

Józef CHOWANIEC¹

**STREFOWO ZAWODNIENIA W PROFILU PIONOWYM
FLISZU PODHAŁA SKIEGO W WIELTLE BADA WODOCHONNO CI**

(z 3 fig.)

**THE ZONES OF WATER PERMEABILITY WITH DEPTH IN THE FLYSCH
DEPOSITS OF PODHALE IN THE LIGHT OF EXAMINATION
OF WATER-STORAGE CAPACITY**

(with 3 Figs.)

Abstract. The paper presents the analysis of the variability of water permeability with depth in the flysch deposits in the region of the Podhale Basin (Inner Carpathians). In the light of the performed studies it has been stated that the fractured and permeable 80–100 m thick zone is very important for the water flow in the rocks of the Podhale flysch. The thickness of this zone is diversified and depends mainly on lithologic development of the flysch deposits and on their morphological position. In the shale Szaflary and Zakopane Beds (also beds from Brzegi) its thickness reaches only 30–50 m while in the sandstone Chochołów Beds — 80–100 m. The obtained results are comparable with the regional statistic evaluation of such data from the region of the Outer Carpathians.

Key words: specific water-storage capacity, hydrogeological parameters, water active exchange zone, Podhale flysch.

Abstrakt. W pracy przeanalizowano zmienno – szczelinowato ci z g ł boko ci w utworach fliszowych na terenie niecki podha ł skiej (Karpaty wewn trzne). Stwierdzono, e dla przepływu wód w ska łach fliszu podha ł skiego znaczenie ma sp kana i przepuszczalna strefa o mi szo ci dochodz eej do 80–100 m. Mi szo tej strefy nie jest jednorodna i zale y g łównie od wykształcenia litologicznego utworów fliszowych oraz po łoenia morfologicznego. W łupkowych warstwach szaflarskich i zakopia skich (równie warstwy z Brzegów) jej mi szo wynosi za ledwie do 30–50 m, za w piaskowcowych warstwach chocho łowskich — 80–100 m. Uzyskane rezultaty s porównywalne do regionalnych ocen statystycznych tego typu danych z obszaru Karpat zewn trznych.

S łowa kluczowe: wodoch łonno – jednostkowa, parametry hydrogeologiczne ska ł, strefa aktywnej wymiany wód, flisz podha ł ski.

¹ Pa Ństwowy Instytut Geologiczny, Oddzia ł Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków

WST P

Flisz podhalański, wieku eocen górny–oligocen, stanowi serię zalegającą powyżej eocenu numulitowego. Najwyższą jego miąższość, 2996 m, stwierdzono w otworze Chochołów PIG-1. Flisz podhalański był przedmiotem intensywnych badań po 1945 roku (Gołb, 1959; Watycha, 1959; Mastella, 1975; Małecka, 1981; Kpińska, 1997). Profil utworów fliszowych obejmuje warstwy: szaflarskie, zakopiańskie, chochołowskie oraz najmłodsze – ostryskie (fig. 1).

Najstarsze są warstwy szaflarskie, znane z wskiego pasa występowanie powierzchniowych w północnym skrzydle niecki podhalańskiej wzdłuż kontaktu z pienskim pasem skałkowym. Na podstawie danych z głębokich wierceniach wnioskowałam, że cięgi one stosunkowo daleko w podłożu fliszu w kierunku południowym, nie dochodząc jednak do południowej granicy niecki. W obrębie tych warstw wydzielono warstwy szaflarskie dolne, środkowe i górne. W dolnym i górnym ogniwie przeważają piaskowce, natomiast w środkowym dominują łupki i mułowce.

Główną masę utworów fliszu podhalańskiego stanowi warstwy zakopiańskie. Zalegają one bezpośrednio na serii eocenu w gólanowego w południowym skrzydle niecki podhalańskiej, natomiast w skrzydle północnym występują powyżej warstw szaflarskich. Dominują w nich iłolupki i mułowce (warstwy zakopiańskie dolne), zaś w wyższej partii profilu licznie występują piaskowce (warstwy zakopiańskie górne).

Bezpośrednio na warstwach zakopiańskich zalegają warstwy chochołowskie, które budują najczęściej wzniesienia morfologiczne w obszarze niecki. Ogólnie wyróżnia się w nich dwa ogniwia dolne i górne, które generalnie cechują się przewagą piaskowców. We wschodniej części niecki wydzielono warstwy z Brzegów, które są odpowiednikiem warstw chochołowskich górnych. Charakteryzują się one zdecydowaną przewagą iłolupków (Watycha, 1959).

W zachodniej części niecki, powyżej warstw chochołowskich, jako najmłodsze utwory fliszu zostały wydzielone na niewielkim powierzchniowo obszarze warstwy ostryskie (seria gruboławicowych piaskowców).

PRZEPŁYW WÓD W UTWORACH FLISZU PODHALAŃSKIEGO

Przepływ wód we fliszowym poziomie wodonośnym odbywa się systemem połączonych szczelin. Uwaga się, że przepuszczalność utworów fliszowych uwarunkowana jest szczelinowatością, a w niewielkim stopniu na ich przepuszczalność wpływa porowatość intergranularna. Badania laboratoryjne piaskowców i zlepów fliszu podhalańskiego wykazały, że ich porowatość intergranularna jest znikoma (tab. 1).

Dla ilościowej oceny wielkości i udziału szczelin w całej masie badanej skały postawiono się współczynnikiem szczelinowatości (Liszkowski, Stochlak red., 1976). Wykonane dotychczas przez autora pomiary szczelin pozwoliły ustalić, że na obszarze zbudowanym z warstw zakopiańskich (rejon Ndzówki) średnia szczelinowatość (nie uwzględniono powierzchni oddzielności międzyławicowych) wynosiła 0,8%, natomiast dla warstw chochołowskich (Kocielisko) — 2,4%, lokalnie powyżej 4,0% (Chowaniec, 1978).

Miąższość ławic piaskowcowych warstw zakopiańskich wynosi 15–30 cm, zaś w warstwach chochołowskich — 0,5–1,5 m. Wartość współczynnika szczelinowatości 2,4% jest dwa razy większa od wartości podanej przez Bobera i Oszczytko (1964) dla piaskowców magurskich z rejonu nieckicy. Wyniki badań Małeckiej i Murzynowskiego (1978) przeprowadzone na obszarze fliszu podhalańskiego wskazują, że różnice wielkości tego współczynnika są bardzo duże (tab. 2).

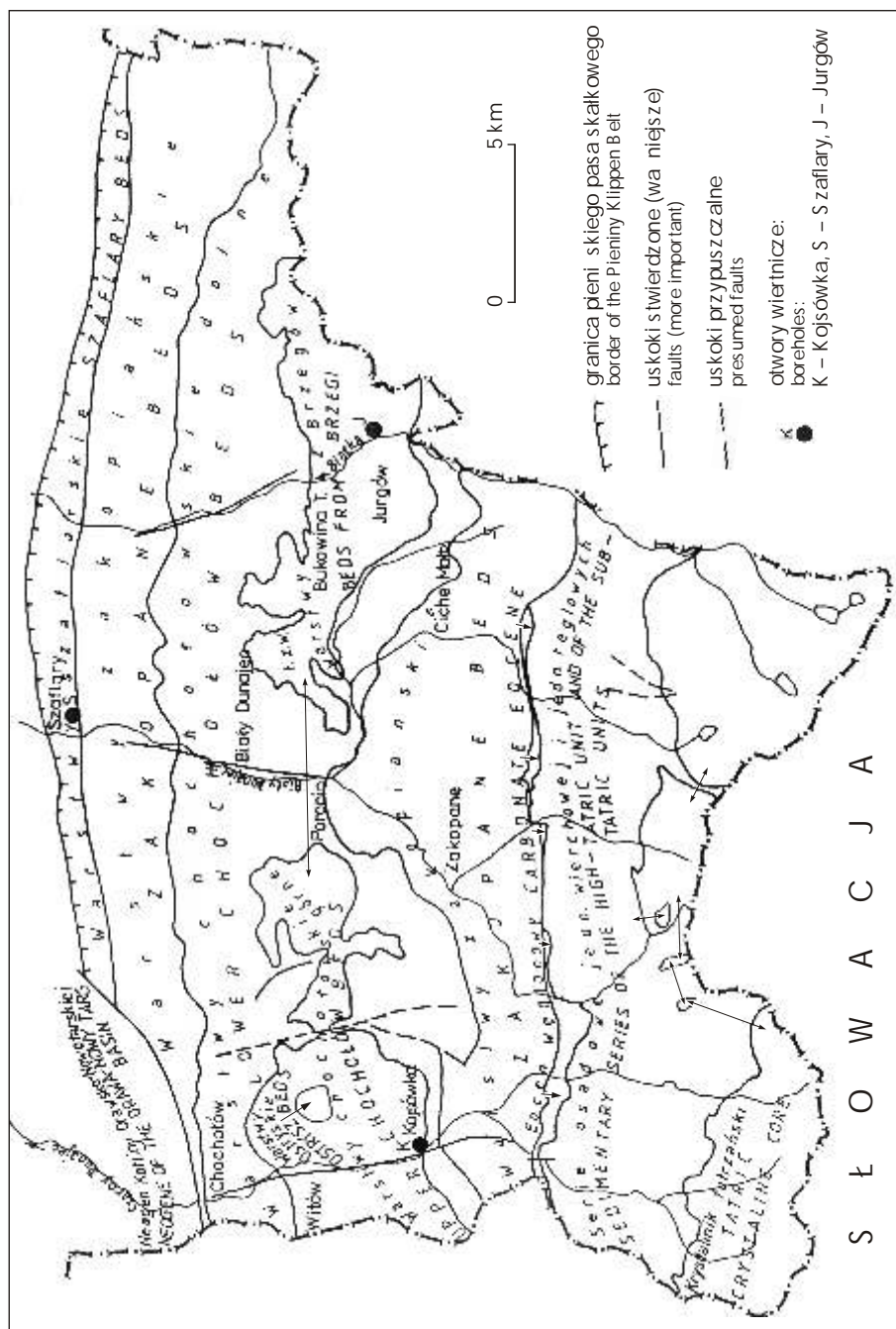


Fig. 1. Mapa geologiczna Podhala (bez utworów czwartorzędowych, według Chojnackiego, 1989, uproszczona)
 Geological map of the Podhale region (without Quaternary deposits, after Chojnacki, 1989, simplified)

S Ł O W A C J A

Tabela 1

Porowato piaskowców fliszu podhalańskiego

Porosity of sandstones of the Podhale flysch

Badane warstwy	Obszar	Porowato [%]	Autorzy
Chochołowskie	międzyrzecze Białego Dunajca i Białki	0,60–6,61 (efekt.)	Małecka, Murzynowski (1978)
Zakopiańskie		0,13–6,73 (efekt.)	
Szaflarskie		1,17–5,33 (efekt.)	
Flisz w ogólnie	zachodnie Podhale	1,5–7,9	Bromowicz, Rowiński (1965)

Tabela 2

Wyniki pomiarów szczelinowości (wg Małeckiej i Murzynowskiego, 1978)

Results of fissuring measurements (after Małecka and Murzynowski, 1978)

Badane warstwy	Miejscowość	Współczynnik szczelinowości [%]
Ostrzyckie	Dzianisz	6,4
	Witów	4,2
Chochołowskie	Gliczarów	8,1
	Białka	8,1
	Ciche	1,8
Szaflarskie	Szaflary	9,3
	Maruszyna	11,1
Zakopiańskie	Zakopane	8,9
	Poronin	5,1

W dotychczasowych badaniach przepuszczalności utworów fliszowych określano na powierzchni na podstawie pomiarów szczelinowości z uwagi na brak wierce hydrogeologicznych (Pokorski, 1965; Boretti-Onyszkiewicz, 1968; Mastella, 1975). Wykonane w latach sześćdziesiątych wiercenia w rejonie Kojcówki, Szaflar i Jurgowa pozwoliły określić przepuszczalność pewnego odcinka profilu na podstawie badań wodochłonności.

BADANIA WODOCHŁONNOŚCI

Dużego znaczenia dla badań hydrogeologicznych mają badania wodochłonności, pozwalające na podstawie obszernych danych zmiany przepuszczalności z głębokości. Badania te mają na celu ustalenie stopnia przepuszczalności spękanych masywów skalnych w miejscu projektowanych zapór wodnych. Porównywalną wodochłonność, według normy branżowej

Tabela 3

**Wodochłonno ci jednostkowa warstw chochołowskich w rejonie Kojsówki
(wg Monkiewicza, 1966)**

Specific water-storage capacity of the Chochołów Beds near Kojsówka
(after Monkiewicz, 1966)

Gł boko [m]	Wodochłonno ci jednostkowa (rednia) [dm ³ /min/m/0,01 MPa]		
	lewe zbocze	dno doliny	prawe zbocze
do 15	–	0,120–1,870 (0,907)	0,024–0,090 (0,527)
15–20	0,503–1,398 (0,822)	0,499–1,190 (0,859)	0,204–0,630 (0,393)
20–30	0,096–1,200 (0,504)	0,412–1,132 (0,731)	0,010–0,538 (0,344)
30–40	0,072–0,694 (0,377)	0,067–1,350 (0,607)	0,004–0,851 (0,320)
40–50	0,033–0,376 (0,175)	0,039–0,230 (0,523)	0,000–0,315 (0,159)
50–60	0,009–0,710 (0,270)	0,000–0,589 (0,344)	0,001–0,289 (0,118)
60–70	0,004–0,398 (0,144)	0,000–0,600 (0,240)	0,012–0,210 (0,113)
70–75	–	0,009	0,051

Tabela 4

Charakterystyka statystyczna wodochłonno ci jednostkowej

Statistical characteristics of specific water-storage capacity

Liczba otworów	Liczebno zbioru	Wodochłonno ci jednostkowa [dm ³ /min/m/0,01 MPa]		
		rednia	min.	max.
18	293	0,329	nie uzyskano	2,175

BN-70/8950, jest jej warto uzyskana przy ci nieniu badawczym 0,2 MPa (2 atm). Warto wo-
dohłonno ci jednostkowej (w)¹ 0,01 dm³/min/m/0,01 MPa przyjmowana jest jako granica
szczelno ci górotworu. Oszcypko i inni (1981) oraz Chowaniec i inni (1983) analizuj c wyniki
bada wodochłonno ci okre lili zmiany przepuszczalno ci z gł boko ci warstw magurskich i
kro nie skich, a tak e podali ró nice ich wodochłonno ci. Autorzy ci wykazali, e mi szo
strefy przepuszczalnej w warstwach kro nie skich centralnej depresji karpackiej dochodzi do 40
m i jest dwukrotnie mniejsza od mi szo ci tej strefy w warstwach magurskich. Stwierdzili, e

¹ Dotychczas w literaturze wodochłonno ci jednostkow powszechnie oznaczano jako „q”.

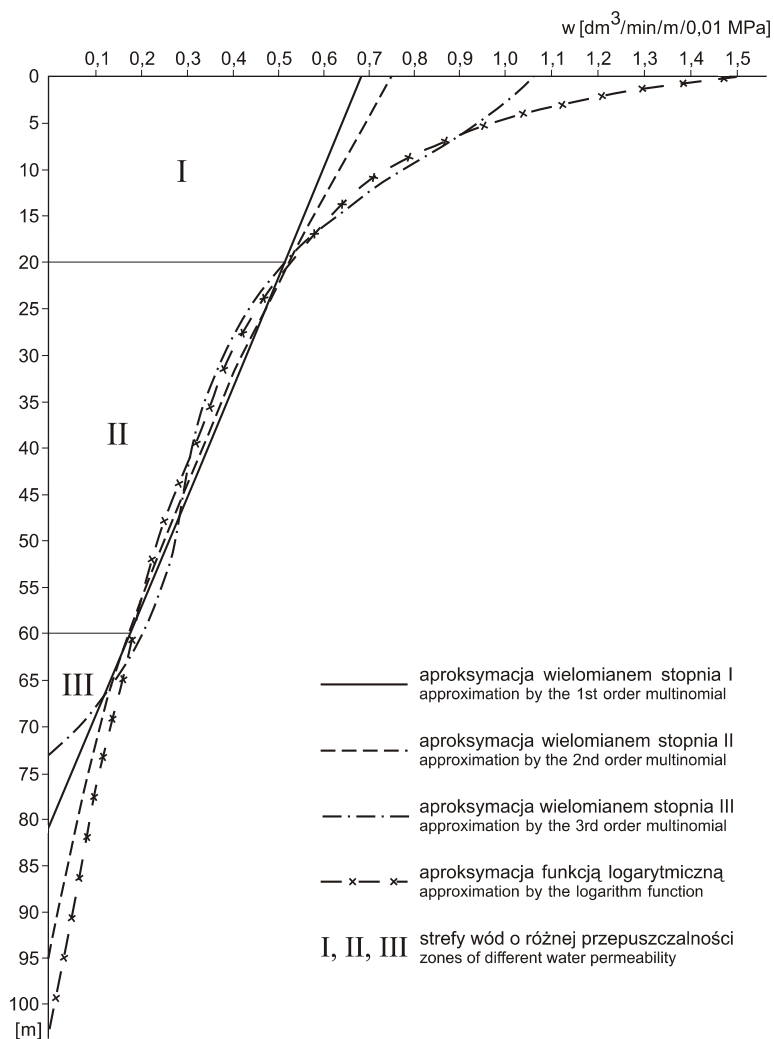


Fig. 2. Zależność wodochłonności jednostkowej od głębokości dla warstw chochołowskich w rejonie Kojsówki

Specific water-storage capacity versus ground water depth in the Chochołów Beds in the region of Kojsówka

współczynnik filtracji warstw karnych do głębokości 20 m wynosi przeciętnie $1,4 \times 10^{-6}$ m/s, a w przedziale głębokości 20–40 m — $2,4 \times 10^{-7}$ m/s. Przepuszczalność w obu przedziałach głębokości jest o rząd wielkości mniejsza od przepuszczalności warstw magurskich. Badaniem przepuszczalności warstw karnych na terenie centralnej depresji karpackiej zajmował się wcześniej Dziewicki (1962).

W rejonie Kojsówki podło jest zbudowane z średnio- i gruboławicowych piaskowców z wkładkami łupków ilasto-marglistych należących do warstw chochołowskich dolnych i górnych. Jest to fragment południowego skrzydła tzw. synkliny ostrzyckiej, według Gołba (1959) zapadającego ku północy.

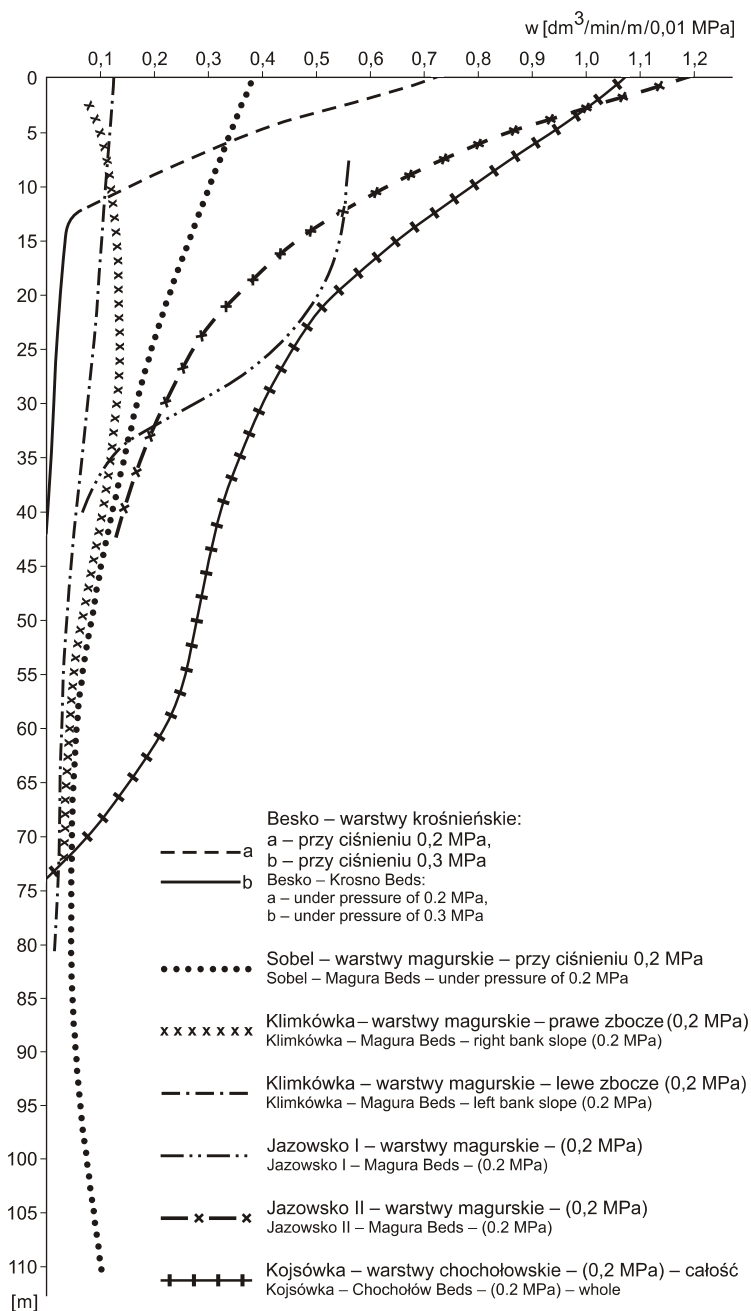


Fig. 3. Zależność wodochłonności jednostkowej od głębokości — aproksymacja wielomianem stopnia trzeciego (wg Chowania, 1989)

Specific water-storage capacity versus ground water depth — the 3rd order multinomial approximation (after Chowania, 1989)

Tabela 5
rednie warto ci współczynnika filtracji
obliczone na podstawie bada wodochłonno ci

Mean filtration coefficient calculated
based on water-storage capacity

Gł boko [m]	Współczynnik filtracji [m/s]
0–20	$1,88 \times 10^{-5}$
20–60	$6,08 \times 10^{-6}$
60–100	$1,74 \times 10^{-6}$
0–100	$5,71 \times 10^{-6}$

stało to w pełni potwierdzone przez badania wodochłonno ci. Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że nie w każdym otworze na lewym zboczu udało się osiągnąć strefę szczelną. Strefę szczelną w dnie doliny oraz na prawym zboczu osiągnięto dopiero na głębokości 70–75 m. Zatem obserwuje się tutaj również strefy skał wodochłonnych, zwłaszcza w dnie doliny, co świadczy o do głębi wnikaniu infiltracji.

Autor poddał analizie statystycznej wyniki pomiarów wodochłonno ci w 18 otworach wykonanych w warstwach chochołowskich w rejonie Kojcówki. Dysponowano zbiorem liczącym 293 dane (tab. 4; Chowaniec, 1989). Zmiany wodochłonno ci z głębokości aproksymowano funkcją logarytmiczną oraz wielomianami stopnia $n = 1-3$ (fig. 2). Linia prosta odzwierciedla tylko ogólny trend w strefach, z których pochodzi największa ilość danych. Krzywa logarytmiczna jest najbardziej czuła na wszelkie zmiany, stąd stanowi najlepsze przybliżenie dla określenia zmian wodochłonno ci z głębokości. Dla funkcji logarytmicznej uzyskano krzywą z maksimum na powierzchni (1,674) i minimum poniżej 100 m. Dla zależności liniowej otrzymano prostą przecinającą oś rzędnych na głębokości 81 m. Wielomian stopnia trzeciego posiada minimum na głębokości 73 m. Najbardziej przepuszczalna jest strefa do głębokości 20 m. Wodochłonność jednostkowa w tej strefie wynosi powyżej $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}/\text{m}/0,01 \text{ MPa}$. Równie dobrze przepuszczalna jest strefa na głębokości 20–60 m, w której wodochłonność maleje od 0,5 do $0,2 \text{ dm}^3/\text{min}/\text{m}/0,01 \text{ MPa}$. Trzecią strefą można wydzielić na głębokości 60–100 m (fig. 2).

Wyświetlenie tych stref można scharakteryzować wartościami współczynników filtracji obliczonymi na podstawie badań wodochłonno ci według formuły podanej przez Wieczystego (1970) (tab. 5).

Uzyskane rezultaty z analizy statystycznej porównano z badaniami przeprowadzonymi dla warstw magurskich i krynów centralnej depresji karpackiej. Między strefy przepuszczalnej w warstwach chochołowskich (80–100 m) jest zbliżona do między strefy przepuszczalnej warstw magurskich i dwukrotnie większa od między strefy w warstwach krynów (fig. 3). W Kojcówce strefa przepuszczalna charakteryzuje się jednak zdecydowanie większą szczelinowością. Uzyskane rezultaty są zbliżone do wyników podanych przez Jetla (1985) dla piaskowców fliszu Karpat słowackich. Nieco większe wartości strefy przepuszczalnej w stosunku do warstw magurskich wynikają zapewne ze stylu tektoniki fliszu podhalańskiego i związanej z tym szczelinowością. Na Podhalu płaszczyny ciosowe przecinają ławice prawie pionowo, a ich ilość wzrasta w strefach licznych uskoczków.

W związku z projektowaniem budowli zapory w Kojcówce wykonano tutaj 18 wierceni o głębokości 40–75 m, w których przeprowadzono badania wodochłonno ci. Wyniki były interpretowane przez różnych autorów (Michalik i in., 1963; Monkiewicz, 1966; Niedzielski, 1974). W tabeli 3 zestawiono wyniki wodochłonno ci jednostkowej w poszczególnych przedziałach głębokości.

W rejonie Kojcówki nie stwierdzono większych dyslokacji, jednak niekiedy były silnie spękane, szczególnie na lewym zboczu. W wyniku robót górniczych stwierdzono rozwarstwienie szczeliny o szerokości 2–20 cm, sięgające do głębokości 6 m. Szczeliny o szerokości 1–3 cm sięgały do głębokości co najmniej 10 m. Zo-

Tabela 6

**Mi szo strefy przepuszczalnej w utworach fliszu podhala skiego
na podstawie bada wodochlonno ci**

Thickness of permeable zone in the Podhaleflysch deposits based on the studies
on water-storage capacity

Miejscowo	Badane warstwy	Mi szo strefy przepuszczalnej [m]	redni współczynnik filtracji [m/s]	Liczba otworów
Kojsówka	chochołowskie	80–100	$5,71 \times 10^{-6}$	18
Szaflary	szaflarskie	nieprzep. (przy 0,2 MPa)	$6,21 \times 10^{-8}$	1
		30 (przy 0,5 MPa)	$3,19 \times 10^{-6}$	
Jurgów	chochołowskie górne (warstwy z Brzegów)	15 (przy 0,2 MPa)	$2,43 \times 10^{-6}$	1
		20 (przy 0,5 MPa)	$2,43 \times 10^{-6}$	

Zdecydowanie ni sze warto ci wodochlonno ci i mniejsz mi szo strefy przepuszczalnej stwierdzono w rejonie Szaflar (Darth i in., 1964; Oszczytko, 1966) i Jurgowa (Bober i in., 1964). Zwi zane jest to jednoznacznie z charakterem osadów w tych rejonach — łupkowym wykształceniem warstw szaflarskich i warstw z Brzegów (tab. 6).

PODSUMOWANIE

Dla przepływu wód w skałach fliszowych znaczenie ma sp kana i przepuszczalna strefa o mi szo ci maksymalnej dochodz cej do 80–100 m. Mi szo tej strefy nie jest jednorodna i zale y przede wszystkim od wykształcenia litologicznego utworów fliszowych oraz poło enia morfologicznego. Strefa ta ma niewielk mi szo dochodz c zaledwie do 20–50 m w łupkowych warstwach szaflarskich i zakopia skich, a wi ksz , dochodz c do 80–100 m w piaskowcowych warstwach chochołowskich. Zwi ksenie szczelinowato ci masywu obserwuje si zwlaszcza w strefach dyslokacji nieci głych, które stanowi uprzywilejowane drogi kr enia i prowadz najwi ksze ilo ci wód oraz działaj drenuj co w stosunku do wód kr cych w małych szczelinach górotworu. Du y stopie sp kania i szczelinowato ci skał powoduje zró nicowanie pr dko ci przepływu wód.

LITERATURA

- BOBER L., OSZCZYPKO N., 1964 — Zwi zek mi dzy szczelinowato ci i zawodnieniem piaskowca magurskiego ze nie nicy (Beskid Wyspowy). *Kwart. Geol.*, **8**, 3: 626–639.
- BOBER L., DRATH I., NOWAK W., 1964 — Dokumentacja geologiczno- in ynierska — teren Jurgów. Centr. Arch. Pa stw. Inst. Geol. Oddz. Karpacki, Kraków.
- BORETTI-ONYSZKIEWICZ W., 1968 — Cios we fliszu Zachodniego Podhala. *Acta Geol. Pol.*, **18**, 1: 101–152.
- BROMOWICZ J., ROWI SKI Z., 1965 — Kilka uwag o piaskowcach fliszu podhala skiego. *Kwart. Geol.*, **9**, 4: 838–856.

- CHOWANIEC J., 1978 — Charakterystyka hydrogeologiczna zachodniego Podhala w rejonie Kościeliska. [Streszcz. ref.]. *Kwart. Geol.*, **22**, 4: s. 940.
- CHOWANIEC J., 1989 — Hydrogeologiczne warunki zasilania i przepływu wód podziemnych w utworach trzeciorzędowych Podhala między Zakopanem a Białym Dunajcem. Centr. Arch. Państw. Inst. Geol. Oddz. Karpacki, Kraków.
- CHOWANIEC J., OSZCZYPKO N., WITEK K., 1983 — Hydrogeologiczne cechy warstw krasowych w centralnej depresji karpackiej. *Kwart. Geol.*, **27**, 4: 797–810.
- DRATH I., OSZCZYPKO N., LUCZKA A., 1964 — Charakterystyka geologiczno-inżynierska terenu Szaflary. Centr. Arch. Państw. Inst. Geol. Oddz. Karpacki, Kraków.
- DZIEWAŃSKI J., 1962 — Próba cementacji przesłony przeciwfiltracyjnej zapory Myczkowce na Sanie. *Geotech. i Hydrogeol.*, **2a**: 33–69.
- GOŁĘB J., 1959 — Zarys stosunków geologicznych fliszu zachodniego Podhala. *Biul. Inst. Geol.*, **149**: 225–239.
- JETEL J., 1985 — Vertical variations in permeability of flysch rocks Czechoslovak Carpathians. *Kwart. Geol.*, **29**, 1: 167–178.
- KOPIŃSKA B., 1997 — Model geologiczno-geotermalny niecki podhalańskiej. Studia, Rozprawy, Monografie. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków.
- LISZKOWSKI J., STOCHLAK J. (red.), 1976 — Szczelinowatość masywów skalnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- MAŁECKA D., 1981 — Hydrogeologia Podhala. Seria specj. z. 14. Wyd. Geol. Warszawa.
- MAŁECKA D., MURZYŃSKI W., 1978 — Rejonizacja hydrogeologiczna Karpat fliszowych. *Bibl. Wiad. IMUZ*, **56**: 44–46.
- MASTELLA L., 1975 — Tektonika fliszu we wschodniej części Podhala. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **45**, 3–4: 361–401.
- MICHALIK A. (red.), 1963 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska zbiornika Kojsówka. Centr. Arch. Państw. Inst. Geol. Oddz. Karpacki, Kraków.
- MONKIEWICZ Z., 1966 — Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu zapory na Kojsówce. Arch. Przeds. Geol., Kraków.
- NIEDZIELSKI H., 1974 — Wodochłonność skał fliszowych w wybranych rejonach Karpat. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **44**, 1: 115–137.
- OSZCZYPKO N., 1966 — Wpływ szczelinowatości na przepuszczalność warstw szaflarskich. *Kwart. Geol.*, **10**, 3: 820–831.
- OSZCZYPKO N., CHOWANIEC J., KONCEWICZ A., 1981 — Wodochłonność piaskowców magurskich w świetle badań wodochłonności. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **51**, 1/2: 273–302.
- POKORSKI J., 1965 — Występowanie łupliwoci we fliszu wschodniego Podhala. *Kwart. Geol.*, **9**, 3: 616–623.
- WATYCHAŁ., 1959 — Uwagi o geologii fliszu podhalańskiego we wschodniej części Podhala. *Prz. Geol.*, **7**, 8: 350–356.
- WIECZYŃSTY A., 1970 — Hydrogeologia inżynierska. Wyd. Geol., Warszawa.