodne), geologiczno-inżynierskimi (cementochłonność górotworu oraz poznanie własności fizyczno-mechanicznych skał). Wiercenia maszynowe wykonywano jako kierunkowe w płaszczyźnie prostopadłej do rozciągłości, a kąt nachylenia otworu z płaszczyznami

warstw był zbliżony do prostego. Takie usytuowanie wierceń miało na celu: przewiercenie maksymalnej ilości nachylonych warstw przy minimalnej długości otworu dla poznania litologii i tektoniki; odsłonięcie dużej ilości pęknięć, w które tłoczono w pierwszej kolejności wodę dla określenia wodochłonności górotworu, a następnie zaczyn cementowy (4). Otwory wiercono koronkami widiowymi używając czystej wody dla wynoszenia urobku z otworu. Prowadzenie wierceń w ten sposób chroni ścianki wyrobiska przed uszczelnieniem przez ciała obce, a więc badania prowadzone w otworze odzwierciedlały możliwe wiernie rzeczywiste warunki panujące w górotworze. Stosowanie śrutu oraz płuczki ilowej przy wierceniach tego typu zmniejszała obraz szczelności górotworu i jest kategorięcznie wzbronione (16).

Wiercenia ręczne wykorzystywano dla poznania utworów pokrywowych — ich wykształcenia, ułożenia, grubości oraz własności fizyczno-mechanicznych. Wiercenia te służyły też do udokumentowania złóż materiałów budowlanych. W czasie wykonywania wierceń ręcznych doszliśmy do przekonania, że nie można ich stosować dla określenia grubości na stokach w obszarach występowania pokryw gruzowych. Grubsze płyty piaskowca dowiercone ręcznie interpretowano często jako strop skał podłoża i dlatego też po pewnym czasie na stokach określano głębokość występowania skał pod przykryciem osadów czwartorzędowych jedynie w szybkach. Szybiki i wykopy uzupełniały poznanie budowy geologicznej terenu zdjęć 1:500 i 1:2000. Dotyczy to zwłaszcza poznania utworów młodszych (czwartorzędowych), których grubość przekracza w niektórych miejscach 20 m (3, 6, 7). Wyrobiska te dochodziły zawsze do skał podłoża. Specjalnie cenne były wykopy, w których na większej długości śledzono serie skalne i rejestrowano ilość, charakter i sposób rozmieszczenia szczelin oraz pęknięć w profilu pionowym.

Prace geofizyczne stosowane w badaniach geologiczno-inżynierskich w dolinie Sanu, to przede wszystkim profilowanie i zdjęcie wykonane metodą elektrooporową. Metodą tą określono głębokość występowania stropu skał podłoża przed rozpoczęciem głębienia szybików, wyznaczono linię kontaktu piaskowca stropowego z serią łupkowo-piaskowcową, określono miąższość warstwy żwirów na niskim tarasie akumulacyjnym. Zdjęcie elektrooporowe wykonano również na terenie złóż materiałów budowlanych oraz w rejonie osi zapory M dla stwierdzenia stopnia uszczelnienia górotworu cementową przesłoną przeciwfiltracyjną. Również tą metodą prześlędzono przebieg płaszczyny uskoku poprzecznego.



Ryc. 3. Prace specjalne — wiercenia dla stworzenia jednego rzędu przesłony przeciwfiltracyjnej zapory S. Fot. autor.

Fig. 3. Special works — drillings made to create one line of counterfiltration shutter of the dam S

Prace specjalne polegały na zbadaniu szczelności górotworu i zaprojektowaniu odpowiednich środków inżynierskich, które całkowicie lub częściowo zlikwidują filtrację pod zaporą i wokół jej przyczółków. W wyniku tych badań stwierdzono konieczność wykonania przesłony przeciwfiltracyjnej i określono jej następujące parametry: rodzaj materiału uszczelniającego, ilość rzędów otworów wiertniczych i odległość między nimi, odległość otworów w rzędzie zależnie od wykształcenia litologicznego skał, kierunku i kąta nachylenia wierceń, wielkość dopuszczalnych ciśnień tłoczenia zaczynu cementowego oraz ilość cementu potrzebną do uszczelnienia górotworu. Dla określenia promienia rozchodzenia się zaczynu cementowego w górotworze otwory wykonywano w grupach cementacyjnych, gdzie przestrzennie badano drogi filtracji wody oraz zaczynu cementowego, a także i efekty uszczelnienia skał (3, 4).

Badano również wielkość sił przychepności betonu do skał podłoża wykształconych jako piaskowiec gruboławicowy i seria łupkowo-piaskowcowa oraz współczynnik tarcia betonu po tych skałach. Wyniki uzyskane z tych badań potwierdziły konieczność traktowania tych dwóch serii skalnych oddzielnie, jako różne ośrodki geologiczno-inżynierskie.*

Badania laboratoryjne stanowiły integralną część badań geologiczno-inżynierskich prowadzonych dla potrzeb budownictwa wodnego. Metodami stosowanymi w gruntoznawstwie określono własności skał zwijęzłych i luźnych dla dania prognozy zachowania się skał nadkładu w zmienionych warunkach. Skały podłoża badano dla określenia składu petrograficznego, składu chemicznego i możliwości niszczenia ich przez wody zawierające agresywny dwutlenek węgla oraz siarkowodor. Badano również ich wytrzymałość na zgniatanie, mrozoodporność i przydatność jako kruszywa do produkcji betonów.

Szczególną uwagę w pracach laboratoryjnych zwrócono na poznanie chemizmu wód gruntowych zarówno w utworach aluwialnych, jak też i w górotworze. Badano wody Sanu przy różnych przepływach oraz najbliższych jego dopływów. Badania te miały na celu określenie rodzaju cementu, który można będzie stosować przy pracach betonowych.

Wykonanie dołów fundamentowych pod zapory M i S oraz pod inne obiekty stopni wodnych wykazały zgodność rzeczywistego obrazu budowy geologicznej podłoża i utworów pokrywowych z obrazem przedstawionym w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Zaprojektowana i wykonana cementowa przesłona przeciwfiltracyjna zapory M spełnia w sposób właściwy swoje zadanie. Również i prognoza zachowania się brzegów zbiornika M po spiętrzeniu podana w dokumentacji geologicznej znajduje swoje odbicie w podcinanych i osuwających się do zbiornika deluwialnych stokowych.

Te fakty świadczą o właściwie prowadzonych pracach, zrozumieniu i opracowaniu specjalnego podejścia do problemów geologiczno-inżynierskich budownictwa wodno-energetycznego i wykształceniu kadr geologiczno-inżynierskich, dla których opracowanie właściwej dokumentacji geologicznej dla stopni wodnych zlokalizowanych na terenie zbudowanym ze skał facji fliszowej nie przedstawia większej trudności.

LITERATURA

1. Burwell E. B., Moneymaker B. C. — Geology in dam construction. New York 1950.
2. Dziewański J. — Badania geologiczne w budownictwie wodno-energetycznym. „Wszechświat” 1961, nr 5.
3. Dziewański J. — Prace geologiczno-inżynierskie prowadzone dla potrzeb budownictwa wod-

* Artykuł na temat metodyki prowadzenia tych prac oraz wyniki uzyskane w czasie ich wykonywania podaje „Gospodarka Wodna” w nr 1 z 1963 r.

nego w dolinie Sanu. „Geotechnika i Hydrogeologia” 1960, z. 1a.

4. Dziewański J. — Próbną cementacją przesyłony przeciwfiltracyjnej zapory Myczkowce na Sanie. „Geotechnika i Hydrogeologia” 1962, z. 2a.
5. Dziewański J. — Zakres i koszty prac geologicznych wykonanych dla stopnia wodnego Myczkowce na Sanie. „Gospodarka Wodna” 1962, nr 4.
6. Dziewański J., Starkel L. — Dolina Sanu między Soliną a Zwierzyniem w czwartorzędzie. „Prace Geograficzne PAN” nr 36. Warszawa 1962.
7. Dziewański J., Starkel L. — Geneza i wiek terasy wysokiej w dolinie Sanu. „Rocznik PTG”. tom 31, z. 2—4. Kraków 1961.
8. Gignoux M.G., Barbier R. — Geologie des barrages et de anagements hydrauliques. Paris 1959.
9. Griszin M.M. — Gidrotechničeskije sooruzhenija. Moskwa 1954.
10. Horwitz L. — Sprawozdanie z badań geologicznych wykonanych w roku 1928 na arkuszu Ustrzyki Dolne. Sprawozdania PIG, t. 6, z. 1—2, Warszawa 1930.
11. Lugeon M. — Barrages et geologie. Lousanne 1933.
12. Opolski Zb. — O stratygrafii warstw krosnieńskich. Sprawozdania PIG, t. 7, z. 4. Warszawa. 1933.
13. Praca zbiorowa — Geologia Regionalna Polski — Karpaty t. 2, Tektonika. Kraków 1953.
14. Rast H. — Geologischer Führer durch das Elbsansteingebirge. Freiberg 1959.
15. Świdziński H. — Uwagi o budowie Karpat fliszowych. Sprawozdania PIG, t. 8, z. 1. Warszawa 1934.
16. Techničeskije usłowia na proizvodstwo rabot po cementacjonnym zawiesam. Moskwa 1955.

SUMMARY

The article deals with the geological-engineering works being carried on in the area of the San river valley to prepare a project of cascade constructions on the San river and other Carpathian rivers.

The purpose of these works was to project properly the individual dams and to adapt these dams to the rocks, in which they are to be constructed.

The methods of geological-engineering studies were not different from those generally known and applied in other domains of geological sciences. It was required only the great preciseness in recording and interpreting the geological phenomena there.

The investigatory works relied upon:

1. Surface mapping and profiling the natural and artificial exposures,
2. Mining and prospecting works (rotary drillings, hand drillings, diggings),
3. Geophysical surveys,
4. Studies on water-holding capacity, concrete-holding capacity of the rock mass and sticking of concrete to the substratum rocks,
5. Laboratory tests — determination of petrographical and chemical properties, chemism of waters a.o.

РЕЗЮМЕ

Статья посвящена инженерно-геологическим работам, проводимым на участке долины р.Сан, в связи с проектом сооружения каскадных плотин на р.Сан и других карпатских реках.

Целью этих работ являлось правильное запроектирование отдельных водных ступеней, с учетом свойств пород, на которых они будут основываться. Применялись общепринятые в геологии методы инженерно-геологических исследований, но предъявлялись большие требования к точности наблюдений и интерпретации геологических явлений.

Исследовательские работы состояли в следующем.

- 1) Наземная съемка и профилирование естественных и искусственных обнажений,
- 2) горно-поисковые работы (вращательное механическое и ручное бурение, проходка шурфов и канав),
- 3) геофизические работы,
- 4) изучение водопоглощаемости, цементапоглощаемости пород и связности бетона с породой,
- 5) лабораторные исследования — определение петрографического и химического состава пород, физико-химических свойств, химизма воды и т.п.