

Lesław BOBER, Nestor OSZCZYPKO

Związek między szczelinowością i zawodnieniem piaskowca magurskiego ze Śnieżnicy (Beskid Wyspowy)

Karpaty należą do obszarów słabo poznanych pod względem hydrogeologicznym, zdania zaś na temat czynników decydujących o wodonośności fliszu są podzielone. Dlatego też zdecydowano podjąć pracę metodyczno-badawczą w celu określenia wpływu szczelinowości na wodonośność piaskowca magurskiego masywu Śnieżnicy.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Masyw Śnieżnicy leży na północny wschód od kotliny Mszany Dolnej w Beskidzie Wyspowym. Utwory, z których zbudowana jest Śnieżnica, wchodzi w skład płaszczowiny magurskiej. Według B. Świderskiego (1953) profil stratygraficzny występującej tutaj serii magurskiej przedstawia się następująco:

Paleogen	{	— piaskowiec magurski
		— łupki i piaskowce warstw podmagurskich
		— szarozielone i pstre łupki oraz piaskowce cienkoławicowe warstw hieroglifowych
Kreda górna		— warstwy inoceramowe

Piaskowce magurskie. Stanowią one najmłodsze i najbardziej piaskowcowe ogniwo serii magurskiej, którego miąższość wynosi 600÷700 m, a w rejonie Śnieżnicy — 550 m. Piaskowce magurskie są dość zróżnicowane. Najczęściej spotykane są w formie grubych 0,5÷5 m ławic o budowie masywnej lub płytowo-łupkowej. Niekiedy ławice mają grubość kilku decymetrów, czasem piaskowce te występują w formie cienkich warstewek wśród wkładek łupkowych. Również zróżnicowane są powierzchnie warstw. Są one płytowe, faliste, często ze śladami podwodnego spływania lub spełzania, rzadziej skorupowe. Piaskowce magurskie wietrzeją na ogół żółtawo, jednakże w świeżym przełamie są

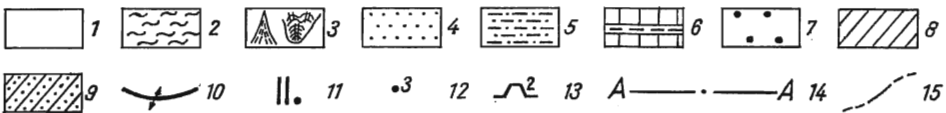
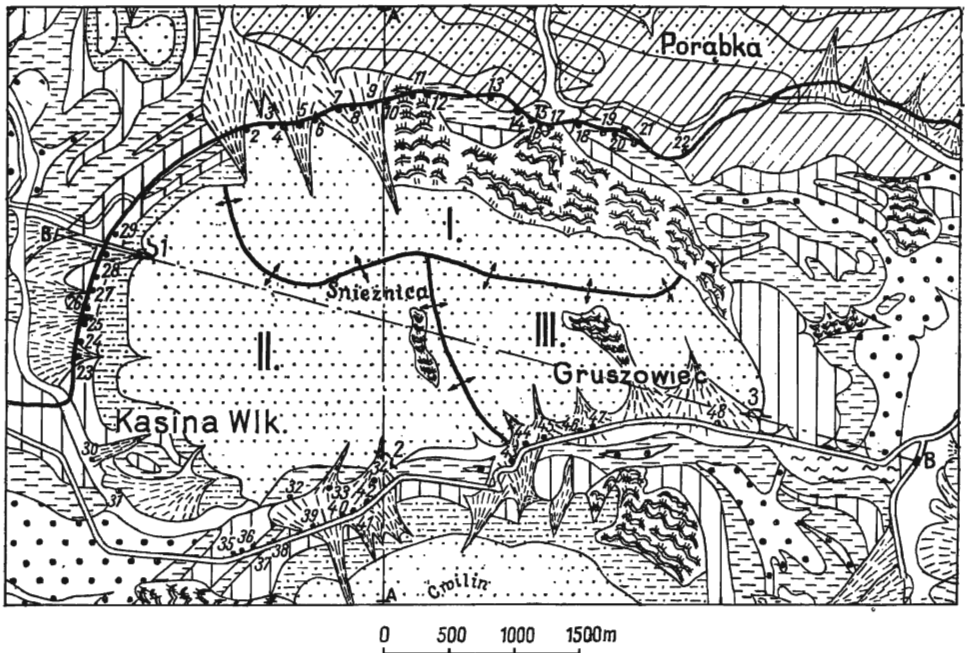


Fig. 1. Mapa geologiczna masywu Snieżnicy według B. Świdorskiego (1953)
Geologic map of the Snieżnica massif after B. Świdorski (1953)

Czwartorzęd: 1 — utwory akumulacji rzecznej; 2 — gliny zwietrzelinowe; 3 — stożki napływowe i osuwiska; jednostka magurska: 4 — piaskowce magurskie; 5 — łupkopiaszkowce warstw podmagurskich; 6 — szarzielone i pstre łupki oraz piaskowce cienkoławicowe warstw hieroglifych; 7 — warstwy inceramowe; jednostka śląska: 8 — łupki krośnieńskie; 9 — piaskowce krośnieńskie; 10 — granice zlewni; 11 — numer zlewni; 12 — punkt pomiaru wydajności cieku powierzchniowego; 13 — kamieniołom wraz z kolejnym numerem; 14 — linia przekroju geologicznego; 15 — dyslokacje

Quaternary: 1 — deposits of fluvial accumulation; 2 — weathered clays; 3 — alluvial cones and slickensides; Magura unit: 4 — Magura sandstones; 5 — slate-sandstones of the sub-Magura beds; 6 — grey green and variegated shales, also thin-bedded sandstones of hieroglyphic beds; 7 — inceramian beds; Silesian unit: 8 — Krosno shales; 9 — Krosno sandstones; 10 — boundary of basin; 11 — number of basin; 12 — point of efficiency measurement of surface run off; 13 — stonequarry and its serial number; 14 — line of geological cross section; 15 — dislocations

najczęściej jasnoszare, szarzielonawe lub niebieskawe. Ziarno piaskowców jest przeważnie słabo obtoczone i zlepione zazwyczaj spoiwem ilasto-wapnistym. W piaskowcach napotyka się glaukonit i muskowit.

We wschodniej części regionu gór wyspowych piaskowiec magurski zróżnicowany jest: 1 — na dolną partię masywnych piaskowców, 2 — środkową, składającą się z kruchych, cienie warstwowanych piaskowców z większą ilością łupków; 3 — górną, zbudowaną w zasadzie z piaskowców płytowych z wkładkami zlepieńców. Zróżnicowanie to ma swe

odbicie w morfologii terenu; w środkowej części gór wyspowych zaznaczają się mniejsze stromizny. Występujące w piaskowcach łupki są szare, szarzielone lub szarozółte. Tworzą one bądź to parocentymetrowe warstewki w gruboławicowych partiach piaskowca, bądź też kilkudecymetrowe wkładki na przemian z piaskowcami płytowymi lub gruboławicowymi.

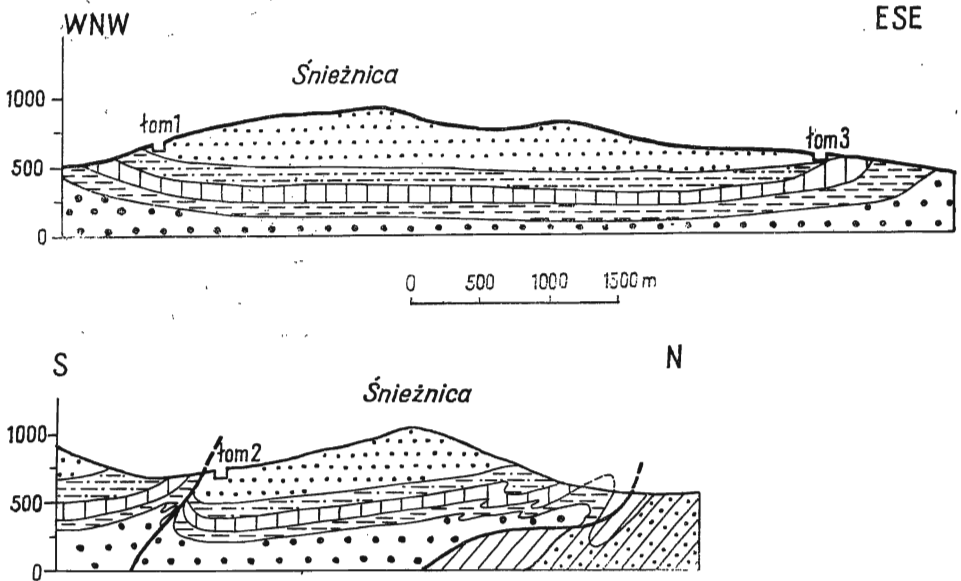


Fig. 2. Przekroje geologiczne przez masyw Śnieżnicy
Geological cross sections through the Śnieżnica massif

Objaśnienia jak na fig. 1

Explanations as on Fig. 1

Warstwy podmagurskie. Są to płytowe warstwy piaskowcowe o grubości od paru do kilkudziesięciu centymetrów. Piaskowce są jasnoszare, drobnoziarniste, z muskowitem, o lepszemu ilasto-wapienym. Udział piaskowców w tej serii wzrasta ku górze i wynosi 40÷70%. Czasem występują też grubsze ławice piaskowców (0,5÷1,0 m) poprzedzane pakietami na przemian warstwowanych łupków i piaskowców. Występujące w tym kompleksie łupki są ciemnoszare, szare, szarzielone, żółtawe i rdzawożółtawe, o łupliwości liściastej lub gruzelkowatej. Miąższość warstw łupkowych wynosi od kilku do kilkunastu metrów, zwłaszcza w spągowych partiach omawianego ogniwa.

Szarzielone i pstre łupki oraz piaskowce cienkoławicowe warstw hieroglifowych. Zasadniczym składnikiem tego piętra są łupki, które miejscami stanowią średnio 50% miąższości omawianego ogniwa. Pstre łupki występują w serii szarzielonych łupków i piaskowców. Stanowią one zwarte masy ceglanych i wiśniowych iłowców mniej lub bardziej wapnitych. Łupki te również bywają przewarstwione przez kilkucentymetrowe wkładki piaskowców.

Warstwy i nocera mowe. Kreda górna reprezentowana jest tutaj przez piaskowce, konglomeraty i łupki ciemnoszare.

TEKTONIKA

Masyw Śnieżnicy należy do jednostki tektonicznej nazwanej przez B. Świdzkiego (1953) skibą gór wyspowych (fig. 1, 2). W stosunku do pozostałych skib jest ona silniej spiętrzona oraz głębiej erozyjnie rozcięta aż do podłoża kredowego. Budowa geologiczna tego regionu odznacza się dysharmonijnym sfałdowaniem utworów kredowych i łupków eoceńskich w stosunku do regularnie lub połoego sfałdowanych płatów piaskowców magurskich. Badana struktura

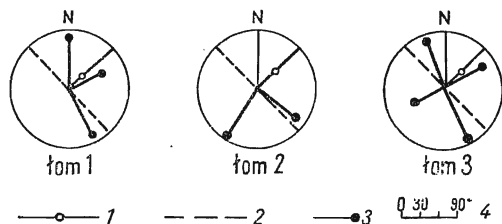


Fig. 3. Główne kierunki tektoniczne masywu Śnieżnicy

Main tectonic trends of the Śnieżnica massif

1 — bieg skierowany i upad warstw; 2 — bieg kierunków tektonicznych; 3 — bieg skierowany i upad szczelin; 4 — skala kąta upadu

1 — directed course and dip of strata; 2 — course of tectonic directions; 3 — directed course and dip of fractures; 4 — degree of dip angle

stanowi czołowy element skiby gór wyspowych (fig. 2). Monoklinalna synklina Śnieżnicy oddzielona jest od niecki Lubogoszcy siodłem Kasiny o dwustronnie zanurzającej się osi w jądrze kredowym. Oś siodła jest zgodna z kierunkiem elewacji Wiśniowej, jednakże siodło ma mniejszą amplitudę.

Od południa na płat piaskowców magurskich Śnieżnicy nasunięta jest kra Cwilina, kilkakrotnie wtórze sfałdowana, w postaci izoklinalnych i ku północy pochylonych fałdów. Podłoże piaskowców magurskich Cwilina bezpośrednio kon-

taktuje z piaskowcami magurskimi Śnieżnicy, w związku z czym warstwy podmagurskie i hieroglifowe Śnieżnicy są wyciśnięte.

Monoklinalna synklina Śnieżnicy, zapadająca ku południowi, posiada w części północnej upady rzędu 30° na południe. W części południowo-wschodniej upad wynosi 4° ku północy, przy czym na samym kontakcie z nasunięciem Cwilina upady wzrastają, osiągając około 50° .

RODZAJE SPEKAŃ ORAZ SZCZELINOWATOŚĆ

Ruchy tektoniczne w Karpatach spowodowały w sztywnych masach piaskowcowych powstanie dużej ilości pionowych i poziomych płaszczyzn nieciągłości. W piaskowcach magurskich szczególnie uwydatnia się oddzielność prostopadła od uławicenia.

W wyniku dokonanych kilkuset pomiarów biegów skierowanych szczelin ustalono, iż występują tutaj następujące kierunki spekań (fig. 3): główny — 125° – 155° oraz prostopadły do głównego — 59° – 63° i 211° – 245° . Podrzędny do poprzednich, występujący jedynie w zachodniej części masywu, jest kierunek posiadający bieg południkowy — 360° .

Tabela 1

Rodzaje szczelin stwierdzone w kamieniołomach

Nr łomu	Rodzaje szczelin w %%		
	zgodne	normalne i skośne	uwarstwienia
1	5	93	2
2	15	65	20
3	—	98	2

W oparciu o podział N. J. Bujalowa (1953) wyróżnić można w masywie Śnieżnicy cztery następujące rodzaje szczelin: zgodne — bieg szczeliny zgodny z biegiem warstw; normalne, sieczne — bieg szczelin prostopadły do biegu warstw; skośne — bieg szczeliny skośny do biegu warstw; uwarstwienia — bieg szczeliny zgodny z płaszczyznami uwarstwienia. Szczeliny te zostały stwierdzone w 3 kamieniołomach, a częstotliwość ich występowania ilustruje tabela 1.

Z rozważań powyższych wynika, że w piaskowcu magurskim przeważają szczeliny typu normalnego i skośnego (tabl. I, II).

GENEZA SPEKAŃ

Główny system spekań powstał w trakcie fałdowań. Zasadnicze kierunki tego systemu są równoległe lub prostopadłe do głównych kierunków tektonicznych, występujących na omawianym obszarze, opisanych przez B. Świdzkiego (1952), takich jak elewacje Przytkowic — Mszany Dolnej, depresja Myślenic — Krzywaczki, uskoki Myślenic oraz brzeg płaszczowiny magurskiej.

Podrzędnie występujące szczeliny o biegu południkowym zaznaczają się jedynie w zachodniej części masywu Śnieżnicy. Są one równoległe do osi siodła Kasiny.

Szczeliny uwarstwienia najczęściej występują w środkowej części masywu. Mogły one powstać w końcowym stadium fałdowań, gdy masyw Ćwilina, będący jeszcze w toku, nasunął się na nieruchomy już blok Śnieżnicy.

Ważne też znaczenie przy powstawaniu szczelin miały procesy diagenetyczne. Jednakże trudne jest ustalenie, jakie spekania związane są z tymi procesami.

Oprócz powyższych czynników, duży wpływ wywierają również procesy wietrzeniowe. W strefie aktywnego wietrzenia występuje gęsta sieć

spękań, prowadząca do dezintegracji piaskowca (tabl. I, fig. 1). Spękania tego typu powstają w zawodnionej, przypowierzchniowej strefie wskutek wahań temperatur, które dla omawianego obszaru, mającego charakter górski, są znaczne. Przybliżona miąższość strefy intensywnych spękań wietrzeniowych wynosi dla fliszu 50÷70 m (według Ł. A. Mołokowa, 1959).

Przy określeniu objętości szczelin posłużono się współczynnikiem Ł. I. Neustadta, określającym stosunek powierzchni szczelin występujących na danej powierzchni przekroju do całej powierzchni przekroju. Wyniki tych pomiarów zestawiono w tabeli 2, gdzie dla porównania podano również szczelinowatość z innych obszarów Karpat fliszowych.

Tabela

Wyniki pomiarów szczelinowatości w porównaniu z innymi obszarami Karpat fliszowych

Warstwy	Jednostka tektoniczna	Miejscowość	Średnia szczelinowatość %	Miąższość ławic piaskowcowych w m	Uwagi
piaskowiec godulski	jednostka śląska	Tresna k. Żywca	0,8	0,3 ÷ 0,4	wg danych J. Popielaka
piaskowiec magurski	strefa magurska wg O.S. Wiąłowa (1953)	zaporą na rzekach Te-rebla, Rika	1,3	0,5 ÷ 1,0	wg W.F. Linneckij (1961)
piaskowiec magurski	jednostka magurska	Śnieżnica k.Limano-wej	1,2	1,5 ÷ 2,5	wg autorów

Niezbędnym też czynnikiem dla zapoznania się z właściwościami wodonośnymi szczelin jest określenie rodzaju oraz własności materiału wypełniającego w stosunku do krążącej wody. W przypowierzchniowych partiach piaskowca część szczelin zapełniona jest materiałem piaszczysto-ilastym. W głębszych partiach szczeliny wypełnione są kalcytem.

Według B. Świdzkiego (1953) oraz na podstawie własnych obserwacji autorów wynika, że część wschodnia masywu wskutek działalności wiatrów zachodnich posiada grubą pokrywę glin zwietrzelinowych, która spowodowała wypełnienie szczelin.

STOSUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W synklinie Śnieżnicy warstwę wodonośną stanowi przypowierzchniowa część piaskowca magurskiego. Na opisywanym obszarze występują wody w strefie intensywnego wietrzenia, oraz wody typu szczelinowo-warstwowego. Te ostatnie związane są ze spękaniami typu tektonicz-

nego i spływają zgodnie z kierunkiem zapadania warstw. Możliwe jest również występowanie wód związanych z głębokimi szczelinami, wody te najprawdopodobniej mogłyby być zmineralizowane, jednakże dotychczas wód takich w najbliższym sąsiedztwie nie stwierdzono. Miąższość strefy występowania otwartych szczelin nie jest bliżej określona. Według Ł. A. Mołokowa (1959) dla warstw magurskich wynosi ona 100÷150 m. Autorzy opracowania przyjęli ją za 100 m.

Dalsze rozważania dotyczą zatem wód krążących w systemach spękań wietrzeniowych i tektonicznych, przy założeniu, że charakter litologiczny piaskowca magurskiego wyklucza możliwość filtracji związanej z porowatością.

Porowatość według B. Świdierskiego (1953) wynosi dla piaskowca magurskiego 1,3÷4,9%, a według M. Kamieńskiego (1948) — średnio 3,3%. Nie jest to jednak porowatość efektywna, a tylko ta umożliwia filtrację wód podziemnych.

Oprócz pomiarów kierunków spękań i szczelinowości, w październiku 1961 roku przeprowadzono jednorazowy pomiar wydajności wszystkich cieków wypływających z warstw magurskich masywu Śnieżnicy. Jesień 1961 roku odznaczała się wyjątkowo niskimi stanami wód gruntowych i powierzchniowych. Obserwowany w tym roku niski stan wód odpowiadał najniższym stanom występującym w odstępach 2—5-letnich. Wykonując pomiary mieliśmy pewność, że wszystkie cieki prowadzą wodę z zasilania gruntowego, a spływ powierzchniowy był w tym czasie równy zeru. Synklinealne ułożenie warstw magurskich, podścielonych utworami bardzo słabo przepuszczalnymi lub wręcz nieprzepuszczalnymi, wykluczało możliwość dopływu wód z innych poziomów (fig. 2, 3). Pomierzone wielkości wpływów wahały się od 0,04 do 64,95 m³/godz. (tab. 3). Uderzająca jest nierównomierność wydajności, którą można określić współczynnikiem

nierównomierności ($\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$) wynoszącym 1623. Tak wielką nie-

równomierność można tłumaczyć jedynie czynnikami natury tektonicznej. Zależność taką obserwowano również przy prowadzeniu sztolni derywacyjnej w USSR (Ł. A. Mołokow, 1959), gdzie intensywne cyrkulacje wód podziemnych związana była z przegubami fałdów, oraz innymi strefami silnie tektonicznie zaangażowanymi.

Na podstawie przesłanek natury tektonicznej, różnic w wydajności poszczególnych cieków, oraz ich związków ze zlewniami wód powierzchniowych wydzielono w masywie Śnieżnicy trzy zlewnie różniące się pod względem hydrogeologicznym (fig. 1).

Zlewnia I. Stanowi ona północną część Śnieżnicy. Wydajność tej zlewni stanowi 25,5% ogólnej wydajności poziomu (tab. 4). Strome nachylenie zboczy wynika z niegłębokiej strefy występowania spękań. Ze względu na przeciwne zapadanie warstw do kierunku spływu wód, decydujące znaczenie posiadają szczeliny typu wietrzeniowego. Obszar zasilania tej zlewni jest stosunkowo niewielki, ze względu na intensywny rozwój procesów osuwiskowych. Strome nachylenie zboczy nie sprzyja akumulacji wód gruntowych. Zlewnia charakteryzuje się dość dużą zmiennością wydajności poszczególnych cieków.

Zlewnia II. Zajmuje południowo-zachodnią część masywu. Wydajność zlewni wynosi 72,7% ogólnej wydajności (tab. 4). Występują tu wszystkie poprzednio wymienione kierunki i rodzaje spękań. Na szczególną uwagę zasługują tu licznie występujące szczeliny uwarstwienia.

Tabela 3

Lp	Wydajność w m ³ /godz.	Lp	Wydajność w m ³ /godz.
1	19,16	25	0,72
2	2,45	26	13,62
3	1,86	27	3,06
4	3,06	28	0,36
5	9,18	29	0,04
6	1,44	30	21,65
7	0,61	31	64,95
8	7,04	32	5,41
9	3,06	33	5,41
10	9,26	34	10,82
11	7,65	35—	3,32
12	0,04	36—	1,15
13	0,36	37—	0,43
14	0,36	38—	0,36
15	0,18	39—	0,24
16	0,18	40—	0,72
17	0,72	41—	0,14
18	14,28	42—	0,12
19	1,08	43—	13,80
20	0,72	44	0,18
21	0,36	45	0,72
22	0,36	46	0,72
23	28,44	47	2,88
24	1,53	48	0,18
Sumaryczna wydajność			251,42

U w a g a: Wyniki od nr 35 do 42 podane zostały ze znakiem ujemnym, ponieważ pochodzą z utworów geologicznych nie należących do masywu śnieżnicy.

Charakterystycznym rysem omawianej zlewni jest zgodność kierunków zapadania warstw z kierunkami zapadania szczelin (fig. 3). Rozbudowany system szczelin wzajemnie komunikujących się powoduje, że w zlewni tej obserwuje się najwyższe wydajności, przy stosunkowo niskiej zmienności. Omawiana zlewnia wód powierzchniowych i podziemnych jest odwadniana dwoma głównymi ciekami: Kasina Wielka i Gruszowiec.

Zlewnia III. Zlewnia ta charakteryzuje się wyjątkowo niską wydajnością, stanowiącą zaledwie 1,8% wydajności całego masywu (tab. 4). Przeważają szczeliny normalne i skośne. Tak małą wydajność tłumaczyć

należy znacznym wypełnieniem szczelin tektonicznych materiałem ilastym, niegłębokim wietrzeniem oraz rozwojem procesów osuwiskowych. Zlewnia III charakteryzuje się dużą zmiennością cieków o bardzo małej wydajności.

Tabela 4

Nr zlewni	Wydajność poziomu wodonośnego: Qd w m ³ /rok	Wydajność poziomu w %: Qd w %	Powierzchnia zlewni: F w m ²	Długość wychodni warstwy wodonośnej: L w km	Objętość szczelin wypełnionych wodą: Qst w m ³	Szybkość wymiany w latach $\frac{1}{Lw}$	Współczynnik wymiany Lw
I	562830	25,5	2500000	6,4	3000000	5,55	0,180
II	1598612	72,7	4000000	7,1	4800000	3,0	0,33
III	40996	1,8	2000000	4,9	2400000	59,0	0,017
Suma	2202438	100,0	8500000	18,4	10200000	—	—

Bilans wodny. Podstawą do opracowania bilansu były wyniki pomiarów wydajności cieków, których sumę przyjęto jako średnią wydajność piaskowców magurskich, oraz materiały ze stacji P.I.H.M. w Mszanie Dolnej (Roczniki P.I.H.M.). Do rozważań przyjęto następujące równania bilansu:

$$X_o = Z_o + Y_o^p + Y_o^g \quad (1) \quad \text{gdzie:}$$

X_o w m/m — średnie opady roczne dla stacji P.I.H.M. w Mszanie Dolnej od 1950 do 1960 roku,

Z_o w m/m — średnie roczne parowanie obliczone według formuły R. Roskońskiego:

$$Z_o = 505 - 0,138 X_o \quad (2)$$

Y_o^g w m/m spływ podziemny równy jest współczynnikowi spływu w mm.

Współczynnik spływu η oblicza się według równania B. A. Kudielina (1949)

$$\eta = 0,001 \frac{Q}{X_o F} \quad (3) \quad \text{gdzie:}$$

Q = wydajność poziomu wodonośnego za rok w m³ (tab. 4),

X_o = opady roczne w mm,

F = powierzchnia zlewni wód gruntowych w km² (tab. 4).

Natomiast spływ powierzchniowy jest równy $Y_o^p = X_o - (Y_o^g + Z_o)$ (4).

Bilans według wzoru (1) zestawiono dla wszystkich trzech zlewni wód gruntowych. Wyniki podane są w tabeli 5. Największą wartość infiltracji obserwuje się w zlewni drugiej, co jest zrozumiałe w świetle wyjaśnień dotyczących budowy geologicznej tego obszaru. Najniższy spływ gruntowy ma miejsce w zlewni III (fig. 1, tab. 5) i jest równy 2,4%. W zlewni tej aż 51,2% opadów przypada na spływ powierzchniowy. Fakt ten dodatkowo świadczy o wyjątkowo słabej przepuszczalności piaskowców magurskich w tej strefie. Potwierdza to nasze przypuszczenie o słabej komuni-

katywności szczelin tej zlewni. Wartości równania bilansu dla pozostałych zlewni zestawione są w tabeli 5. Spływ podziemny w zlewniach I i II należy uznać za bardzo wysoki jak na warunki karpacie. Dla porównania podajemy wartość infiltracji obliczoną dla małej synkliny

Tabela 5

Nr zlewni	X ₀ mm/rok	Spływ w m/m			Parowanie Z ₀ w mm i %%
		Powierzchnio- wy Y ₀ P	Gruntowy Y ₀ g/η/	Ogólny Y ₀	
I	837,5	223,8	225,1	448,9	388,6
	100%	26,8	26,8	53,6	46,4
II	837,5	49,3	399,6	448,9	388,6
	100,0%	5,9	47,7	53,6	46,4
III	837,5	428,9	20,4	448,9	388,6
	100%	51,2	2,4	53,6	46,4

warstw górnoistebniańskich w zlewni rzeczki Uszwicy. W roku hydrologicznym 1959 wynosiła ona zaledwie 8‰ (N. Oszczytko, 1961).

Moduły spływu podziemnego. Wielkość spływu podziemnego uzależniona jest od klimatycznych, geomorfologicznych i hydrogeologicznych właściwości badanego obszaru. Równanie współczynnika spływu podano wyżej. Współczynnik ten można wyrazić w procentach i tak:

$$\eta = 0,001 \frac{Q}{X_0 \cdot F} 100\% \quad (5)$$

Oznaczenia poszczególnych wielkości zostały podane poprzednio. Wartości współczynnika infiltracji zestawione są w tabeli 6. Według powyższego wzoru można obliczyć, jaka ilość opadów infiltruje w podłoże. Moduł spływu podziemnego według B. I. Kudielina (1954) określa wydajność poziomu w litrach/sekundę z 1 km² powierzchni horyzontu wodonośnego. Moduł spływu podziemnego M wyraża się równaniem:

$$M = \frac{10^3 \cdot Q}{365 \cdot 86400 \cdot F} 1/\text{sek.}/1 \text{ km}^2 \quad (6)$$

gdzie: Q — wydajność zlewni wód gruntowych w m³/rok,
F — powierzchnia zlewni w km² (tab. 4).

Między modułem (M), a współczynnikiem spływu η istnieje następująca zależność:

$$\eta = \frac{M \cdot 365 \cdot 86400}{X_0 \cdot 10} \quad (7)$$

Znając moduł spływu podziemnego M, można łatwo określić wydajność poziomu dla dowolnie obranej powierzchni horyzontu wodonośnego.

Moduł charakteryzuje wydajność jednostki powierzchni badanego poziomu. Wartości modułów dla poszczególnych zlewni opisywanego obszaru podane są w tabeli 6. Jednakże przy szczegółowych rozważaniach hydrogeologicznych moduł spływu podziemnego nie jest wielkością w pełni charakteryzującą stosunki wodne, szczególnie wtedy, kiedy bierze się pod uwagę miąższość warstwy wodonośnej. Moduł spływu podziemnego

Tabela 6

Nr zlewni	Średnia miąższość warstwy wodonośnej w m	Moduły spływu podziemnego		
		ogólny M 1/sek./km ²	jednostkowy Mj 1/sek./km ² /m	objętościowy Mo 1/sek./km ³
I	100	7,13	0,0713	71,3
II	100	12,8	0,128	128,0
III	100	0,65	0,0065	6,5

nie charakteryzuje eksploatacyjnych właściwości poziomu wodonośnego. Przy tej samej wartości modułu M przepuszczalność i wodonośność będzie różna, w zależności od miąższości warstwy. Dla szczegółowych rozważań B. I. Kudielin (1954) wprowadził jednostkowy moduł spływu podziemnego — Mj. Moduł ten charakteryzuje wydajność w l/sek z 1 km² warstwy wodonośnej o miąższości 1 m:

$$M_j = \frac{M}{h} = \frac{Q \cdot 10^3}{365 \cdot 86400 \cdot F \cdot h} \text{ l/sek. } 1 \text{ km}^2 / 1 \text{ m} \quad (8) \quad \text{gdzie:}$$

h w metrach — średnia miąższość warstwy wodonośnej, pozostałe oznaczenia jak poprzednio. W naszym przypadku miąższość $h = 100$ m.

W opisywanym masywie Śnieżnicy ekstremalne wartości modułu spływu jednostkowego (tab. 6) wahają się od 0,128 (zlewnia II) do 0,0065 l/sek. (km²) w zlewni III.

Przy badaniach warunków hydrogeologicznych na trasach sztolni ważne znaczenie ma określenie wielkości dopływów, przypadających na 1 m³ urobku. W tych przypadkach stosować można objętościowy moduł spływu podziemnego (B. I. Kudielin, 1954):

$$M_o = \frac{Q \cdot 10^3}{365 \cdot 86400 (F \cdot 0,001 h)} = \frac{Q \cdot 10^3}{365 \cdot 86400 \cdot V} \text{ l/sek./km}^3 \quad (9)$$

gdzie: V — objętość warstwy wodonośnej w m³.

Również ten moduł zestawiony został w tab. 6. Pomiedzy wszystkimi rodzajami modułów istnieje następująca zależność:

$$M = M_j \cdot h = M_o \cdot 0,001 \cdot h \quad (10)$$

Moduły spływu podziemnego obliczono dla poszczególnych zlewni (tab. 6). Największe wartości modułów obserwuje się w zlewni II, najmniejsze — w zlewni III. Świadczy to, że zlewnia ta jest najsilniej zawod-

niona w całym maszywie Śnieżnicy, a wartości charakteryzujące jej wodonośność są ponad 20 razy większe niż dla zlewni III (tab. 6).

Dynamika wód podziemnych. Systemy szczelin związane z pewnymi kierunkami posiadają lepsze własności kolektorskie i znacznie lepszą przepuszczalność niż inne. Na kierunkach tych obserwuje się szybszy proces wymiany i cyrkulacji. Szybkość obiegu wody w danej zlewni wód podziemnych można scharakteryzować przez odwrotność współczynnika wymiany (K. H. Kamieński, 1943). Współczynnik wymiany L_w można zdefiniować jako stosunek wydajności poziomu wodonośnego Q_d (tab. 4) do objętości szczelin i por wypełnionych wodą Q_s :

$$Q_s = V \cdot p.$$

gdzie: V — objętość warstwy w m^3 (tab. 4); $a - p$ — szczelinowatość (tab. 2)

$$L_w = \frac{Q_d}{Q_s} \quad (11)$$

Odwrotność współczynnika wymiany $\frac{1}{L_w}$ charakteryzuje szybkość procesu wymiany. Wartość szybkości wymiany (tab. 4) waha się od 3 lat w zlewni II do 59 lat w zlewni III (tab. 4). Z wyjątkiem zlewni III, w obu pozostałych, szybkość wymiany przebiega mniej więcej w jednakowym tempie. Intensywność wymiany wód gruntowych w poszczególnych zlewniach można scharakteryzować również przez określenie rzeczywistej szybkości przepływu wód gruntowych.

$$\text{Określamy ją z wzoru: } V = \frac{Q_d}{w \cdot p} \quad \text{m/dobę} \quad (12)$$

gdzie:

- V — szybkość filtracji w m/dobę,
- Q_d — wydajność zlewni w m^3 /dobę,
- w — powierzchnia przekroju warstwy wodonośnej w m^2 ,
- p — szczelinowatość w %.

Powyższe dane znajdują się w tabelach 2 i 4. Rzeczywiste szybkości przepływu w piaskowcach magurskich ze Śnieżnicy wahają się od 0,57 m/dobę — w zlewni II i do 0,019 m/dobę — w zlewni III (tab. 7). Znając szybkość filtracji można określić średni czas (T) krążenia wód gruntowych w danej zlewni. Do obliczeń tych przyjęto, że średnia długość drogi przepływu wynosi połowę dłuższego wymiaru zlewni (w metrach), stąd:

$$T = \frac{L}{V} \quad \text{w latach}$$

Obliczenia te zestawione zostały w tab. 7. Podobne wartości czasu wymiany wód gruntowych, uzyskane dwiema odmiennymi metodami (tab. 4 i 7), pozwalają sądzić, że został on określony w sposób prawidłowy. Dla przykładu podajemy za K. I. Makowem (1939), że przybliżony okres wymiany wód artezyjskich w zapadlisku Dnieprowsko — Donieckim, wynosi $1,55 \cdot 10^6$ lat. Znaczy to, że w chwili obecnej mieszkańcy Połtawy i Kijowa używają wodę z opadów atmosferycznych z końca pliocenu.

Wyniki badań nad wodonośnością piaskowców magurskich z masywu

Śnieżnicy trudno porównywać z innymi obszarami Karpat, ze względu na brak szczegółowych opracowań hydrogeologicznych dla fliszu. Można je jedynie częściowo porównać z wodonośnością piaskowców z górnych warstw istebniańskich (N. Oszczytko, 1961) na arkuszu Brzesko. W warstwach górnoistebniańskich występują w zasadzie wody typu warstwowego, co wiąże się ze stosunkowo dużą porowatością i równoczesnym brakiem szczelin. W. Kulczycki (1959) dla warstw górnoistebniańskich (czarnorzeckich) w środkowych Karpatach podaje średnią statyczną poro-

Tabela 7

Dane	Z l e w n i e		
	I	II	III
Szybkość przepływu Vm/dobę	0,20	0,50	0,019
Czas wymiany T w latach	3,40	3,60	58,0

watość efektywną równą 8,39% oraz przepuszczalność 22,1 md. Na arkuszu Brzesko natomiast współczynnik filtracji dla warstw górno- i dolnoistebniańskich był średnio rzędu $k = n \cdot 10^{-6}$ m/sek. (N. Oszczytko, 1961). Na tym samym arkuszu moduł spływu podziemnego w warstwach górnoistebniańskich wynosi 1,8 l/sek./km². Wartość ta zbliża się do wielkości modułu w zlewni III masywu Śnieżnicy. W stosunku do pozostałych zlewni jest znacznie mniejsza.

Tak więc piaskowce magurskie ze Śnieżnicy są silniej zawodnione niż piaskowce i zlepieńce warstw istebniańskich na arkuszu Brzesko.

WNIOSKI

1. W świetle przeprowadzonych badań można stwierdzić, że o wodonośności piaskowców magurskich ze Śnieżnicy decyduje intensywność rozwoju spękań tektonicznych i wietrzennych, przy minimalnym wpływie porowatości. Wynika z tego, że silniej zawodnione obszary w Beskidzie Wyspowym związane są z przegubami fałdów, elewacjami poprzecznymi, strefami nasunięć oraz innymi partiami silnie tektonicznie zaangażowanymi.

2. Piaskowce warstw magurskich Beskidu Wyspowego odznaczają się dużą zmiennością parametrów hydrogeologicznych, jak szczelinowatość tektoniczna i wietrzeniowa, kierunki i rodzaje spękań oraz wykształcenie facjalne. Potwierdzają to wyniki badań piaskowców z masywu Śnieżnicy, gdzie na niewielkiej powierzchni istnieje duże zróżnicowanie w wydajnościach i szybkości filtracji.

3. Poszukiwanie źródeł zaopatrzenia w wodę w piaskowcach magurskich należy rozpoczynać od określenia szczelinowatości i kierunków spękań przypuszczalnych stref wodonośnych.

PIŚMIENNICTWO

- БУЯЛОВ Н. Я. (1953) — Структурная и полевая геология. Москва.
- КАМІЕŃSKI М. (1949) — Skały budowlane w Polsce. Biul. Inst. Geol., 57. Warszawa.
- КАМЕНСКИЙ Г. Х. (1943) — Основы динамики подземных вод. Москва.
- КУДЕЛИН Б. И. (1949) — Гидрогеологический анализ и методы определения подземного питания рек. Труд. Лаб. Гидрогеол. Проблем АН СССР, 5. Москва.
- КУДЕЛИН Б. И. (1954) — К методике картирования подземного стока. Изв. Москов. Унив., № 12. Москва.
- KULCZYŃSKI W. (1959) — Zagadnienie porowatości, szczelinowatości i przepuszczalności pokładów ropnych i gazowych w Karpatach. Nafta, nr 4, p. 102—108. Kraków.
- МАКОВ К. И. (1939) — О запасах вод Северо-Украинской мульды. Инж. геолог. и гидрогеол. сборник, № 1. Москва.
- МОЛОКОВ Л. А. (1959) — Теребля-Рикская плотина на Теребле. Геология и Плотины, 1, стр. 83—98. Москва—Ленинград.
- ЛИНЕЦКИЙ В. Ф. (1961) — О характере трещиноватости пород флиша краевой зоны Советских Карпат. Геол. Сборник Львов. Геол. Общ., № 7—8, стр. 89—99. Львов.
- OSZCZYPKO N. (1961) — Badania hydrogeologiczne fliszu na ark. Brzesko. Kwart. geol., 5, p. 997—998, nr 4. Warszawa.
- ŚWIDERSKI B. (1952) — Z zagadnień tektoniki Karpat północnych. Prace Państw. Inst. Geol., 8. Warszawa.
- ŚWIDERSKI B. (1953) — Objaśnienia do mapy geologicznej ark. Rabka, 1:50 000. Biul. Inst. Geol. Warszawa.
- ВЯЛОВ О. С. (1953) — Общее структурное подразделение западных областей УССР. Изв. АН СССР, сер. геол., № 5. Москва.

Леслав БОБЕР, Нестор ОЩИПКО

СВЯЗЬ МЕЖДУ ТРЕЩИНОВАТОСТЬЮ И ОБВОДНЕНИЕМ МАГУРСКОГО ПЕСЧАНИКА ИЗ СЪНЕЖНИЦЫ (ОСТРОВНЫЙ БЕСКИД)

Резюме

Карпаты относятся к территории относительно малоизученной в гидрогеологическом отношении, а точки зрения по факторам имеющим решающее влияние на водоносность флиша противоречивы. Авторами выполнена методически-исследовательская работа с целью определения влияния тектонических факторов на водоносность магурского песчаника. Массив Сънежницы относится к Островному Бескиду и простирается к северо-востоку от котловины Мшаны Доль-

ной. Моноклиналную синклиналъ Сњежницы слагают магурские песчаники, подстилаемые водонепроницаемыми образованиями подмагурских и пестрых слоев. Во время исследований были определены следующие направления трещиноватости: 1) 125—155°; 2) 59—63° и 211—245°; 3) 360°. Трещиноватость магурских песчаников составляет в среднем 1,2%. Были определены также следующие гидрогеологические показатели: модуль подземного потока, удельный модуль подземного потока, объемный модуль подземного потока, коэффициент обмена и продолжительность обмена. На основании гидрогеологических и тектонических наблюдений выделены три бассейны подземных вод, для которых определялся водный баланс. Водный баланс характеризуется большой изменчивостью в как будто бы однородном водоносном горизонте, который в рассматриваемом массиве образуют магурские песчаники.

Из произведенных исследований вытекает, что на водоносность магурских песчаников из Сњежницы решающее влияние оказывает интенсивность развития тектонических трещин и трещин выветривания, при минимальном влиянии пористости. Из этого следует, что сильнее обводненные площади в Островном Бескиде связаны с перегибами складок, поперечными поднятиями, зонами надвигов и др. элементами сильно тектонически нарушенными.

Lesław BOBER, Nestor OSZCZYTKO

RELATION OF JOINTING TO WATER CONTENTS IN THE MAGURA SANDSTONE FROM ŚNIEŻNICA (BESKID WYSPOWY)

S u m m a r y

The Carpathians belong to the areas relatively little known as concerns their hydrogeological conditions, and opinions on factors deciding upon the water contents in the flysch are contradictory. To determine the influence of tectonical factors upon water contents of the Magura sandstones, the present authors commenced a methodical and research work on this problem. The Śnieżnica massif belongs to the Beskid Wyspowy and stretches northeast of the Mszana Dolna dale. The monoclinal syncline of Śnieżnica is built up of the Magura sandstones underlain by the impermeable formations of the sub-Magura beds and variegated beds.

During the investigations the following directions of fractures have been determined: 1) 125—155°, 2) 59—63° and 211—245°, as well as 3) 360°.

The jointing of the Magura sandstones amounts approximately 1,2 per cent. Moreover, the following hydrogeological parameters have also been determined: modulus of underground flow, exchange coefficient and time of exchange. On the basis of hydrogeological and tectonical observations three ground water basins have been distinguished, for which the value of water balance has been established. The water balance proved to be very differentiated within the apparently uniform water-bearing bed, which in the massif under discussion is represented by the Magura sandstones.

It results of the investigations made that the water contents in the Magura sandstones from Śnieżnica depend upon intensity of development of tectonical and

weathering fractures, as well as upon minimum influence of porosity. Hence, it may be assumed that the areas of increased water contents are connected within the Beskid Wyspowy with the fold bends, transverse elevations, overthrust zones and other strongly tectonically disturbed regions.

TABLICA I

- Fig. 1. Fragment kamieniołomu nr 2. Widoczna gęsta sieć spękań przypowierzchniowych z charakterystycznymi „hakami“ zboczowymi.
Fragment of stonequarry Nr. 2. A dense network of near-surface fractures with characteristic slope “hooks”
- Fig. 2. Fragment kamieniołomu nr 3. Piaskowce magurskie z wkładkami łupków. Widoczne szczeliny normalne, skośne oraz podrzędne uwarstwienia.
Fragment of stonequarry Nr. 3. Magura sandstones with shale intercalations. Normal and diagonal fractures as well as subordinate bedding are visible.

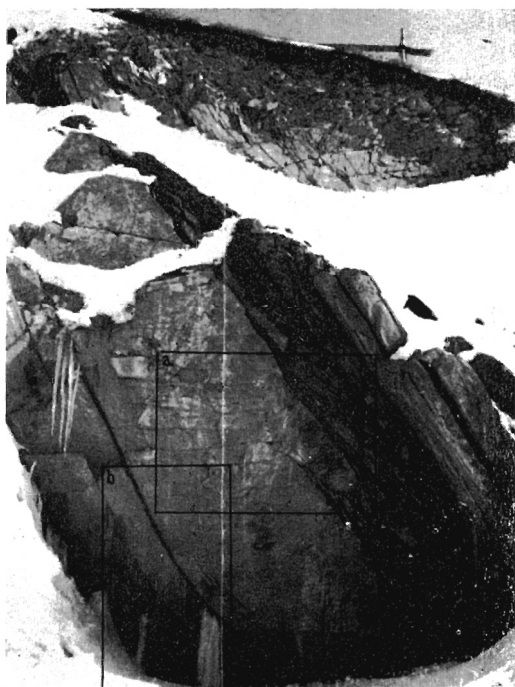


Fig. 1



Fig. 2

Lesław BOBER, Nestor OSZCZEPKO — Związek między szczelnością i zawadnieniem płaskowca magurskiego ze śnieżnicy

TABLICA II

Fig. 3. Piaskowiec magurski. Szczeliny uwarstwienia oraz sieczne. Widoczne wpływy wód gruntowych, na kontakcie piaskowca z wkładką łupków. Fragment „b” powiększony z fot. 1.

Magura sandstone. Bedding and cross fractures. At the contact of sandstone and shale intercalation, the influence of ground water may be observed. The “b” fragment enlarged from the photograph 1.

Fig. 4. Kontakt piasków magurskich z wkładką łupków. Szczeliny normalne oraz oraz sieczne. Fragment „a” powiększony z fot. 1.

Contact of the Magura sandstones with the shale intercalation. Normal and cross fractures. The “a” fragment enlarged from the photograph 1.



Fig. 3

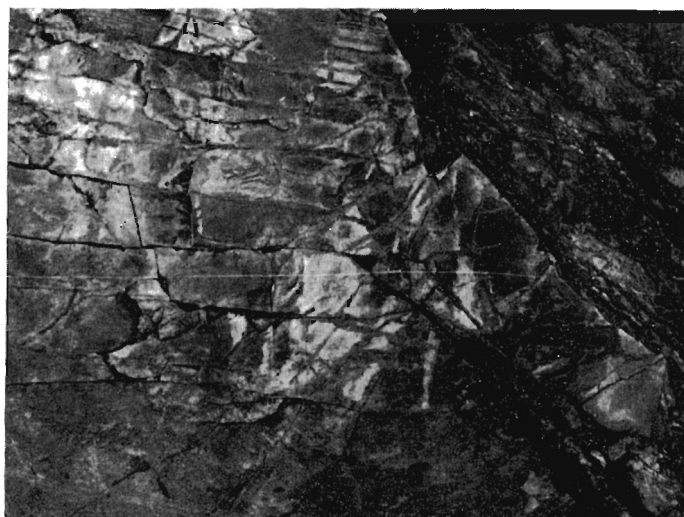


Fig. 4

Lesław BOBER, Nestor OSZCZYPKO — Związek między szczelinowością i zawodnieniem
płaskowca magurskiego ze śnieżnicy