

## ELEKTROWNIA SZCZYTOWO-POMPOWA PORĄBKA-ŻAR I ZWIĄZANE Z JEJ BUDOWĄ PROBLEMY INŻYNIERSKO-GEOLOGICZNE

UKD 624.131.3/.4:[627.8:621.221.3/.4](438.312 Porąbka-Żar)

### PRACA ELEKTROWNI SZCZYTOWO-POMPOWEJ

Energetyka wykorzystuje różne źródła do produkcji energii dogodnej dla eksploatacji. W obecnej chwili największą rolę odgrywają surowce chemiczne (paliwa), które służą do wytwarzania ponad 90% światowej produkcji energii. Drugie, co do wielkości źródło produkowanej energii stanowi energia wody. Elektrownie wodne, pozwalające na zaoszczędzenie surowców chemicznych, posiadają bardzo wiele zalet, z których należy wymienić nie zanieczyszczanie środowiska przyrodniczego oraz łatwość włączania i wyłączania turbin, produkujących energię elektryczną. Ta ostatnia cecha posiada szczególnie duże znaczenie, jeśli rozpatrywać rozkład zapotrzebowania dziennego, tygodniowego, miesięcznego, czy też rocznego. Zapotrzebowanie energii w poszczególnych okresach nie jest równomierne, a wykazuje dość znaczne wahania. Przykładowo na ryc. 1 przedstawiono wykres zapotrzebowania energii w ciągu doby.

Nierównomierność zapotrzebowania energii, pomimo zabiegów podejmowanych w różnych dziedzinach życia gospodarczego, jest nie do uniknięcia, wobec czego zawsze będzie istniał problem akumulowania nadmiaru energii w okresach minimalnego zapotrzebowania i oddawania jej do sieci w okresach zapotrzebowania szczytowego. Bardzo dobrym akumulatorem jest magazynowanie hydrauliczne, w którym szczególne znaczenie posiadają elektrownie szczytowo-pompowe. Elektrownie szczytowo-pompowe pobierają energię dla pracy pomp w dolinach zapotrzebowania, a produkują ją dzięki pracy turbin w szczytach. Zależnie do zainstalowanych pomp i turbin, czy też w nowych rozwiązaniach pompo-turbin, sprawność elektrowni, określona stosunkiem energii wyprodukowanej do energii pobranej, dochodzi do 80%.

Elektrownia szczytowo-pompowa zawiera szereg obiektów stawiających wielokrotnie bardzo trudne zadania dla podłoża. Do obiektów podstawowych należy zaliczyć zbiornik górny, ujęcie wody, rurociągi ciśnieniowe prowadzone po zboczach zwane derywacją lub we wnętrzu górotworu w wykonanych sztolniach, budynek lub komorę elektrowni, rurociąg względnie sztolnię odpływową, komorę wylotową i zbiornik dolny. Schematy uytuowania podstawowych elementów przedstawiono na ryc. 2, 3.

Ze względu na znaczny wzrost zapotrzebowania energii i pogłębiające się nierównomierności rozbioru, budowa elektrowni szczytowo-pompowych w Polsce stanowi pilną konieczność. Jednym z takich obiektów jest obecnie budowana elektrownia szczytowo-pompowa, dla której dolnym zbiornikiem będzie istniejący zbiornik utworzony przez spiętrzenie wód Soły zaporą w Porąbce. Zbiornik górny wykonywany jest na szczycie Góry Żar, a komora elektrowni i rurociągi we wnętrzu góry.

Budowa elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka-Żar wymagała rozwiązania szeregu zagadnień inżyniersko-geologicznych tym bardziej trudnych, że nie ma dotychczas w praktyce światowej doświadczeń wykonywania tego typu obiektów w utworach fliszowych. Uzyskane w trakcie prac wyniki i zdobyte doświadczenia stanowią więc nie tylko bardzo cenny materiał dla budowy innych elektrowni podziemnych we fliszu w Polsce, przydatny dla dalszych realizacji, ale stanowią unikalne materiały w skali światowej.

W niniejszym artykule nie ma możliwości omówienia całości problematyki inżyniersko-geologicznej i dlatego przedstawione zostaną jedynie pewne wybrane zagadnienia. Zresztą badania prowadzone są nadal, a pełne przedstawienie wyników będzie możliwe dopiero po pewnym okresie eksploatacji.

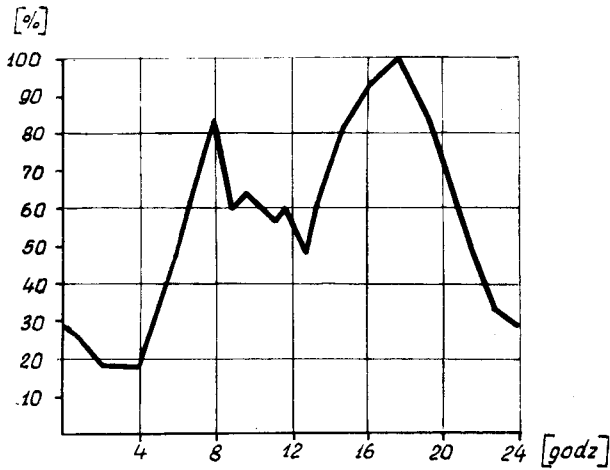
Bardzo obszerna problematyka inżyniersko-geologiczna prowadzona jest przez wiele zespołów ludzi oraz szereg instytucji i przedsiębiorstw, które w trakcie prowadzenia prac budowlanych muszą na bieżąco rozwiązywać szereg wyłaniających się trudnych zagadnień. Przyjmowane rozwiązania techniczne powinny być ściśle dostosowane do istniejących warunków geologicznych, które rzutują w bezpośredni sposób zarówno na możliwość wykonania jak i postęp prac oraz na koszty.

### ZAKRES BADAŃ

Rozpoznanie inżyniersko-geologiczne, dla ustalenia możliwości budowy elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka-Żar było prowadzone do projektu wstępnego, a uzyskane wyniki zostały podane w dokumentacji z 1960 r. Dla potrzeb tej fazy badań wykonano 27 otworów o łącznym metrażu ponad 1200 m, 96 szybików, 4 rowy oraz 60 m sztolni.

Dla fazy projektu technicznego prowadzono prace badawcze w latach 1969—1970 wykonując 18 otworów o łącznym metrażu 460 m, 37 szybików, 4 rowy, 48 m sztolni oraz dokonując odśnieżeń zboczy istniejących potoków o łącznej długości 935 m. Zrealizowany został również w tym czasie szeroki zakres badań geofizycznych, geotechnicznych i laboratoryjnych. Zrealizowany zakres prac badawczych i ich analiza pozwoliły na opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej podającej wielkości parametrów niezbędnych do prowadzenia prac projektowych. Obecnie w trakcie realizacji tych obiektów prowadzone są dalsze badania inżyniersko-geologiczne.

Ostateczny wariant rozwiązania technicznego elektrowni szczytowo-pompowej, obecnie realizowany, przewiduje wykonanie zbiornika górnego w obwałowaniach, wykonanych z materiałów miejscowych uzyskanych z wyłomów, sztolni upadłych ciśnieniowych, łączących zbiornik górny z pompo-turbinami, podziemną komorę ele-



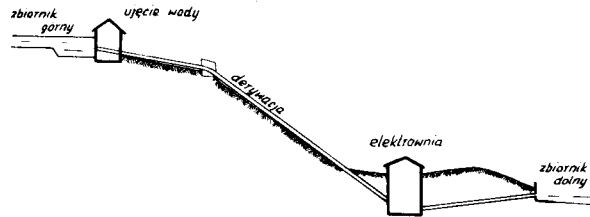
Ryc. 1. Zapotrzebowanie mocy w % mocy szczytowej w ciągu doby.

Fig. 1. Daily fluctuations of demand for power in per cent of maximum power output.

ktrowni długości około 120 m, szerokości 27 m i wysokości 40 m, sztolni odpływowej z komorą uderzeń.

#### BUDOWA GEOLOGICZNA

Górotwór, w którym wykonywane są wszystkie obiekty podstawowe zbudowany jest z utworów fliszowych należących do warstw godulskich, w których wyróżniono serię łupkowo-piaskowcową Kg3 i serię piaskowcowo-łupkową Kg4. W obrębie serii Kg3 występującej do rzędnej około 500 m npm wykonane będą: komora elektrowni, sztolnia odpływowa i dolna część sztolni upadowej. Seria Kg3 składa się z naprzemianległych ławic łupków i piaskowców o zmiennej miąższości, co utrudnia stworzenie jednoznacznego obrazu w oparciu o odosobnione odczytania. Wykształcenie litologiczne serii Kg3 zostało rozpoznane za pomocą odsonień wykonanych wzdłuż potoków, sztolni zwiadowczej i szybków. Powyżej serii Kg3 znajduje się seria piaskowcowo-łupkowa Kg4 występująca aż do szczytu góry Żar. Rozpoznanie pełnego profilu tej serii jest obecnie znacznie słabsze niż niżej leżącej serii Kg3, a zwłaszcza brak jest dostatecznej liczby obserwacji co do jej części pagowej.



Ryc. 2. Schemat elektrowni szczytowo pompowej.

Fig. 2. Scheme of pumped storage power plant.

W oparciu o wykonane obserwacje i pomiary miąższości poszczególnych ławic, opracowano w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej tabelę obrazującą miąższość wydzielonych pakietów w poszczególnych seriach (tab. I).

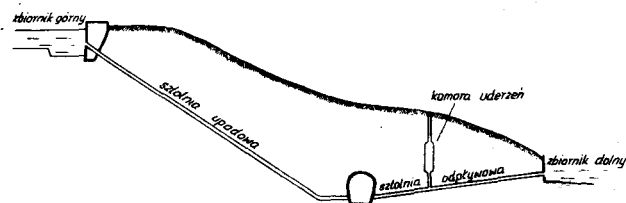
Warstwy piaskowców i łupków, poza miejscowymi zaburzeniami, ogólnie biorąc zapadają na ogół monoklinalnie na E, przy czym pomierzone wielkości kątów upadu najczęściej oscylują w granicach 3–11°. Stwierdzono jednak również zaburzenia ciągłe, powodujące odchylenia od ułożenia monoklinalnego, tworzące lokalne niewielkie antykliny, których skrzydła zapadają pod kątem 6–18°. Większa liczba deformacji ciągłych została udokumentowana w partii szczytowej góry Żar, gdzie stwierdzono szereg płaskich antyklin i synklin, których osie posiadają na ogół kierunek W-E lub NW-SE.

Poza zaburzeniami ciągłymi stwierdzono również i nieciągłe, w formie pęknięć górotworu bez przesunięć warstw, pęknięć górotworu z przemieszczeniem warstw o wielkości rzutu nie przekraczającego 1 m oraz uskoki. Wyróżnienie pęknięć z przemieszczeniem warstw od uskoku nastąpiło ze względu na lokalny ich charakter i nieduże rozprzestrzenienie. W obrębie zbadanego górotworu stwierdzono dwa uskoki przecinające górotwór od powierzchni terenu, z których jeden o kącie zapadania płaszczyzny uskokowej 68–76° będzie przecinał komorę elektrowni. Kierunki spękań ciosowych posiadają duże zróżnicowanie, wykazując pewne maksimum dla kierunków 25–50° i 100–120°. Kierunki te z osią komory tworzą kąty 37–62° i 69–47° i potwierdzają trafność wyboru kierunku osi podłużnej komory w projekcie wstępnym.

Na utworach fliszowych, z których jest zbudowana góra Żar, występują pokrywy zwietrzelinowe in situ oraz materiał zwietrzelinowy w obrębie osuwisk. W zwietrzelinach in situ wyróżniono strefę gliniastą i strefę zgruzo-

Tabela I

	Pakiety	Piaskowce	Piaskowcowo-łupkowe	Łupkowo-piaskowcowe	
Miąższość ławic w cm	piaskowców	>200	5–200	5–30 do 30% <5	
	łupków	<1	1–5	>5	
Zawartość pakietów w serii w %	Kg4	szczyt góry	—	58	42
		zbcze zachodnie	1	78	21
	Kg3	1	35	64	
Miąższość pakietów w serii w cm	Kg4	szczyt góry	—	50–1300	50–300
		zbcze zachodnie	200–360	50–80	50–200
	Kg3	200–400	50–500	50–600	



Ryc. 3. Schemat elektrowni szczytowo pompowej podziemnej.  
Fig. 3. Scheme of underground pumped storage power plant.

wania. Strefa gliniasta wykształcona jest w postaci gruntów spoistych z domieszką kamieni stanowiących 10–50%, a jej miąższość wynosi dla serii Kg4 0,1–2,6 m. Poniżej strefy gliniastej znajduje się strefa zgruzowania wykształcona w postaci gruntów kamienistych z przestrzeniami wypełnionymi gruntami spoistymi. Zawartość gruntów spoistych nie przekracza w tej strefie 50%.

W partiach przypowierzchniowych góry Żar stwierdzono istnienie szeregu osuwisk należących do osuwisk skalno-zwietrzelinowych i zwietrzelinowych. Maksymalna stwierdzona miąższość gruntów w obrębie osuwisk sięga 20 m. Istniejące osuwiska są osuwiskami starymi, obecnie ustabilizowanymi.

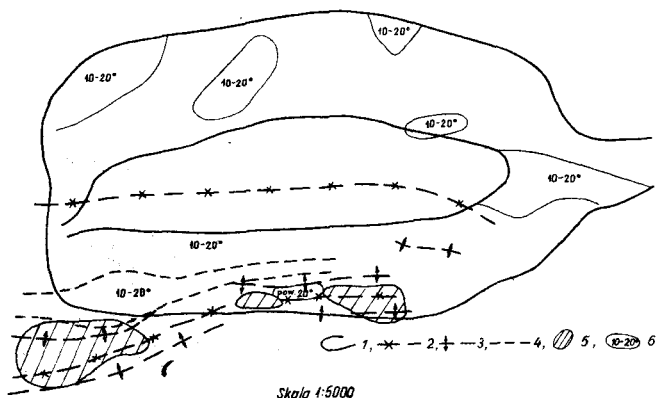
#### WARUNKI WODNE

W obrębie utworów fliszowych zasadniczym ośrodkiem, w którym występują wody są utwory piaskowcowo-łupkowe serii Kg4. W obrębie tej serii występuje szereg poziomów wodonośnych, związanych z warstwami piaskowców, przy czym zasilanie tych poziomów następuje poprzez infiltrację wód opadowych. Odwodnienie tych poziomów odbywa się za pośrednictwem źródeł o charakterze przeważnie przelewowym. Wahaniami wydajności poszczególnych źródeł są również dość znaczne i uzależnione od wielkości opadów i pór roku, przy czym część źródeł w okresie suszy całkowicie zanika.

Wody są słabo zmineralizowane i bardzo miękkie, co świadczy o braku dłuższego podziemnego krążenia. Występowanie wód w dolnej partii serii Kg4 stwarza niebezpieczeństwo możliwości dopływu wody w trakcie drążenia sztolni upadowych. Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń dopływ do pojedynczej upadowej, po przejściu stropu serii Kg3, może być rzędu do kilku m<sup>3</sup>/godzinę. Utwory serii Kg3 powyżej rzędnej wody w dolnym zbiorniku nie są nawodnione, co wyraźnie potwierdziły wykonywane wyrobiska podziemne. Ogólny dopływ wody do 500-metrowej sztolni zwiadowczej w formie lokalnych wycieków był mniejszy niż 0,5 m<sup>3</sup>/godz.

#### ZAGADNIENIA INŻYNIERSKO-GEOLOGICZNE ZWIĄZANE Z BUDOWĄ ZBIORNIKA GÓRNEGO

W trakcie prowadzenia badań dla fazy projektu technicznego największe zmiany rozwiązań inżynierskich zaistniały w odniesieniu do zbiornika górnego. Wprawdzie w projekcie wstępnym przyjmowano dwa zasadniczo różne warianty rozwiązań, w postaci zapór betonowych względnie zapór narzutowych z materiału miejscowego, to jednak pierwotny zakres badań inżyniersko-geologicznych został przewidziany i był realizowany dla zapór betonowych. Zostały wykonane badania parametrów wytrzymałościowych oraz własności sprężystych skał in situ zarówno przez Główny Instytut Górnictwa, jak i Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne w Krakowie. W miarę postępującego rozpoznania inżyniersko-geologicznego oraz



Ryc. 4. Szkiec tektoniczny rejonu zbiornika górnego (wg J. Radwana).

1 — obrys zbiornika górnego, 2 — synklina, 3 — antyklina, 4 — strefa warstw zaburzonych, 5 — osuwiska, 6 — obszary o kącie upadu warstw od 10 do 20°.

Fig. 4. Tectonic sketch of the area of upper reservoir (after J. Radwan).

1 — outline of the upper reservoir, 2 — syncline, 3 — anticline, 4 — zone of disturbed strata, 5 — landslides, 6 — areas of strata dipping at the angle from 10 to 20°.

wyników badań geotechnicznych rozwiązanie projektowe wykonania zapór betonowych okazywało się coraz mniej realne.

Obszar, na którym mogły być usytuowane zapory betonowe względnie narzutowe zbiornika górnego, w ogólnych zarysach można podzielić na dwie części: północną i południową. Strona północna charakteryzuje się obsekwentnym zapadaniem warstw w stosunku do nachylenia zboczy. W rejonie tym nie stwierdzono osuwisk, ani strefy warstw zaburzonych. Miąższość strefy zwietrzalej nie przekracza 10 m. Tak więc można stwierdzić istnienie w tym rejonie warunków korzystnych dla obu rozwiązań technicznych obwałowań zbiornika.

W części południowej oraz południowo-wschodniej projektowanego obwałowania, warunki inżyniersko-geologiczne okazały się znacznie mniej korzystne. W rejonie tym nachylenie utworów fliszowych jest zgodne z nachyleniem zboczy. Występuje tam również strefa warstw zaburzonych, w której stwierdzono istnienie uskoków i pęknięć, powodujących w niektórych przypadkach wtórne obalenie warstw ku północy. Strop podłoża niezwiertżalego znajduje się poniżej głębokości 10 m ppt, a maksymalnie stwierdzono go na głębokości 28 m ppt. W rejonie tym zanotowano istniejące stare osuwiska. Szkiec tektoniczny rejonu zbiornika górnego na szczycie góry Żar został przedstawiony na ryc. 4.

Należy również wspomnieć, że przyjęcie rozwiązania zapór betonowych dla wykonania zbiornika stwarzało konieczność odłożenia materiału uzyskanego z wyłomów, w ilości około 3 mln m<sup>3</sup> gruntu, gdy wykonanie zapór narzutowych pozwala na zmniejszenie ogólnej ilości mas

Tabela II

	Wytrzymałość na ściskanie kG/cm <sup>2</sup>	Ciężar objętościowy G/cm <sup>3</sup>
Piaskowce zwietrzale	800	2,2
Piaskowce niezwiertżale	880–1380	2,3–2,6
Łupki niezwiertżale	300	2,58

Tabela III

Strefa	Głębokość występowania m	Wilgotność %	Parametr B Skemptona	Wytrzymałość na ścinanie							
				próby NNS badania UU				z past gruntowych badania CIU			
				wyrażone w naprężeniach							
				całkowitych		czynnych		całkowitych		czynnych	
$c$ kG/cm <sup>2</sup>	$\varphi^\circ$	$\bar{c}$ kG/cm <sup>2</sup>	$\bar{\varphi}^\circ$	$c$ kG/cm <sup>2</sup>	$\varphi^\circ$	$\bar{c}$ kG/cm <sup>2</sup>	$\bar{\varphi}^\circ$				
Sp < 0,25	0,4—0,7	15,1—37,7	0,55—0,85	0,9—1,0	8	0,80	19	0,30	29	0,10	32
				0,05—0,20	2	0,05	22				
Sp > 0,25	0,3—0,5	24,8—42,1	0,90—1,00	0,20	6	0,10	22	0,40	12	0,30	14
zgruzowania	3,1—6,2	16,7—27,3	0,20—0,70	0,20	6	0,10	22	0,40	12	0,30	14

odłożonych do około 1/4. Należy również zwrócić uwagę na większą odporność zapór narzutowych na zjawiska sejsmiczne, tym bardziej, że obszar góry Żar znajduje się w strefie tektonicznie nieuspokojonej, gdzie istnieje zarówno możliwość wystąpienia własnych epicentrow wstrząsów, jak i odbioru wstrząsów z sąsiednich epicentrow.

Wszystkie te czynniki zdecydowały o ostatecznym przyjęciu wariantu rozwiązania technicznego obwałowań zbiornika górnego w formie zapór narzutowych z materiału miejscowego i wykonania szczelnego ekranu bitumicznego od strony odwodnej.

Szerszy zakres badań pozwala na podanie własności fizyczno-mechanicznych utworów fliszowych, stanowiących podłoże zbiornika górnego.

Parametry wytrzymałościowe na ścinanie łupków w zakresie naprężeń normalnych 0,6—4,0 kG/cm<sup>2</sup> wynoszą  $\varphi = 14^\circ$ ,  $c = 0,6$  kG/cm<sup>2</sup>, natomiast w zakresie naprężeń większych od 4,0 kG/cm<sup>2</sup>  $\varphi = 5^\circ$  i  $c = 1,24$  kG/cm<sup>2</sup>. Przyczepność betonu do piaskowców wykazuje  $\varphi = 20^\circ$ ,  $c = 2,8$  kG/cm<sup>2</sup>.

Prędkość rozchodzenia się fal sejsmicznych podłużnych w utworach skalnych zwietrzałych wynosi poniżej 2000 m/s natomiast w utworach niezwiertzałych powyżej 2000 m/s. Na podkreślenie zasługują znaczne różnice w wielkości odkształceń łupków przy pęcznieniu i skurczu, przy czym największe odkształcenia wykazują łupki ilaste. Odkształcenia przy pęcznieniu i skurczu przejawiają łupki już przy niewielkich zmianach wilgotności rzędu 3—4%.

## SUMMARY

The paper describes the construction of a pumped storage power plant and presents engineering-geological surveys required during the construction of Porąbka-Zar power plant. The significance and results of engineering-geological surveys are shown on the example of the upper reservoir designing. Its designing required a detailed knowledge of actual geological conditions. In addition, strength parameters of the distinguished weathering profile zones of the series Kg4 are given.

Ze względu na to, że zapory narzutowe będą oparte na zwietrzelinach skał fliszowych jak również, że zwietrzeliny te będą stanowiły podłoże zwałowiska zostały przeprowadzone badania wytrzymałościowe gruntów ze strefy gliniastej oraz badania materiału wypełniającego szczeliny, spękania i przestrzenie występujące w strefie zgruzowania. Badania wytrzymałościowe wykonano w aparacie trójosiowego ściskania typu norweskiego, przy stałym naprężeniu poziomym i wzrastającym naprężeniu pionowym bez konsolidacji i bez odpływu (UU) oraz z konsolidacją izotropową bez odpływu (CIU) z pomiarem ciśnienia porowego.

Interpretację wyników przeprowadzono dla strefy gliniastej dla dwu grup. Pierwsza grupa obejmowała grunty o Sp < 0,25, druga — o Sp > 0,25. Dla materiału wypełniającego ze strefy zgruzowania interpretację wykonano łącznie dla wszystkich próbek (tab. III).

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki i zasygnalizowane niektóre wybrane problemy mają na celu zwrócenie uwagi na znaczenie badań inżyniersko-geologicznych w procesie projektowania i realizacji elektrowni szczytowo-pompowej. Pełniejsze przedstawienie uzyskanych wyników i podzielenie się doświadczeniami wymaga bowiem znacznie szerszego monograficznego opracowania tematu.

(Literatura przedmiotu u autorów)

## РЕЗЮМЕ

В работе описаны инженерно-геологические работы, проведенные для целей гидроаккумулирующей электростанции Поромбка-Жар. Значение инженерно-геологических изысканий показано на примере верхнего водохранилища, сооружение которого было теснейшим образом обусловлено геологическим строением данного участка. Приведены также параметры, характеризующие устойчивость определенных интервалов профиля коры выветривания.