

HENRYK NIEDZIELSKI

WODOCHŁONNOŚĆ SKAŁ FLISZOWYCH W WYBRANYCH REJONACH KARPAT

8 fig.

*Water pressure tests of flysch rocks in selected
areas of the Carpathians*

8 figs.

Treść: Na podstawie 840 strefowych badań wodochłonności w ośmiu różnych rejonach Karpat wykazano, że wodoprzepuszczalność fliszu typu szczelinowego praktycznie nie przekracza głębokości 45—80 m na zboczach dolin i 30—60 m w dnach dolin. Silnie rozluźniony procesami wietrzeniowymi górotwór sięga do głębokości 15 m, natomiast w głębiej leżącej strefie występują tylko spękania typu tektonicznego. Głębokości podane ograniczają miąższość strefy aktywnej wymiany wód podziemnych i głębokość przesłon przeciwfiltracyjnych w budownictwie wodnym.

WSTĘP

W Polsce między 1946 a 1972 rokiem wybudowano w Karpatach sześć zapór, w tym najwyższy obiekt piętrzący, zaporę w Solinie na Sanie, która ma 82 m wysokości. Zapora w Wiśle-Czarnem znajduje się w końcowej fazie budowy. Kilka dalszych ma być wzniesionych w najbliższej przyszłości.

Zapory na terenie Karpat istniejące i projektowane, z wyjątkiem jednej (Czorsztyn-Niedzica), zlokalizowane są na skałach fliszowych, stanowiących główny typ litofacjalny tego systemu górskiego. Dla wszystkich obiektów wykonano mniej lub więcej obszerny zakres badań inżynieryjno-geologicznych, które zezwalają na określenie podstawowych cech fizycznych i mechanicznych skał fliszu.

Flisz według określenia S. D ż u ł y ń s k i e g o i A. S m i t h a (1964) jest jednofacjalną formacją o znacznej miąższości i zdeponowanej w stosunkowo głębokim środowisku morskim. Cechuje ją — między innymi — naprzemianległość ławic o grubszym ziarnie (np. piaskowców, wapieni okruchowych itp.) oraz osadów pelitycznych (iłowców, mułowców lub margli). Ławice piaskowców odznaczają się zazwyczaj stałą miąższością.

Wspomniani autorzy wyróżniają w obrębie fliszu 3 subfacje, a mianowicie: flisz piaszczysty z wyraźną przewagą piaskowców nad łupkami ila-

stymi, flisz normalny, w którym udział piaskowców oraz łowców jest mniej więcej jednakowy oraz flisz łupkowy, gdzie łupki ilaste posiadają wyraźną przewagę nad piaskowcami. Z reguły skały fliszowe są silnie pofałdowane, pocięte uskokami i spękane. Zjawiska te mogą być rozmaitej genezy: orogenicznej, epejrogenicznej, wietrzeniowej itp. Ta różnorodność procesów geologicznych determinuje cechy fizyczne i mechaniczne skał.

Najważniejszymi cechami skał fliszu jako podłoża budowlanego w budownictwie hydrotechnicznym, zapewniającymi stateczność obiektu po spiętrzeniu rzeki, są nie tylko nośność, tj. odporność na naciski pionowe i przesunięcia poziome, lecz także szczelność ograniczająca wypór pod zaporami i chroniąca przed nadmierną filtracją wody pod obiektem i wokół jego przyczółków. O ile problematyce stateczności zapór i związanej z tym wytrzymałości podłoża poświęcono już w Polsce wiele uwagi, o tyle problemem wodochłonności, zwłaszcza skał fliszowych, zajmowano się mniej. A jak wiadomo niedostateczne poznanie tej własności górotworu było główną przyczyną większości katastrof i awarii zapór na świecie (J. Głodek, 1965). Ponadto zdaniem wielu autorów (St. Kratochvil, 1967, M. Bilik, 1967; V. Mencl, 1967 i L. Woznica, 1967) skały fliszu karpackiego nie stanowią dogodnego podłoża budowlanego dla zapór betonowych, przy których na pierwsze miejsce wysuwa się zagadnienie stateczności podłoża, natomiast są środowiskiem dogodnym dla posadowienia zapór ziemnych, dla których naczelnym problemem staje się filtracja wody.

Rozeznanie szczelności skał fliszowych posiada zasadnicze znaczenie dla prawidłowego projektowania uszczelniania podłoża, tj. lokalizacji przesłony, jej głębokości i sposobu wykonania. Jest ono także wskazówką co do miąższości strefy aktywnej wymiany wód podziemnych, co ma duże znaczenie przy poszukiwaniu wody słodkiej w obranym rejonie.

Niniejszy artykuł jest próbą podsumowania nowszych badań w tej dziedzinie i wyciągnięcia ogólniejszych wniosków. Jeszcze wiele zagadnień należałoby przedyskutować w miarę gromadzenia wyników, niemniej wydaje się, że zebrane doświadczenia mogą być wykorzystane także w innych dziedzinach działalności inżynierskiej. Autor ma na myśli roboty górnicze i hydrogeologiczne związane z poszukiwaniem wody w kraju i poza jego granicami, gdyż utwory fliszu są często spotykany-
mi kompleksami skalnymi.

METODYKA BADAŃ WODOCHŁONNOŚCI

W celu względnego porównywania stopnia spękania skał litych i związanej z tym wodoprzepuszczalności wykonuje się pomiary wodochłonności polegające na tłoczeniu wody do odcinka otworu wiertniczego przy różnych stopniach ciśnienia.

Badania wykonuje się częściej w pojedynczych otworach w miarę ich głębienia (strefami zstępującymi), a rzadziej już po odwierceniu otworu w miarę jego likwidacji (strefami wstępującymi). Długości odcinków (stref) mogą być różne, najczęściej w granicach 3—5 m. Dłuższe strefy bada się wówczas, gdy zachodzą trudności w zaciskaniu uszczelki, spowodowane znaczną nierównością ścian otworu. Do odizolowania badanej strefy od pozostałej części otworu służy wspomniana uszczelka, wykonana w formie gumowego pierścienia, którą zapuszcza się do otworu na wymaganą głębokość na przewodzie tłoczącym wodę, a następnie poprzez rozparcie zaciska się wokół ścian otworu. Tym sposobem górna część odcinka otworu jest odizolowana od badanej strefy.

Do strefy badanej tłoczy się wodę sposobem naciskowym (woda tłoczona jednym przewodem pochłaniana jest przez szczeliny znajdujące się w ścianie otworu) lub obiegowym (dwa koncentrycznie umieszczone przewody, jeden tłoczący wodę do strefy, drugi zaś odprowadzający jej nadmiar). Drugi sposób w ostatnich latach jest stosowany powszechnie, gdyż eliminuje trudną do dokładnego wyliczenia wielkość strat ciśnienia powstałą na długości przewodu tłocznego. Warunki techniczne badań wodochłonności określa norma branżowa BN-70/8950.

Dzieląc ilość wody wtłoczonej w jednostce czasu (l/min) przez długość badanej strefy i ciśnienie przy którym tłoczono wodę (w przeliczeniu na 1 m słupa wody) otrzymuje się tzw. wodochłonność jednostkową „ q ” wyrażoną w $l/min \cdot m \cdot 0,1 \text{ atm}$. Jest to wskaźnik liczbowy służący do porównywania i oceny szczelności skał. Jak się okazało, wartość jego jest uzależniona od wielu czynników, a przede wszystkim od długości badanej strefy, średnicy otworu, wielkości ciśnienia i czasu tłoczenia wody (J. Muchowski, J. Stochlak, 1965 oraz W. Jawański, 1965). Dla zachowania względnie dobrych warunków porównywalności wyników, wspomniana norma wprowadza pojęcie „porównawczej wodochłonności jednostkowej”, tj. uzyskanej przy ciśnieniu badawczym wynoszącym 2 atm.

Charakteryzując poniżej szczelność skał fliszu posługiwano się głównie porównawczą wodochłonnością jednostkową, a gdy było to niemożliwe, wodochłonnością jednostkową uzyskiwaną przy ciśnieniu zbliżonym do 2 atm.

W budownictwie wodnym od dawna stosuje się kryterium szczelności podłoża wprowadzone przez M. Lugeona (W. Jawański i K. Thiel, 1971). Autor uznawał podłoże za szczelne już przy wodochłonności jednostkowej wynoszącej $0,05 l/min \cdot m \cdot 0,1 \text{ atm}$. Tej wodochłonności, przy uwzględnieniu przeciętnych warunków badań, odpowiada w przybliżeniu współczynnik filtracji rzędu 10^{-7} m/s . W naturalnych warunkach przepływ wody jest wówczas tak mały, że nie ma praktycznego znaczenia.

Omówienie wyników badań wodochłonności

Analizie poddano badania wykonane w ośmiu rejonach pokazanych na fig. 1. Uwzględniano zawsze, gdy to było możliwe, porównawczą wodochłonność jednostkową. Wyniki grupowano przeważnie w interwałach głębokości co 10 m w nawiązaniu do stratygrafii i wykształcenia litologicznego. W każdym interwale podano wyniki skrajne, średnią arytmetyczną oraz ilość porównawczych wodochłonności jednostkowych uzyskiwanych w danym interwale w różnych otworach w zależności od ich usytuowania, tj. na lewym i prawym zboczu oraz w dnie doliny. Wartości średnie arytmetyczne charakteryzują średnią wodochłonność górotworu, natomiast skrajne najmniejszą i największą wodochłonność jednostkową w pojedynczym otworze i strefie znajdującej się w przyjętym interwale. Wszystkie podane głębokości należy rozumieć jako wartości względne liczone od powierzchni terenu.

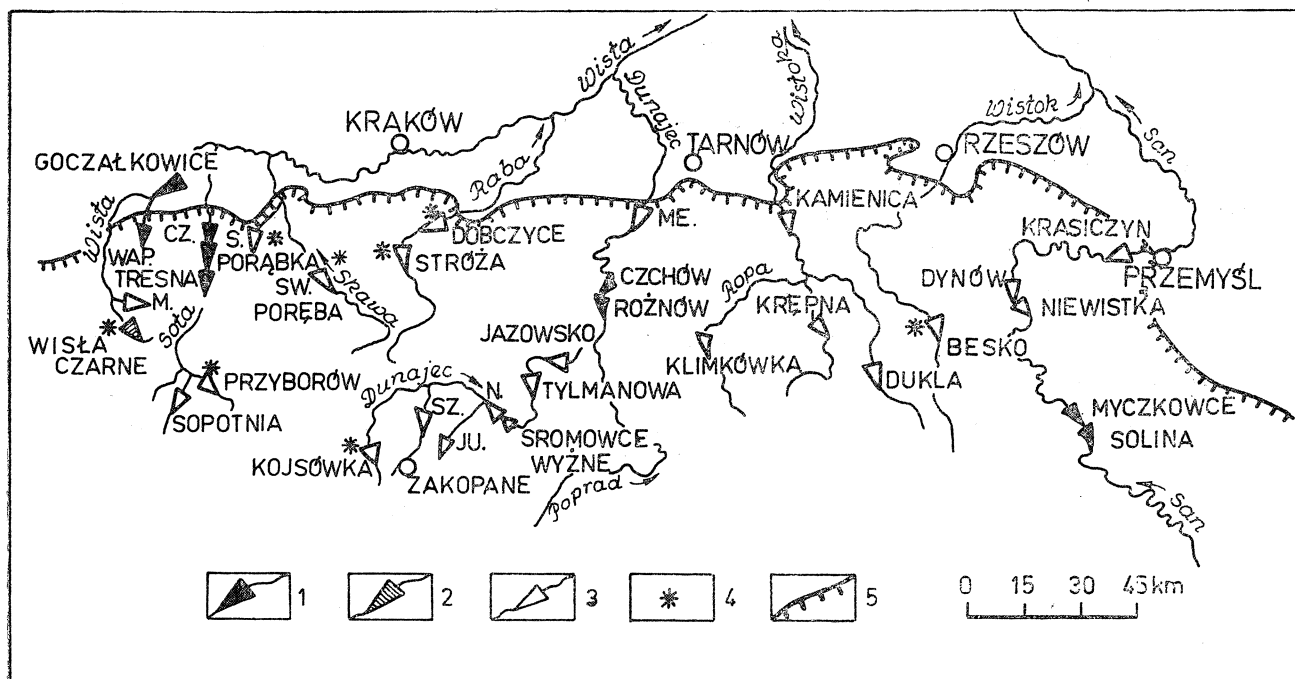


Fig. 1. Mapka z miejscowościami badanymi. 1 — zapory czynne; 2 — zapory w budowie; 3 — zapory planowane; 4 — miejsca badania wodochłonności; 5 — brzeg Karpat

Fig. 1. Schematic map showing the localities investigated. 1 — active dams; 2 — dams in construction; 3 — planned dams; 4 — localities investigated for water capacity; 5 — Carpathian border

tyczną oraz ilość porównawczych wodochłonności jednostkowych uzyskiwanych w danym interwale w różnych otworach w zależności od ich usytuowania, tj. na lewym i prawym zboczu oraz w dnie doliny. Wartości średnie arytmetyczne charakteryzują średnią wodochłonność górotworu, natomiast skrajne najmniejszą i największą wodochłonność jednostkową w pojedynczym otworze i strefie znajdującej się w przyjętym interwale. Wszystkie podane głębokości należy rozumieć jako wartości względne liczone od powierzchni terenu.

Wisła-Czarne

Zapora ziemna o wysokości około 30 m zlokalizowana została poniżej połączenia Białej i Czarnej Wisłki. Dolina posiada tu asymetryczny przekrój poprzeczny, tzn. zbocze prawe (NE) jest niższe i bardziej łagod-

ne od lewego (SW). Miąższość czwartorzędu w dnie doliny dochodzi do 8 m, na zboczach zaś nie przekracza 4—5 m.

Podłoże budują utwory płaszczowiny śląskiej, w której skład wchodzi warstwy godulskie i istebniańskie wieku kredowego. Pierwsze wykształcone są w subfacji fliszu piaszczystego i łupkowego, drugie zaś prezentują flisz piaszczysty. Do głębokości osiągniętej wierceniami, tj. do około 50 m, warstwy godulskie stwierdzono jedynie na prawym zboczu

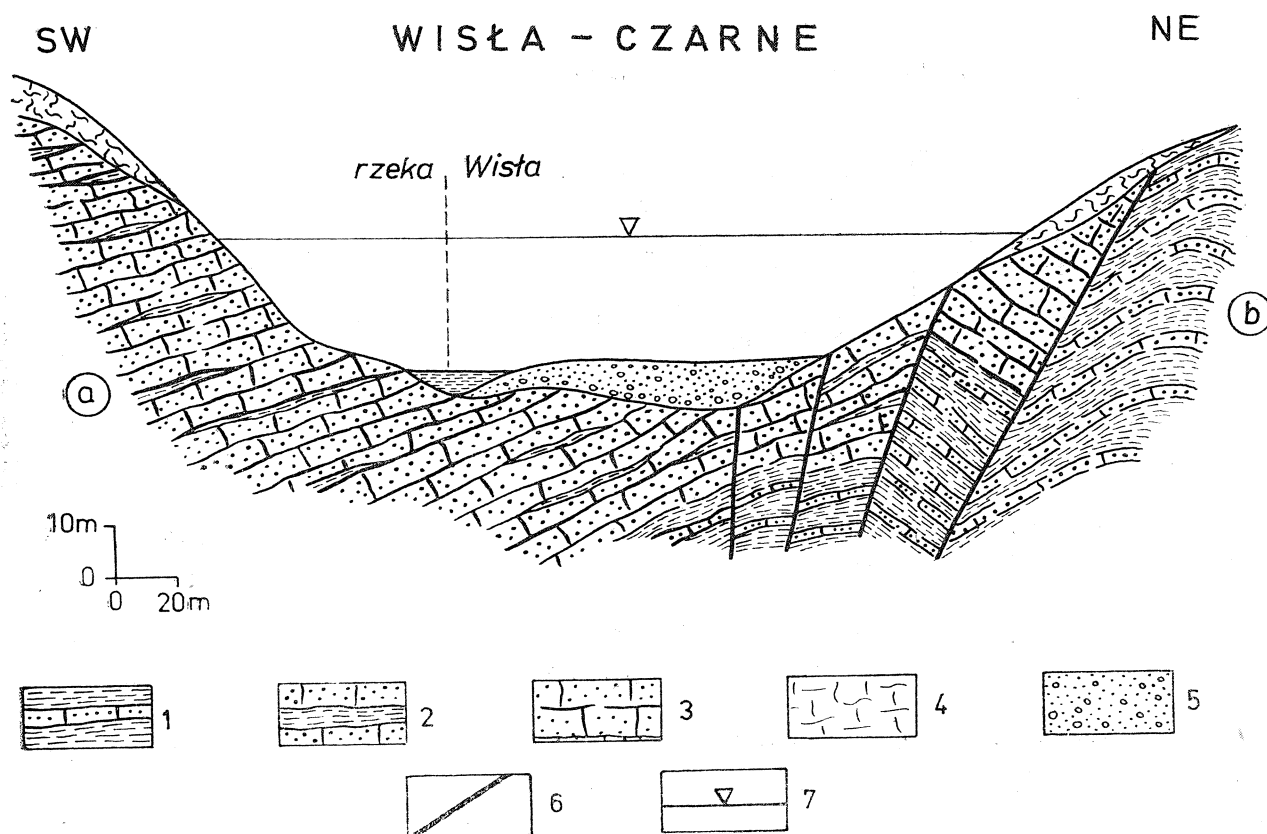


Fig. 2. Schematyczny przekrój doliny Wisły w miejscowości Wisła-Czarne. 1 — flisz łupkowy; 2 — flisz normalny; 3 — flisz piaszczysty; 4 — glina zwietrzelinowa; 5 — osad rzeczny; 6 — uskoki; 7 — przewidywana wysokość piętrzenia rzeki; a — warstwy istebniańskie dolne; b — warstwy godulskie górne

Fig. 2. Schematic geological section of the Wisła-Czarne. 1 — shaly flysch; 2 — normal flysch; 3 — sandy flysch; 4 — residual clay; 5 — fluvial deposits; 6 — faults; 7 — maximum water surface; a — Lower Istebna Beds (Upper Senonian); b — Upper Godula Beds (Senonian)

i w dnie doliny, gdzie przykryte są warstwami istebniańskimi występującymi w całym przekroju (fig. 2). Kontakt warstw godulskich i istebniańskich na prawym zboczu, jak wykazały późniejsze badania, jest po części tektoniczny. Całość stanowi fragment północnego skrzydła synkliny Baraniej Góry (Burtanówna, Konior, Książkiewicz, 1937), zapada pod kątem 25—35° w kierunku SW i zaburzona jest dyslokacjami oraz wtórnym zafałdowaniem.

W początkowej fazie rozpoznania badania wodochłonności przeprowadzono w 12 otworach usytuowanych w 3 poprzecznych przekrojach.

Skrajne wartości wodochłonności jednostkowej w nawiązaniu do głębokości i stratygrafii oraz średnie arytmetyczne wartości (podane w nawiasach) zestawiono w tabeli 1. Jak widać, w dnie doliny strefy szczelne stwierdzono już na głębokości 20—30 m, szczególnie w warstwach godulskich. Na lewym zboczu szczelność pojawiła się nieco głębiej, bo na około 40 m, choć nie w każdym otworze. Na prawym zboczu doliny warstwy istebniańskie do głębokości 30 m odznaczały się dużą wodochłonnością,

Table 1

Dolina Wisły, Wisła valley (Wisła-Czarne)

Głębokość Depth m	Porównawcza wodochłonność jednostkowa Water capacity				
	lewe zbocze left wall	dno doliny valley floor		prawe zbocze right wall	
	warstwy istebniańskie Istebna B.	warstwy istebniańskie Istebna B.	warstwy godulskie Godula B.	warstwy istebniańskie Istebna B.	warstwy godulskie Godula B.
-15	0,097 ₁	0,153 ₁	0,028 ₁	0,133 ₁	0,088-0,226 (0,156) ₄
15-20	0,070-0,120 (0,089) ₃	0,066-0,157 (0,111) ₂	0,031-0,089 (0,060) ₂	0,150 ₁	0,040-0,098 (0,068) ₆
20-30	0,056-0,117 (0,082) ₄	0,020-0,112 (0,079) ₅	0,017-0,065 (0,040) ₄	0,102 ₁	0,058-0,84 (0,070) ₃
30-40	0,010-0,114 (0,066) ₃	0,026-0,080 (0,057) ₃	-	-	0,048-0,091 (0,069) ₂
40-50	0,081 ₁	0,080 ₁	0,000 ₁	-	-

natomiast nieco lepszą szczelność stwierdzono tu w warstwach godulskich.

Według późniejszych badań, jak podają W. J a w a ń s k i i K. T h i e l (1971), okazało się, że na prawym zboczu wymaganą szczelność osiągnięto dopiero poniżej 60 m. Było to związane z silnymi spękaniem tektonicznymi, o których wspomniano poprzednio. Wzmiankowani autorzy wykazują zależność zmniejszania się wodochłonności, a zatem i szczelinowatości fliszu od głębokości, co jest oczywiste, choć wydaje się nie decydujące przy tak małym zasięgu głębokości. Szczególnie interesujące byłoby prześledzenie, jak głęboko sięgają drożne szczeliny i jakie inne czynniki poza głębokością o tym decydują, a także zaobserwowanie przyczyn wywołujących zmiany szczelinowatości w wydzielonych strefach. Próbuując choćby częściowo wyjaśnić te problemy, porównano wodochłonności jednostkowe uzyskane wyłącznie w piaskowcach z wynikami badań wykonanych

wyłącznie w łupkach warstw godulskich w podobnych przedziałach głębokościowych. Wszystkie wyniki pochodziły z otworów usytuowanych na prawym zboczu doliny w analogicznych warunkach tektonicznych (tabela 2).

Table 2

Warstwy godulskie, Godula Beds
(Wisła-Czarne)

Głębokość Depth m	Porównawcza wodochłonność jednostkowa Water capacity	
	p i a s k o w c e s a n d s t o n e s	ł u p k i s h a l e s
do 15	0,124 ; 0,186 (0,155) 2	0,088 ; 0,226 (0,157) 2
15 - 25	0,049 ; 0,098 (0,073) 2	0,098 ; 0,008 0,040 ; 0,041 (0,064) 4
25 - 30	-	0,058 ; 0,084 0,069 (0,070) 3
30 - 40	(0,091 1	0,048 1

W wynikach nie można się dopatrzeć istotnych różnic wodochłonności związanych z litologią, a zatem nie zawsze jest ona czynnikiem decydującym o takiej lub innej wodochłonności.

Przyborów

Dolina rzeki Koszarawy (prawy dopływ Soły) w miejscu projektowanej zapory jest również asymetryczna w profilu poprzecznym. Zbocze prawe jest łagodne, lewe zaś stosunkowo strome. Pokrywa czwartorzędu posiada zmienną miąższość, przeciętnie waha się w granicach 3—4 m, choć lokalnie może dochodzić do 13 m.

W podłożu występują utwory serii magurskiej wieku kredowo-paleogeńskiego, reprezentowane do przebadanej głębokości przez cztery ogniw stratygraficzne: warstwy inoceramowe, pstre łupki, piaskowce ciężkowickie oraz warstwy hieroglifowe. Są to w przeważającej części skały „subfacji” fliszu łupkowego.

Większe kompleksy piaszczyste występują w warstwach inoceramowych i piaskowcach ciężkowickich. Całość stanowi odwrócone skrzydło obalonej na N antykliny, określanej jako fałd Krzyżowej (W. Sikora i K. Żytko, 1959). Kąt zapadania warstw jest w granicach 20—60° ku

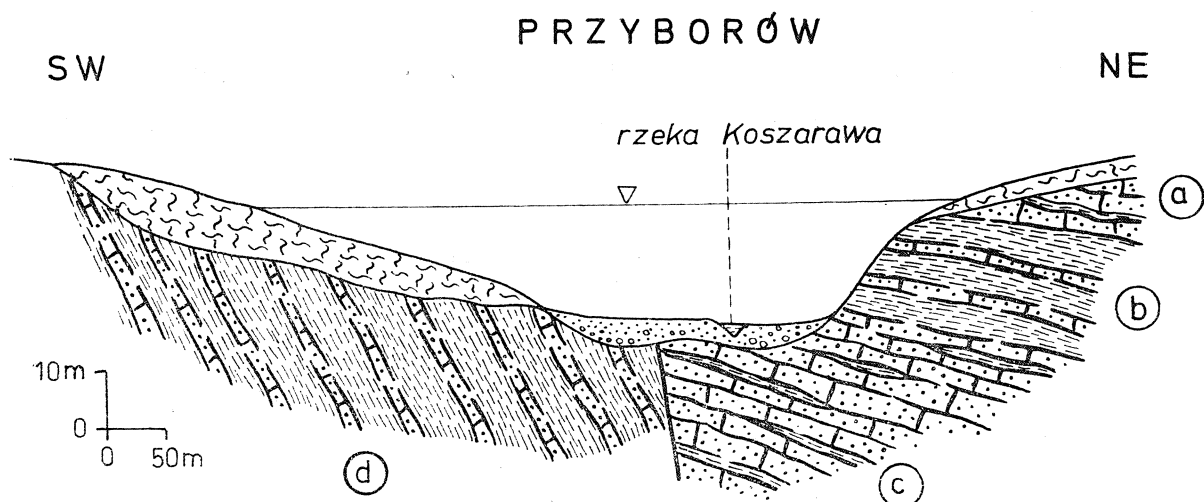


Fig. 3. Schematyczny przekrój geologiczny doliny Koszarawy w okolicy Przyborowa. a — warstwy inoceramowe; b — pstre łupki; c — piaskowce ciężkowickie; d — warstwy hieroglifowe. Inne symbole jak na fig. 2

Fig. 3. Schematic geological section of the Koszarawa valley near Przyborowice. a — Inoceramian Beds (Senonian); b — Variegated Shales; c — Ciezkowice Sandstone (Eocene); d — Hieroglyphic Beds (Eocene). For other symbols see Fig. 2

Table 3

Dolina Koszarawy, Koszarawa valley
(Przyborów)

	Głębokość Depth m	Porównawcza wodochłonność jednostkowa Water capacity		
		lewe zbocze left wall	dno doliny valley floor	prawe zbocze right wall
Warstwy hieroglifowe Hieroglyphic Beds	do 15	0,096-0,180 (0,168) 2	-	-
	15 - 30	0,004-0,087 (0,037) 5	-	-
Piaskowce ciężkowickie dolne i górne Pstre łupki Upper and Lower Ciezkowice Sds Variegated Shales	do 15	-	0,072-0,170 (0,121) 2	-
	15 - 30	-	0,012 1	-
Warstwy inoceramowe Inoceramian Beds	do 15	0,039-0,156 (0,097) 2	0,049-0,530 (0,242) 8	-
	15 - 30	0,002-0,196 (0,086) 6	0,055-0,099 (0,077) 2	0,010-0,012 (0,011) 2
	30 - 40	0,077-0,149 (0,113)	0,052 1	-

SE. Wzdłuż doliny przebiega dyslokacja o amplitudzie zrzutu do kilkadziesiąt metrów (fig. 3).

Badania wodochłonności wykonano tutaj w 14 otworach usytuowanych w dwóch przekrojach poprzecznych w stosunku do osi doliny i oddległych od siebie około 2 km. Uogólnione wyniki zestawiono w tabeli 3.

Jak widać, w warstwach inoceramowych na lewym zboczu doliny duże wodochłonności uzyskiwano jeszcze na głęb. 30—40 m, co niewątpliwie miało nie tylko związek z piaszczystym charakterem skał, lecz przede wszystkim z ich tektonicznym zaangażowaniem. Dowodzi tego duża szczelność niezaburzonych warstw inoceramowych na prawym zboczu już przy głębokości 15—30 m podobna jak w warstwach hieroglifowych, piaskowcach ciężkowickich i w pstrych łupkach.

Sułkowice

Dolina potoku Wieprzówka w miejscu projektowanej zapory wykazuje jeszcze większą asymetrię. Prawy brzeg jest wysoki i bardzo stromy, lewy zaś łagodny i niski.

Podłoże doliny zostało wyerodowane w warstwach lgockich wieku kredowego jednostki śląskiej. W przekroju zapory wydzielono lokalnie dwa kompleksy, które reprezentują „subfację” wykazującą cechy fliszu piaszczystego i łupkowego. Flisz piaszczysty charakteryzuje obecność ławic piaskowców o miąższości dochodzącej do 1,5 m z cienkimi wkładkami łupków od kilku centymetrów do 0,2 m.

Stosunek piaskowców do łupków wynosi od 5 : 1 do 12 : 1. Kompleks ten buduje górne partie obu zboczy powyżej rzędnej maksymalnego piętrzenia, a ku dołowi przechodzi w zespół cienko- i średnioławicowych piaskowców. Stosunek piaskowców do łupków jest tutaj jak 2 : 1. Zespół ten stwierdzono na prawym zboczu do głębokości 15 m poniżej rzędnej maksymalnego piętrzenia (fig. 4).

W niższej części oraz w dnie doliny i na prawym zboczu poniżej rzędnej piętrzenia występuje flisz łupkowy składający się z cienkoławicowych piaskowców i łupków o grubości 0,1 — 0,2 m. Stosunek piaskowców do łupków wynosi jak 1 : 2, a często nawet 1 : 4. Piaskowce są przeważnie drobnoziarniste o spoiwie wapiennym i krzemionkowym. Są one silnie spękane w strefie wietrzenia i rozpadają się kostkowo lub pryzmatycznie. Zaznaczają się dwa kierunki spękań: jeden przeważający o azymucie 160—175° i drugi mniej częsty o azymucie 90—110°. Całość warstw zapada pod kątem 15—20° na SE.

W osi zapory poza małymi dyslokacjami o amplitudzie zrzutu 1—3 m, nie stwierdzono większych zaburzeń tektonicznych. Skały fliszu w podłożu projektowanej zapory są praktycznie szczelne już na głębokości 15—25 m licząc od stropu, gdyż miejscami miąższość pokrywy czwartorzędu dochodzi do 15 m (fig. 4). Jednakże na lewym zboczu na głęboko-

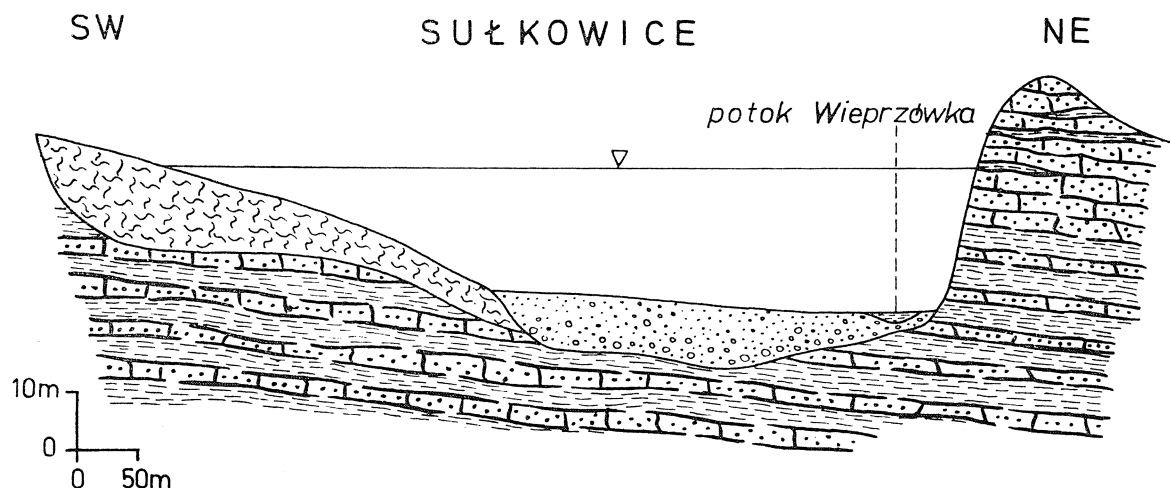


Fig. 4. Schematyczny przekrój geologiczny warstw lgockich w dolinie Wieprzówki koło Sułkowic. Objaśnienia znaków na fig. 2

Fig. 4. Schematic geological section of the Lgota Beds (Albian) in the Wieprzówka valley, near Sułkowice. For explanation of symbols see Fig. 2

Warstwy lgockie, Lgota Beds
(Sułkowice)

Table 4

Głębokość Depth m	Porównawcza wodochłonność jednostkowa Water capacity		
	lewe zbocze left wall	dno doliny valley floor	prawe zbocze right wall
do 15	0,565 1	0,005-0,165 (0,055) 4	0,016-0,962 (0,304) 14
15 - 25	0,001-0,009 (0,004) 9	0,000-0,035 (0,008) 23	0,005-0,30 (0,018) 4
25 - 30	0,002-0,011 (0,0047) 4	0,000-0,015 (0,004) 13	0,001-0,024 (0,013) 4
30 - 40	0,003-0,01 (0,0073) 9	0,000-0,008 (0,001) 12	0,000-0,193 (0,039) 8
40 - 50	0,001-0,225 (0,040) 6	0,001-0,015 (0,008) 2	0,001-0,088 (0,032) 4
50 - 60	-	-	0,001-0,031 (0,010) 2

ści 40—50 m wykryto strefę spękań o stosunkowo wysokiej wodochłonności ($q > 0,1 \text{ l/min} \cdot \text{m} \cdot 0,1 \text{ atm}$). Podobna strefa znajduje się na prawym zboczu, na głębokości 30—40 m. Dopiero poniżej wodochłonność

jest znacznie mniejsza od 0,05 l/min. Uogólnione wyniki badań zestawiono w tabeli 4. Obrazują one brak współzależności pomiędzy wodochłonnością a głębokością przynajmniej w zasięgu do kilkudziesięciu metrów. Szczególnie dobrze ilustruje to jeden z otworów, gdzie ze wzrostem głębokości wzrasta wodochłonność.

Świnna Poręba

Dolina Skawy w miejscu projektowanej zapory w przeciwieństwie do poprzednich, posiada stosunkowo symetryczny przekrój poprzeczny. Oba zbocza są mniej więcej jednakowo wysokie i strome. Pokrywa czwartorzędu na zboczach posiada grubość w granicach 2,5—3,5 m, a w dnie doliny dochodzi do 7,5 m.

W podłożu występują górnokredowe warstwy istebniańskie — dolne i górne należące do jednostki śląskiej (płaszczowina godulska). Warstwy istebniańskie dolne budują w miejscu meandru prawe zbocze doliny. Jest to kompleks grubych, kilku do kilkunastumetrowych ławic piaskowcowych oraz mułowców i łupków. Stosunek piaskowców do łupków odpowiada „subfacji” fliszu normalnego.

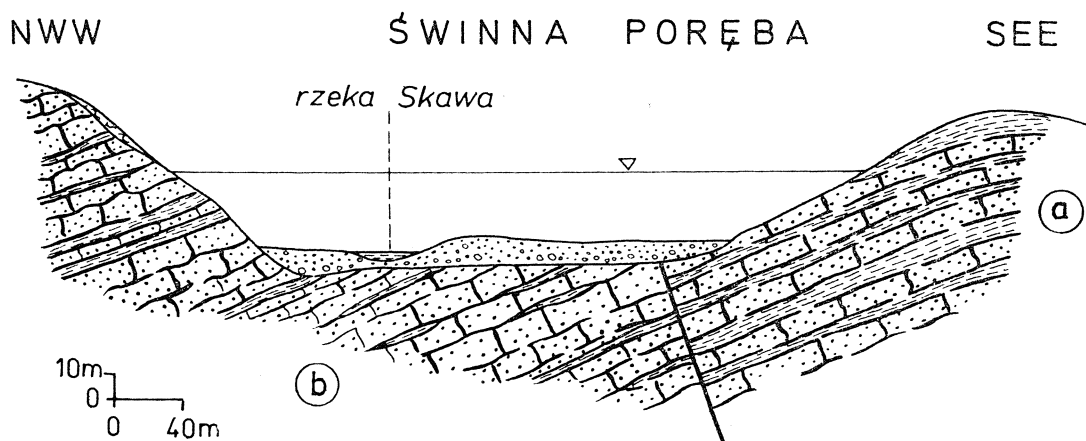


Fig. 5. Schematyczny przekrój geologiczny przez dolinę Skawy koło Świnnej Poręby. a — warstwy istebniańskie górne; b — warstwy istebniańskie dolne. Objaśnienia innych symboli na fig. 2

Fig. 5. Schematic geological section in the Skawa valley near Świnna Poręba. a — Upper Istebna Beds (Paleocene); b — Lower Istebna Beds (Upper Senonian). For other symbols see Fig. 2

Warstwy istebniańskie górne budujące dno doliny Skawy i lewe jej zbocze mają wykształcenie typowe dla fliszu piaszczystego. Są to przeważnie gruboławicowe i gruboziarniste lub zlepieńcowate piaskowce z wkładkami ławic łupkowych o grubości 0,2—1,0 m. Dominują dwa systemy spękań o kierunku 110° i prostopadły do niego oraz kierunek o azymucie 235° i zbliżony do prostopadłego kierunek 290° . Całość warstw zapada pod kątem $30\text{--}35^\circ$ na SSW tworząc południowe skrzydło antykliny (M. Książkiewicz, 1951). Dnem doliny w pobliżu prawe-

go zbocza przebiega dyslokacja, z którą wiąże się strefa silnych spękań. W skrzydle zrzuconym wyerodowane jest lewe zbocze i część dna doliny, co widać na fig. 5.

Badania wodochłonności wykonano tutaj tylko w 3 otworach (29 stref). Wodochłonność jednostkową przy ciśnieniu 3 atm ilustruje tabela 5.

Table 5

Warstwy istebniańskie, Istebna Beds
(Swinna Poręba)

Głębokość Depth m	Wodochłonność jednostkowa przy ciśn. = 3 atm Water capacity (pressure = 3 atm)		
	lewe zbocze left wall	dno doliny valley floor	prawe zbocze right wall
do 15	0,700	-	-
15 - 20	0,500	0,030	0,112
20 - 30	0,084-0,550	0,003-0,030	0,024-0,055
30 - 40	0,050	0,002-0,004	-
40 - 50	0,024-0,110	0,004	0,055-0,083
50 - 60	0,011	0,001	0,210
60 - 65	-	-	0,015

W dnie doliny dużą szczelność skał stwierdzono już od głębokości 15 m, natomiast na lewym zboczu strefa szczelności występuje poniżej 50 m, a na prawym, bardziej łupkowym, dopiero poniżej 60 m.

Stróża

Dolina rzeki Raby między Stróżą a Myślenicami, gdzie wytypowano dwa obszary na lokalizację zapory, wykazuje w obydwóch obszarach asymetrię w przekroju poprzecznym. Zbocze lewe jest wysokie i strome, prawe zaś niższe i o wiele łagodniejsze. Miąższość pokrywy czwartorzędu w dnie doliny wynosi 3—6 m, na lewym zboczu 1—4 m, na prawym waha się w granicach 2—10 m.

Dolina wyerodowana została w skałach fliszowych należących do serii magurskiej, wśród której wyróżnia się pięć ogniw stratygraficznych wieku kredowo-paleogeńskiego. Są to: warstwy inoceramowe, pstre łupki, piaskowce ciężkowickie, warstwy hieroglifowe i piaskowce pasierbieckie. Do „subfacji” fliszu piaszczystego należą warstwy inoceramowe, piaskowce ciężkowickie i pasierbieckie. Typowy flisz łupkowy reprezentują warstwy hieroglifowe. Utworem ilastym są pstre łupki.

Obraz tektoniczny doliny jest tu bardzo złożony na skutek dyslokacji

ciągłych i uskokowych. Piaskowce ciężkowickie, pstre łupki oraz warstwy inoceramowe budujące lewe zbocze tworzą fałd obalony będący dygitacją płaszczowiny magurskiej, dodatkowo zaburzony uskokami. Całość warstw zapada pod kątem $30\text{--}50^\circ$ na S. W dnie doliny, gdzie dominują warstwy inoceramowe, przeważa tektonika ciągła, w której wyniku nastąpiła silna undulacja warstw. Większych dyslokacji nie stwierdzono tutaj, aczkolwiek nie można ich wykluczyć. Warstwy hieroglifowe i piaskowce pasierbieckie na prawym zboczu doliny tworzą złuszkowane siodło pocięte szeregiem uskoków równoległych i prostopadłych do dna doliny. Stworzyło to predyspozycję do osuwisk strukturalnych, które spowodowały dodatkowe rozluźnienie górotworu.

Uogólnione wyniki badań wodochłonności jednostkowej przy ciśnieniu porównawczym 2—3 atm wykonano w 15 otworach i w 146 strefach, tabela 6.

Dzięki słabszemu zaangażowaniu tektonicznym piaszczysty kompleks warstw inoceramowych w dnie doliny wykazuje znaczną szczelność już poniżej głębokości 25 m. Pewne spękania górotworu pojawiły się ponownie w głębokości 30—50 m (maksymalne wodochłonności w tabeli 6), lecz w pobliżu zbocza prawego, co niewątpliwie wiąże się z zaburzeniami tektonicznymi po tej stronie doliny.

Utwory o podobnym składzie litologicznym na zboczu prawym wykazują szczelność na głębokości większej od 70 m, na lewym zaś dopiero poniżej 90 m, przy czym obserwuje się naprzemianległość stref szczelnych i wodochłonnych, co zapewne ma związek ze spękaniem górotworu, wywołanymi przyczynami tektonicznymi. Utwory łupkowe (pstre łupki i warstwy hieroglifowe), które ze względu na charakter litologiczny są nieprzepuszczalne, tu jednak stają się skałą przepuszczalną wskutek spękań. W utworach tych szczelność zaobserwowano dopiero poniżej 60 m na prawym i 85 m na lewym zboczu.

Dobczyce

Przełomowy odcinek Raby w przekroju Dobczyc wykazuje również wyraźną asymetrię. Zbocze prawe jest strome i wysokie, natomiast lewe jest znacznie niższe i płaskie. Pokrywa czwartorzędu na zboczu prawym jest nieciągła i średnio ma 1—3 m grubości. Nieco grubsza, do 5 m, jest ona w przekroju osiowym zapory po stronie przeciwnej. W dnie doliny wynosi średnio 6 m.

Podłoże stanowią skały płaszczowiny śląskiej wieku kredowego, a reprezentowane przez łupkowe warstwy godulskie i warstwy istebniańskie dolne wykształcone jako gruby kompleks piaszczysty, przeważnie gruboławicowych i gruboziarnistych piaskowców, często zlepieńców i żwirowców o spoiwie ilastym. Towarzyszą im czarne mułowce, które osadzały się przez spływy piaskowe, przemieszczane w postaci podmorskich lawin

Table 6

Dolina Raby, Raba Valley /Stróża/

Interwał głębokości m depth	Porównawcza wodochłonność jednostkowa - Water capacity							
	Lewe zbocze - left wall			Dno doliny valley floor		Prawe zbocze - right wall		
	pstre łupki varieg. shale	piaskowce ciężkowite sandstone	warstwy inoceramowe Inoceramian Beds	warstwy inoceramowe Inoceramian Beds	warstwy inoceramowe Inoceramian Beds	piaskowce pasierbieckie Pasierbiec sandstone	warstwy hieroglifyowe Hieroglyphic Beds	warstwy inoceramowe Inoceramian Beds
do 15	0,102-0,247 /0,174/ 2	0,065-0,730 /0,270/ 7	0,195 1	0,217-0,265 /0,241/ 2	0,217-0,265 /0,241/ 2	0,031-1,240 /0,793/ 4	-	-
15-25	-	-	-	0,038-0,717 /0,240/ 6	0,038-0,717 /0,240/ 6	0,027-0,964 /0,270/ 9	-	-
15-30	-	0,056-1,310 /0,690/ 14	0,163 1	-	-	-	-	-
20-30	-	-	-	-	-	-	0,006-0,016 /0,070/ 3	-
25-30	-	-	-	0,011-0,103 /0,040/ 4	0,011-0,103 /0,040/ 4	0,046-2,190 /0,718/ 6	-	-
30-40	-	0,285-0,800 /0,521/ 6	0,485-1,773 /1,129/ 2	0,001-0,242 /0,077/ 4	0,001-0,242 /0,077/ 4	0,017-0,438 /0,234/ 5	0,019-0,155 /0,110/ 7	0,242 1
40-50	-	0,010-0,976 /0,413/ 5	0,001 1	0,001-0,299 /0,107/ 4	0,001-0,299 /0,107/ 4	0,024-0,187 /0,105/ 2	0,061-0,256 /0,148/ 6	0,127-0,417 /0,272/ 2
50-60	-	0,123-0,485 /0,340/ 4	1,840 1	0,027-0,237 /0,102/ 3	0,027-0,237 /0,102/ 3	0,107-0,230 /0,138/ 2	0,028-0,126 /0,060/ 6	0,079 1
60-70	-	0,019-0,870 /0,381/ 4	0,779-0,845 /0,811/ 2	-	-	0,063 1	-	0,066-0,123 /0,095/ 2
70-80	0,013-0,085 /0,049/ 2	0,042-0,400 /0,362/ 4	0,005-0,271 /0,138/ 2	-	-	0,003 1	0,005 1	0,013 1
80-90	0,043-0,585 /0,233/ 3	0,127 1	-	-	-	-	-	-
90-95	-	0,004 1	-	-	-	-	-	-

osuwiskowych (R. Unrug, 1963). Całość tworzy antyklinę, której północne skrzydło buduje podłoże projektowanej zapory.

Na głębokości 70—80 m w dnie doliny i na lewym zboczu występują wyłącznie warstwy istebniańskie dolne zapadające pod kątem 30—50° na NW, a na zboczu prawym spod warstw istebniańskich wychodzą warstwy godulskie górne. W omawianym rejonie nie stwierdzono wię-

Table 7

Dolina Raby, Raba valley (Dobczyce)

	Głębokość Depth m	Porównawcza wodochłonność jednostkowa Water capacity			
		lewe zbocze left wall	dno doliny valley floor	prawe zbocze - right wall	
					warstwy godulskie Godula B.
warstwy isteb- niańskie dolne Lower Istebna Beds	do 15	0,002-0,018 (0,013) 4	0,037-1,260 (0,335) 5	0,010-0,308 (0,200) 3	0,000 1
	15 - 25	0,005-0,014 (0,010) 5	0,005-0,483 (0,230) 8	0,011-0,134 (0,032) 6	0,004-0,060 (0,026) 3
	25 - 30	0,006-1,050 (0,354) 3	0,036-0,152 (0,105) 3	0,002-0,052 (0,020) 3	0,014-0,70 (0,042) 2
	30 - 40	0,000-0,560 (0,160) 6	0,002-0,267 (0,053) 6	0,004-0,027 (0,008) 6	0,001-0,060 (0,021) 5
	40 - 50	0,002-0,221 (0,062) 4	0,002-0,585 (0,167) 6	0,002-0,068 (0,025) 6	0,001-0,020 (0,007) 4
	50 - 60	0,017-0,389 (0,217) 4	0,000-0,036 (0,010) 4	0,000-0,104 (0,022) 6	(0,026) 1
	60 - 70	0,022-0,240 (0,047) 4	0,004 1	0,001-0,234 (0,058) 6	0,001 1
	70 - 80	-	-	0,001-0,325 (0,163) 2	-

kszych zaburzeń tektonicznych. Uogólnione wyniki badań wodochłonności w 11 otworach (124 strefy) zestawiono w tabeli 7.

Prawe zbocze daje interesujący przykład, gdzie obok siebie występują dwa różne kompleksy: piaszczysty i łupkowy (warstwy istebniańskie i godulskie) o podobnym zaangażowaniu tektonicznym. Mimo różnic li-

tologicznych oba kompleksy cechuje zbliżona wodochłonność z wyjątkiem płytkiego interwału głębokości do 15 m, w którym zwietrzałe piaskowce stanowią bardziej wodochłonną skałę aniżeli łupki.

Kojsówka

Dolina Czarnego Dunajca w miejscu od dawna wytypowanym na zapórę przedstawia dość wyraźny przełom o asymetrycznym przekroju. Zbocze prawe jest wysokie i bardzo strome, natomiast lewe jest znacznie łagodniejsze. Pokrywa czwartorzędu na zboczu prawym nie jest ciągła, w najgrubszym miejscu nie przekracza 4 m, w dnie doliny wynosi 3—9 m, a na lewym zboczu waha się w granicach 5—7 m.

Podłoże budują średnio- i gruboławicowe piaskowce z łupkami ilasto-marglistymi warstw chochołowskich górnych wieku eoceńskiego, stanowiących środkowe ogniwo fliszu Podhala. Warstwy te wykazują cechy „subfacji” fliszu normalnego, gdyż stosunek piaskowców do łupków jest jak 1,2 : 1, choć zdarzają się grubsze pakiety bardziej łupkowe lub bardziej piaszczyste. Całość stanowi fragment południowego skrzydła synkliny ostryskiej (J. Gołąb, 1959) i zapadu ku N, tj. z biegiem rzeki pod kątem 15—20° (fig. 6).

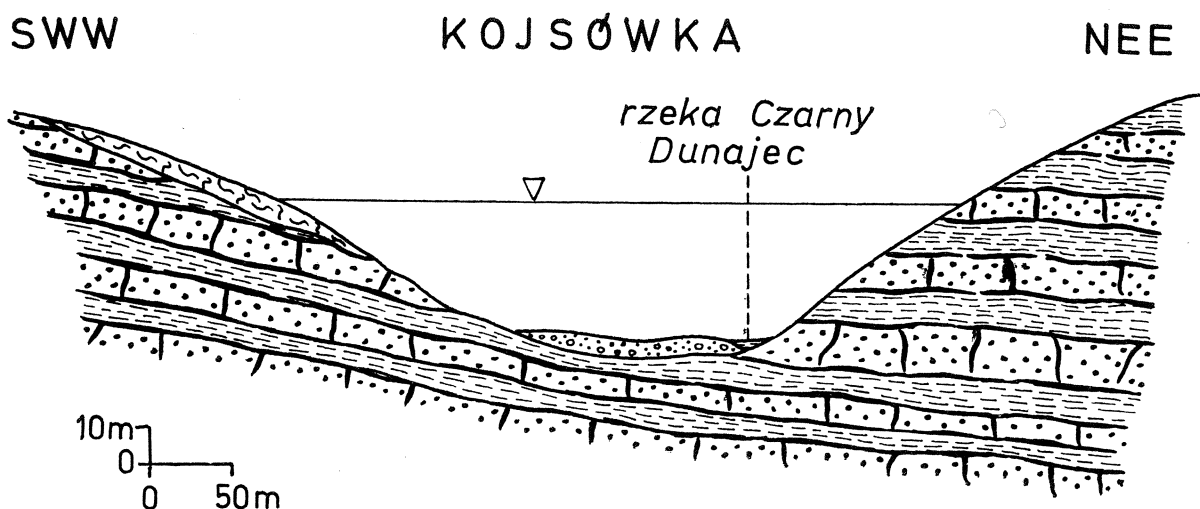


Fig. 6. Schematyczny przekrój geologiczny warstw chochołowskich w dolinie Czarnego Dunajca koło Kojsówki. Objaśnienia znaków na fig. 2

Fig. 6. Schematic geological section of the Chochół Beds (Eocene) in the Czarny Dunajec valley near Kojsówka. For explanation of symbols see Fig. 2

W rejonie osi projektowanej zapory nie stwierdzono większych dyslokacji tektonicznych, natomiast cały górotwór okazał się silnie spękany, szczególnie na lewym brzegu doliny. Robotami górniczymi stwierdzono, że rozwarte szczeliny o szerokości 2—20 cm sięgają do głębokości 6 m, głębiej — co najmniej do 10 m szerokość szczelin wynosi 1—3 cm. W pełni potwierdzają to badania wodochłonności wykonane w 17 otworach i 174 strefach (tabela 8).

Table 8

Warstwy chochołowskie górne
Upper Chochołów Sandstones
(Kojcówka)

Głębokość Depth m	Porównawcza wodochłonność jednostkowa Water capacity		
	lewe zbocze left wall	dno doliny valley floor	prawe zbocze right wall
do 15	-	0,102-1,870 (0,907) 4	0,024-0,900 (0,527) 8
15 - 20	0,503-1,398 (0,822) 4	0,499-1,190 (0,859) 4	0,204-0,630 (0,392) 8
20 - 30	0,096-1,200 (0,504) 9	0,412-1,132 (0,731) 8	0,099-0,538 (0,344) 16
30 - 40	0,072-0,694 (0,377) 10	0,067-1,350 (0,607) 11	0,004-0,851 (0,320) 16
40 - 50	0,033-0,376 (0,175) 6	0,039-1,230 (0,523) 9	0,000-0,315 (0,159) 17
50 - 60	0,009-0,710 (0,270) 7	0,000-0,589 (0,344) 5	0,001-0,289 (0,118) 13
60 - 70	0,004-0,398 (0,144) 7	0,000-0,600 (0,240) 4	0,012-0,210 (0,113) 6
70 - 75	-	0,009 1	0,051 1

Na prawym zboczu i w dnie doliny, w niektórych otworach strefę o zadowalającej szczelności udało się osiągnąć dopiero w interwale o głębokości 70—75 m, natomiast na lewym zboczu nie każdy otwór w końcowym odcinku potwierdził wymagane kryterium szczelności.

Tak głęboki zasięg skał silnie wodochłonnych nie jest prawdopodobnie przypadkowy, lecz wynika z odmiennego stylu tektonicznego fliszu podhalańskiego od fliszu Beskidów i związanej z tym szczelinowatości. Na Podhalu, jak podaje B. Halicki (1963), płaszczyzny ciosowe przecinają warstwy skalne prawie pionowo, a dodatkowo w strefach licznych drobnych uskoków ulegają zagęszczeniu tak, że partie skalne są „poszatutowane” spękaniem ciosowymi. Pewną rolę mogły również odegrać pionowe ruchy neotektoniczne, które doprowadziły do odprężenia górotworu do znacznej głębokości.

Besko

Dolina Wisłoka w miejscu projektowanej i przygotowanej do budowy zapory posiada charakter typowego kanionu o wysokich do 40 m ścianach. Grubość pokrywy czwartorzędowej jest nieznaczna, w dnie doliny wynosi około 1 m, na zboczach zaś ma od 2 do 4 m.

W podłożu zapory występują warstwy krośnieńskie należące do płaszczowiny śląskiej wykształcone w „subfacji” fliszu piaszczystego oraz łupkowego (fig. 7). Pierwszą odmianę tworzą gruboławicowe piaskowce występujące w kilkudziesięciometrowych kompleksach, drugą zespoły o podobnej grubości łupków ilastych, przeważnie marglistych z udziałem piaskowców od 5 do 25%.

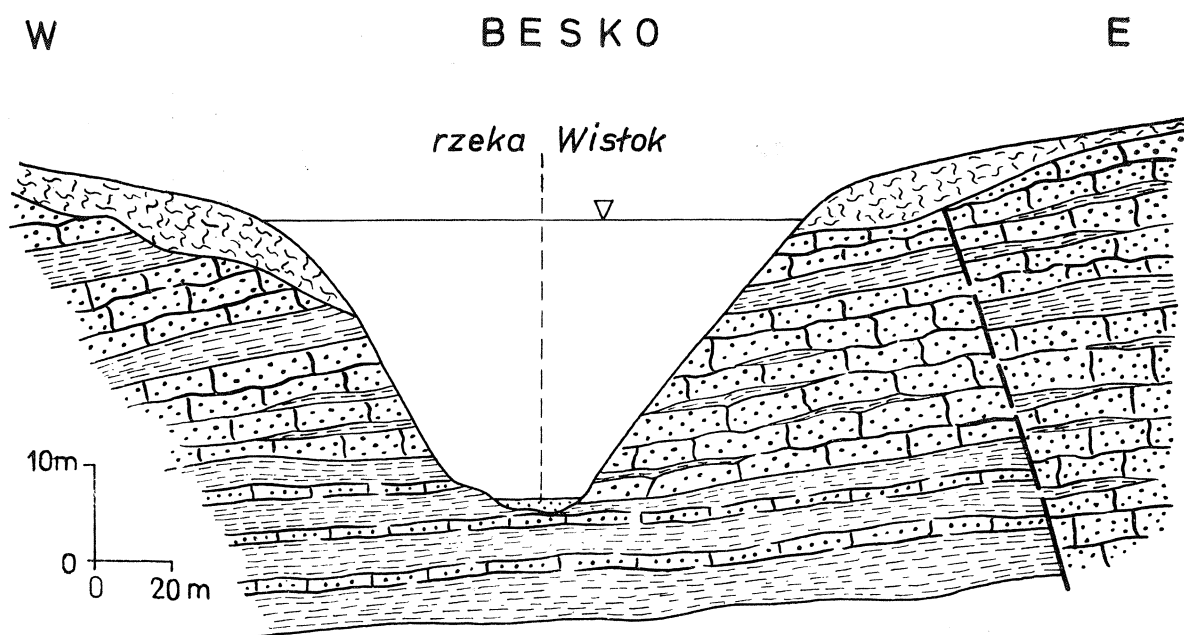


Fig. 7. Schematyczny przekrój geologiczny warstw krośnieńskich w dolinie Wisłoka koło Beska. Objaśnienie znaków na fig. 2

Fig. 7. Schematic geological section of the Krosno Beds (Oligocene) in the Wisłok valley near Besko. For explanation of symbols see Fig. 2

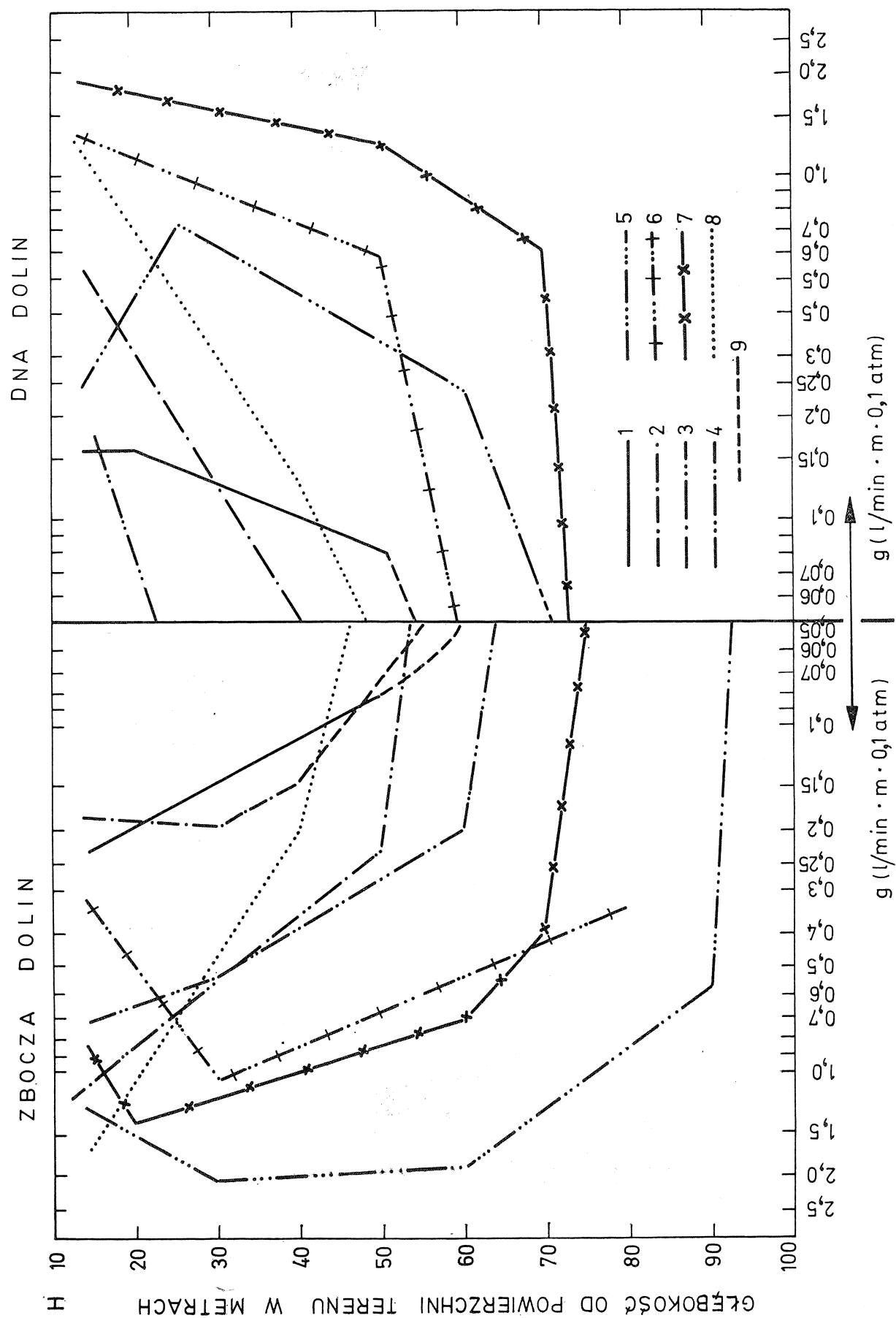
Całość wchodzi w skład tzw. fałdu Sieniawy, tj. potężnej łuski pozbawionej odwróconego skrzydła północnego. Upad warstw jest monoklinalny pod kątem $50-70^\circ$ na S. Stwierdzono nieznaczny stopień spękań górotworu oraz brak większych zaburzeń tektonicznych.

W tabeli 9 zestawiono wyniki badań wodochłonności wykonanych w 25 otworach i 172 strefach szeregując je osobno dla fliszu piaszczystego i osobno dla łupkowego. Okazało się, że niezależnie od różnic litologicznych istnieje duże podobieństwo między wodochłonnością jednostkową wydzielonych „subfacji”. W obu przypadkach górotwór w dnie doliny i na lewym zboczu jest wodoszczelny (wg średnich wodochłonności jednostkowych) już poniżej 20 m, a na zboczu prawym poniżej 30 m. Wprawdzie w niektórych otworach w głębszych interwałach uzyskiwano

Table 9

Warstwy krośnieńskie, Krosno Beds /Besko/

Interwał głębokości m depth	Porównawcza wodochłonność jednostkowa - Water capacity					
	Lewe zbocze - left wall		Dno doliny - valley floor		Prawe zbocze	
	flisz piaszcz. Sds Flysch	flisz łupkowy Shale Flysch	flisz piaszcz. Sds Flysch	flisz łupkowy Shale Flysch	flisz piaszcz. Sds Flysch	flisz łupkowy Shale Flysch
do 15	0,001-1,561 /0,308/ 8	0,070-0,475 /0,170/ 10	0,009-0,574 /0,163/ 6	0,004-1,060 /0,274/ 11	0,115-0,274 /0,203/ 7	0,232 1
15-20	0,009-0,038 /0,023/ 3	0,001-0,428 /0,157/ 6	0,071-0,134 /0,092/ 3	0,012-0,062 /0,038/ 4	0,010-0,450 /0,135/ 5	-
20-30	0,001-0,275 /0,044/ 8	0,000-0,030 /0,009/ 8	0,020-0,31 /0,025/ 2	0,003-0,107 /0,036/ 12	0,001-0,491 /0,128/ 9	0,055-0,237 /0,180/ 3
30-40	0,001-0,200 /0,033/ 8	0,001-0,067 /0,013/ 8	0,044-0,124 /0,072/ 3	0,005-0,014 /0,011/ 3	0,001-0,200 /0,040/ 6	0,000-0,053 /0,029/ 3
40-50	-	0,002-0,003 /0,002/ 3	0,041 1	-	0,001-0,011 /0,005/ 5	0,000-0,022 /0,007/ 4
50-60	0,001-0,005 /0,002/ 5	0,004 1	-	-	0,000-0,008 /0,003/ 7	0,007 1
60-70	0,001-0,035 /0,017/ 4	-	-	-	0,001-0,005 /0,003/ 3	0,002 1



jeszcze wodochłonności większe od $0,05 \text{ l/min} \cdot \text{m} \cdot 0,1 \text{ atm}$ (wartości maksymalne podane w tabeli 9), lecz już poniżej głębokości 40 m w całym przekroju doliny wszystkie wyniki były znacznie niższe.

Tak mały zasięg wodochłonnego fliszu ma niewątpliwie związek z brakiem większych zaburzeń tektonicznych, płytką strefą wietrzenia i odprężenia górotworu.

Wnioski

Analiza 840 wyników porównawczej wodochłonności jednostkowej, uzyskanych z ośmiu rejonów Karpat w różnych ogniwach stratygraficznych i w różnych odmianach litologicznych fliszu, skłania do wyciągnięcia ogólnych wniosków.

Wodochłonność w skałach fliszowych w miarę głębokości zmienia się naprzemian strefami o dużej i małej wodochłonności. Strefa największej wodochłonności występuje do głębokości 15 m, licząc od powierzchni terenu w siedmiu rejonach w obrębie dolin i w czterech rejonach na zboczach. Natomiast do 30 m głębokości sięga w Stróży w dolinie i na zboczach oraz na zboczach w Wiśle-Czarnem, w Dobczycach i Kojsówce.

Duża wodochłonność tej strefy wiąże się przede wszystkim z rozluźnieniem górotworu wywołanym procesami wietrzeniowymi. Potwierdzają to obserwacje przeprowadzone w wyrobiskach górniczych i na rdzeniach wiertniczych. Głębiej procesy wietrzeniowe nie oddziałują w istotny sposób na gęstość spękań, a tym samym na wielkość wodochłonności. Niekiedy duża wodochłonność w najpłytszej strefie może być również wywołana osuwiskami skalnymi i wówczas związana z tym strefa silnego rozluźnienia górotworu może dochodzić, jak na przykład na prawym zboczu doliny Raby w Stróży, nawet do głębokości 30 m.

W wielu przypadkach wykazano, że w głębszych partiach wzrost wodochłonności ma bezpośredni związek z zaburzeniami tektonicznymi, co sprawia, że na przemian występują strefy o podwyższonej wodochłonności i szczelne w miarę zbliżania się lub oddalania od dyslokacji, a niezależnie od wzrostu głębokości. W rezultacie tego nie ma ścisłej korelacji pomiędzy wodochłonnością a głębokością, przynajmniej w rozpatrywanym zasięgu do niespełna 100 m. Pewna współzależność pomiędzy tymi dwoma wielkościami występuje jednak wówczas, gdy uwzględnia się wyłącznie wartości ekstremalne spośród największych wodochłonności jednostkowych. Ilustruje to fig. 8, gdzie przedstawiono wykresy dla wszy-

Fig. 8. Zbiorczy wykres największych ekstremalnych wartości wodochłonności jednostkowej w obrębie zboczy i dna dolin

Fig. 8. Diagram of maximal values of water capacity. Left side — valley walls, right side — valley floor, H — depth in metres.

Miejscowości (Localities): 1 — Wisła-Czarne; 2 — Przyborów; 3 — Sułkowice; 4 — Świnna Poręba; 5 — Stróża; 6 — Dobczyce; 7 — Kojsówka; 8 — Besko; 9 — przypuszczalny przebieg krzywej (interpreted part of curve)

stkich badanych rejonów, osobno dla zboczy a osobno dla dolin, współzależność pomiędzy głębokością a skrajnie maksymalnymi wodochłonnościami jednostkowymi. Na wykresie widać, jak na zboczach w czterech rejonach poniżej 20—30 m stopniowo z głębokością maleją skrajnie największe wodochłonności, aby w interwale głębokości 75—95 m gwałtownie spaść do $0,05 \text{ l/min} \cdot \text{m} \cdot 0,1 \text{ atm}$, co odpowiada kryterium szczelności. W pozostałych czterech rejonach spadek wodochłonności jest szybszy, zaczyna się od głębokości 15 m i osiąga kryterium szczelności pomiędzy 45 m a 65 m głębokości. W dnie dolin we wszystkich rozpatrywanych rejonach z wyjątkiem Stróży skrajnie największa wodochłonność maleje wraz z głębokością począwszy od 15 m i osiąga kryterium szczelności w szerokim interwale głębokości od 25 m do 75 m z reguły płycej o kilka do kilkudziesięciu metrów, aniżeli na zboczach. Ta różnica głębokości w zasadzie odpowiada różnicy wzniesień pomiędzy dnem doliny a usytuowaniem otworu badawczego na zboczu.

W kilku rejonach nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wodochłonnością w odmiennych pod względem litologicznym „subfacjach” fliszów piaszczystego i łupkowego. W obu odmianach w podobnych warunkach tektonicznych wyniki wodochłonności były zbliżone. Nie wyklucza to jednak możliwości, aby np. łupki wykazujące tendencje do pęcznienia wykazywały mniejszą wodochłonność. Problem ten nie został dotąd dostatecznie wyjaśniony.

Warto zwrócić uwagę, że badania wodochłonności, wykonywane w celu ustalenia głębokości przesłony wodoszczelnej w podłożu projektowanych zapór, dostarczają również informacji co do potencjalnej głębokości strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Autor skłania się do przyjęcia za dolną granicę tej strefy głębokość, na której największa wodochłonność jednostkowa spada do wartości $0,05 \text{ l/min} \cdot \text{m} \cdot 0,1 \text{ atm}$, odpowiadającej w przybliżeniu współczynnikowi filtracji typu szczelinowego rzędu 10^{-7} m/s . W tym aspekcie z dokonanych zestawień wynika, że racjonalna głębokość poszukiwania we fliszu karpackim wody do picia wynosi w obrębie dolin rzecznych przeciętnie 30—60 m, a na ich zboczach 45—80 m, przy czym większe wartości odpowiadają wyżej położonym otworom. Powyższymi głębokościami będzie odpowiadać optymalny zasięg wierceń studziennych, którego przekraczanie nie poprawi, lecz może nawet pogorszyć warunki eksploatacji.

W omawianych rejonach zwierciadło wody podziemnej znajdowało się w dolinach zaledwie kilka metrów pod powierzchnią terenu, a na zboczach na głębokości od kilkunastu do 30 m w zależności od położenia wysokościowego otworu.

Stosowane od kilkudziesięciu lat badania wodochłonności w celu określenia szczelności skał mają dużą zaletę, gdyż dają wyniki ilościowe porównywalne z sobą pod warunkiem zachowania jednolitej metodyki ba-

dań. Do wad natomiast należą: duża przypadkowość w doborze odcinków badawczych, co rzutuje na wartość uzyskiwanych wyników, możliwość naruszenia naturalnych warunków poprzez niewłaściwy dobór ciśnień i niemożliwość osiągnięcia miarodajnych parametrów filtracyjnych skał.

Wydaje się, że dalszy postęp w doskonaleniu metod badawczych podłoża zapór powinien zmierzać do wyeliminowania wymienionych wad poprzez określenie parametrów filtracyjnych metodą ruchu nie ustalonego, szersze wprowadzenie geofizycznych badań karotażowych i zdjęć fotograficznych ścian otworów w celu określenia stopnia spękania górotworu i zlokalizowania szczelin. Pozwoliłoby to ograniczyć pomiary wodochłonności do reprezentatywnych odcinków, skróciłoby czas badań przy równoczesnym podniesieniu jakości wyników.

Politechnika Krakowska
Instytut Geotechniki
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

WYKAZ LITERATURY REFERENCES

- Bilik M. (1967), Přehrady v karpatském flyši na Moravě. *Vodni hospodarstvi* nr 8/67, Praha.
- Burtanówna J., Konior K., Książkiewicz M. (1937), Mapa geologiczna Karpat śląskich, wyniki badań i objaśnienie do mapy. PAN Kraków.
- Dźułyński S., Smith A. (1964), Flisz jako facja. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 34, 1—2, Kraków.
- Głodek J. (1965), Katastrofy i awarie zapór wywołane warunkami geologicznymi, *Prz. geol.* 4, Warszawa.
- Gołąb J. (1959), Zarys stosunków geologicznych fliszu zachodniego Podhala. *Biul. Państw. Inst. Geol.* 149, Warszawa.
- Halicki B. (1963), Tektonika Podhala. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 33, 1—3, Kraków.
- Jawański W. (1965), Warunki porównywalności wyników badań wodochłonności skał. *Prz. geol.* 3, Warszawa.
- Jawański W., Thiel K. (1971), Zagadnienie optymalizacji prac uszczelniających w podłożu zapór posadowionych na fliszu Karpackim. *Gosp. Wodna* 6, Warszawa.
- Kratochvíl S. (1967), Problematika přehrad ve flyšové oblasti. *Vodni hospodarstvi* 8/67. Praha.
- Książkiewicz M. (1951), Objasnienie arkusza Wadowice. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- Mencel V. (1967), Nektere otázky zakladani přehradnich staveb ve flyšových horninách. *Vodni hosp.* 8/67.
- Muchowski J., Stochlak J. (1965), Analiza wpływu przeprowadzania badań wodochłonności skał litych na ich wyniki dla potrzeb inżyniersko-geologicznych. *Prz. geol.* 2, Warszawa.
- Sikora W., Żytko K. (1959), Budowa Beskidu Wysokiego na południe od Żywca. *Biul. I.P.* 141, Warszawa.
- Unrug R. (1963), Warstwy istebniańskie — studium sedimentologiczne. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 33, 1—3, Kraków.

Woznica L. (1967), Inženýrskogeologické rajonování karpatského flyše Moravy z hlediska vystavby přehrad. *Vodní hospodářství* 8/67, Praha.

Hydrogeo, Dokumentacje geologiczno-inżynierskie do projektów zapór: Wisła—Czarne, Przyborów, Sułkowice, Świnna Poręba, Stróża, Dobczyce i Besko — materiały maszynopiśmienne — Kraków.

Przedsięb. Hydrogeologiczne, Dokumentacje geologiczno-inżynierskie do projektu zapory w Kojśówce — maszynopis — Kraków.

SUMMARY

The present paper deals with water capacity tests in sandstones and shales of the Polish flysch Carpathians. The tests were carried out in eight areas marked in Fig. 1.

The geological and tectonic conditions of the areas under investigation are illustrated in figures 2—7.

The "water capacity" is, according to the author, the amount of water pumped into 3—5 m boring section (zone) under the pressure of 2 atmospheres, measured in litres per minute per 1 metre of section length and per 0,1 atmosphere.

The results of water capacity tests obtained in respective regions are presented in Tables 1—9.

There has been searched a connection of water capacity with lithology, tectonic conditions and the depth within the range up to 100 metres below the land surface. The above dependences were analysed separately on slopes of valleys and on their floors. Water capacity tests carried out in 840 zones lead the author to the following conclusions.

The greatest water capacity occurs at a depth of 15 metres from the land surface (up to about 9—10 metres below the Quaternary cover). It results from a thick network of rock formation fissuring, caused by weathering processes. At greater depths the weathering processes rather do not influence the thickness of rock fissuring. The thick network of fissuring and great water capacity connected with it may reach up to 30 metres in depth in case deep rock slides occur there.

It has been shown in many cases that the quantity of water capacity is closely connected with tectonics, below a depth of 15 metres and rarely 30 metres. The water capacity is great near dislocation and it diminishes while carrying away from the latter. As a result of it, there is no close correlation between water capacity and depth. However, the extremely greatest values of water capacity decrease while the depth increases; it happens both on valley floors and on their slopes (see Fig. 8). The figure shows that in four regions the water capacity value diminishes very slowly with the depth, and only in the interval between 75 and 95 metres in depth it rapidly falls and reaches the value of 0,05

l/min · m · 0,1 atm. This value corresponds to the criterion of watertightness of rocks, assumed in the present work. In the four remaining regions on slopes of valleys the value of water capacity decreases faster with the depth and it reaches the criterion of watertightness between 45 and 65 metres in depth. On the floor of valleys the extremely greatest values of water capacity gradually reach the criterion of watertightness in a wide interval from 25 to 75 metres in depth below the territory surface.

The author presents the opinion that water capacity smaller than 0,05 l/min · m · 0,1 atm. is characteristic of practically impervious rocks. The calculation of boundary below which water capacity is smaller than 0,05 l/min · m · 0,01 atm. allows a determination of parameters for watertight screens in hydrotechnic constructions, as well as of the optimum depth of a drinking water well. The optimum depth of a well in the Carpathians should amount from 30 to 60 metres on the floor of valleys and from 45 to 80 metres on their walls. It has been found out in some regions that water capacity is alike in "subfacies" of sandy and shaly flysch, occurring in similar tectonic conditions.

translated by E. Smolak

*Institute of Technology
Department of Geotechnics
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, Poland*