

Nestor OSZCZYPKO, Józef CHOWANIEC, Andrzej KONCEWICZ

WODONOŚNOŚĆ PIASKOWCÓW MAGURSKICH W ŚWIETLE BADAŃ WODOCHŁONNOŚCI

(18 Fig.)

Water-pressure tests of the Magura sandstones

(18 Figs)

Nestor Oszczypko, Józef Chowaniec, Andrzej Koncewicz: Water-pressure tests of the Magura sandstones. Summary. Ann. Soc. Geol. Poloniae, 51—1/2: 273—302, 1981 Kraków.

Abstract: Water-pressure tests were made in the Magura sandstones in the northern part of the Beskid Sądecki and the western part of the Beskid Niski (Polish Carpathians). The potential capacity of wells was determined, and factors affecting the water-bearing capacity of lithologically homogeneous sediments were discussed.

Key words: Polish Carpathians, Magura nappe, Magura sandstones, water-pressure tests, permeability-depth relation, capacity of wells.

Nestor Oszczypko, Józef Chowaniec, Andrzej Koncewicz: Instytut Geologiczny, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków

manuscript received: February, 1980

accepted: May 1980

Treść: Wykonano analizę wodochłonności piaskowców magurskich w północnej części Beskidu Sądeckiego oraz w zachodniej części Beskidu Niskiego. Określono potencjalne wydajności pojedynczych studni oraz omówiono czynniki wpływające na wodonośność jednorodnych litologicznie osadów.

WSTĘP

Piaskowce magurskie z uwagi na swe wykształcenie litologiczne już dawniej wzbudzały zainteresowanie jako potencjalne zbiorniki wód podziemnych. Problematykę tę szerzej naświetlili Bober i Oszczypko (1964). Oszacowali oni miąższość strefy przepuszczalnej w piaskowcach magurskich na 100 m oraz wykazali związek wodonośności piaskowców magur-

skich Śnieżnicy z ich szczelinowatością. Podobnego typu badania w Beskidzie Wyspowym prowadzone były także przez Skowron (1965) i Rączyńską (1967). Równocześnie z pracami kartograficznymi zapoczątkowane zostały w rejonie Rabki (Michalik, 1965) oraz Nowego Sącza (Oszczypko, 1966a), za pomocą wierceń, badania wodonośności piaskowców magurskich. Maksymalne wydajności uzyskane z tych wierceń wynosiły od 9 m³/h w Rabce do 24 m³/h w okolicach Nowego Sącza, gdzie warstwy magurskie były najsilniej przepuszczalne do głębokości 30 m. Ze wzrostem głębokości przepuszczalność ich malała do $k = 3,1 \cdot 10^{-6}$ m/s na głębokości 76 m. Średnia przepuszczalność całego profilu wynosiła $k = 1,04 \cdot 10^{-5}$ m/s. Kołowe sondowanie elektryczne wykonane w pobliżu wiercenia wykazały, iż miąższość strefy przepuszczalnej w dnie doliny wynosi 75 m, natomiast na zboczu i dziale wodnym nie przekracza 45 m (Oszczypko, 1966a).

W badaniach hydrogeologicznych fliszu oprócz wierceń bardzo przydatne okazały się wyniki badań wodochłonności. Pozwoliły one prześledzić na dużym materiale faktycznym zmienność przepuszczalności fliszu z głębokością. Teoretyczne podstawy badań wodochłonności we fliszu opisał Jawański (1965). Podjęto także próbę powiązania tych badań z pomiarami makro- i mikroszczelinowatości (Oszczypko, 1966b). Badania te znacznie poszerzone zostały przez Jawańskiego (1973) oraz Jawańskiego i Thiela (1979). Autorzy ci stworzyli model teoretyczny przepływu wód pod obiektami hydrotechnicznymi, z uwzględnieniem anizotropii hydraulicznej utworów fliszowych. Charakterystykę wodochłonności utworów fliszowych podał Niedzielski (1974). Autor ten doszedł do następujących konkluzji: wodochłonność jednostkowa zasadniczo nie zależy od wykształcenia litologicznego fliszu oraz „nie wykazuje ścisłej korelacji z głębokością”. Największą chłonność wykazują strefy płytkie, do głębokości 15, wyjątkowo 30 m. Poniżej tych głębokości podwyższone chłonności mają bezpośredni związek z zaburzeniami tektonicznymi.

Inny nieco model przepuszczalności fliszu w Beskidach Śląsko-Morawskich opisali Jetel i Rybářová (1975). Wyróżniają oni przypowierzchniową strefę silnie rozluźnionych skał o miąższości 30—40 m, strefę spękań otwartych sięgającą głębokości około 100 m oraz niżej leżącą strefę występowania pojedynczych spękań, głównie pochodzenia tektonicznego. W piaskowcach gruboławicowych dla strefy pierwszej autorzy ci podają średni (mediana) indeks przepuszczalności $Z = 3,0 — 3,8$ ¹.

¹ Indeks przepuszczalności zdefiniował Jetel (1974):

$$Z = \log (10^6 q') M$$

gdzie:

q' — wydajność jednostkowa w l/s/1 m depresji

M — miąższość warstwy wodonośnej w m

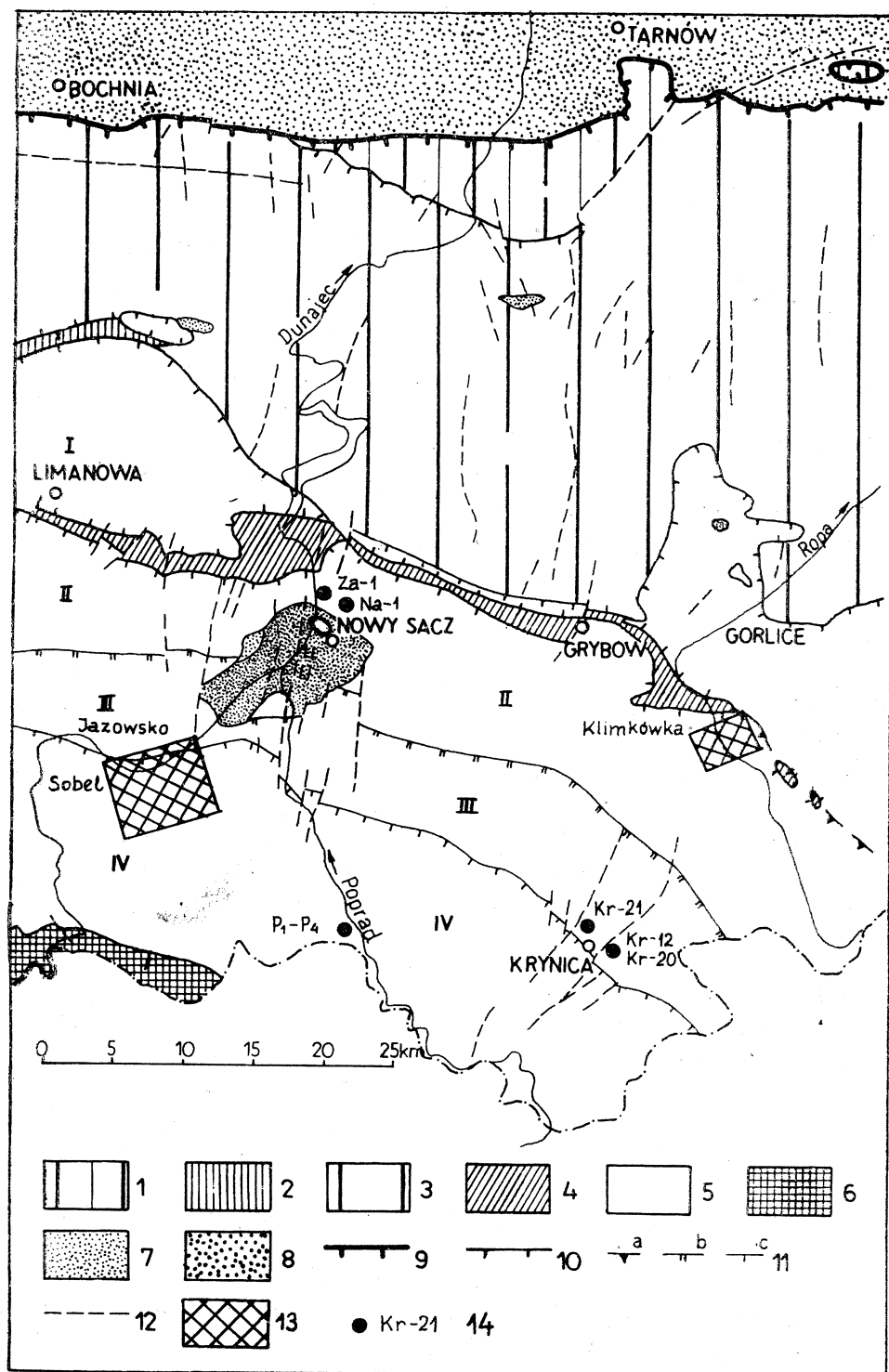
W roku 1978 ukazała się praca Niedzielskiego (1978) o występowaniu wód podziemnych w utworach fliszowych. Na podstawie badań wodochłonności autor ten stwierdził, iż przeciętna głębokość, do której występują słodkie wody podziemne we fliszu wynosi od 30 m w dnie doliny, do 40 m na zboczach, wyjątkowo 100 m. Poniżej tej głębokości występują wody o podwyższonej mineralizacji. Przepuszczalność fliszu uzależniona jest od relaksacji górotworu. Górotwór spękany, lecz nie zrełaksowany jest nieprzepuszczalny. W oparciu o analizę statystyczną Niedzielski (1978) dowodzi, iż średnia wydajność fliszu wynosi $0,91 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji 5 m, bez względu na zmiany facjalne oraz położenie studni w stosunku do jednostek tektonicznych.

Podobną problematyką zajmuje się także Małecka i Murzynowski (1978). Ich zdaniem dolna granica strefy spękań otwartych, umożliwiających swobodne krążenie wód, przebiega na głębokości 80—100 m. W skali regionu dominują studnie o wydajności $1,0\text{—}2,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Wydajności większe od $10 \text{ m}^3/\text{h}$ spotyka się w strefach zaburzeń tektonicznych oraz przykrawędziowych partiach dolin.

W osadach fliszowych Karpat zewnętrznych Kleczkowski (1979) wyróżnił ostatnio następujące pionowe strefy spękań wodonośnych: I — strefa spękań wietrzenia współczesnego (do głębokości 10—15 m), II — strefa spękań głębokiego wietrzenia oraz spękań odprężeniowych (do głębokości 60—70 m), III — strefa spękań tektonicznych (poniżej głębokości 60—70 m).

W niniejszej pracy postawiono sobie za cel przeanalizowanie wodochłonności piaskowców magurskich w różnych sytuacjach morfologicznych i tektonicznych. Ponadto w oparciu o badania wodochłonności podjęto próbę określenia potencjalnej wydajności pojedynczych studzien oraz przedyskutowano czynniki wpływające na wodonośność litologicznie jednorodnych osadów.

Analizę tę przeprowadzono na przykładzie północnych stoków Beskidu Sądeckiego, między Tylmanową i Jazowskiem (fig. 1), gdzie projektowana jest elektrownia szczytowo-pompowa „Sobel”. Jest to obszar szczegółowo rozpoznany i dobrze znany autorom (Oszczypko et al., 1974). Oprócz prac kartograficznych w ostatnich latach wykonane tutaj zostały wiercenia zaprojektowane przez autorów lub w porozumieniu z nimi. Nadzór wierceń oraz prace dokumentacyjne prowadzone były przez mgr inż. H. Salę z PGBW „Hydrogeo”, mgr inż. J. Pauli-Wilga oraz mgr inż. A. Frysztak-Kurek z Zakładu Badań Geologicznych KG „Południe” w Krakowie. Wszystkim Paniom autorzy serdecznie dziękują za udostępnienie wyników badań wodochłonności. Ponadto dla celów porównawczych wykorzystano wyniki badań z Jazowska (Guzik, 1950) oraz Klimkówki koło Ropy (Dzierwa et al. 1973).



CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA TERENU BADAŃ

W ostatnich latach budowa geologiczna północnych stoków Beskidu Sądeckiego między Jazowskiem i Tylmanową przedstawiona została w kilku publikacjach Oszczyпки (1975, 1979a, 1979b). Obszar ten należy do jednostki magurskiej (strefa sądecka i krynicka). Najstarsze utwory strefy sądeckiej występują poza terenem badań. Są to łupki pstre (paleocen — dolny eocen), warstwy belowskie (dolny eocen) oraz warstwy łąckie (dolny i środkowy eocen). Przedmiotem naszych badań były warstwy z Maszkowic (środkowy eocen) leżące na warstwach łąckich i przykryte przez cienkoławicowy flisz ze smugami łupków pstrych (warstwy z Jazowska — środkowy — górny eocen). Warstwy z Maszkowice przebadano otworem K-3 na prawym zboczu doliny Dunajca, bezpośrednio na północ od dyslokacji krynickiej (fig. 2).

Pod kilkumetrową warstwą glin zwietrzelinowych i rumoszków nawiercono ciekawą wkładkę łupków pstrych z *Cyclammina amplexans* (Oszczyčko, 1979b). Poniżej głębokości 7,0 m aż do głębokości końcowej 105 m wiercono w piaskowcach gruboławicowych, niebieskoszarych, jasnowietrzających, kruchych. Grubość poszczególnych rytmów wynosiła od kilkudziesięciu cm do kilku metrów. Najwyższą część rytmu, nie zawsze zachowaną, stanowią mułowce muskowiowe z detrytusem roślinnym, równolegle laminowane oraz niekiedy popielatoszare łupki margliste. Cechą charakterystyczną piaskowców jest obecność w nich licznych, słabo obtoczonych fragmentów łupków i mułowców. Opisane piaskowce reprezentują typ osadów zbliżony do piaskowców magurskich. Od piaskowców magurskich w strefie krynickiej różnią się one nie tylko niższą pozycją stratygraficzną, lecz także znacznie mniejszą odpornością

Fig. 1. Położenie terenu badań (sytuacja geologiczna wg Świdzińskiego, uzupełniona przez Oszczyčko (1973)). 1) Jednostka skolska, 2) Jednostka podśląska, 3) Jednostka śląska, 4) Jednostka dukielsko-grybowska, 5) Jednostka magurska, 6) Pieniński pas skałkowy, 7) Płaty mioceńskie na Karpatach, 8) Miocen zapadliska przedkarpackiego, 9) Brzeg Karpat fliszowych, 10) Ważniejsze nasunięcia, 11 — Linie kontaktów między strefami facjalnymi płaszczowiny magurskiej, 12) Ważniejsze uskoki, 13) Teren badań, 14) Studnie wiercone w warstwach magurskich. I — strefa gorlicka północna, II — strefa gorlicka południowa (Zabełcza—Trzetrzewiny), III — strefa sądecka, IV — strefa krynicka

Fig. 1. Geological sketch of the area studied (after H. Świdziński, supplemented by Oszczyčko, 1973). 1) Skole unit, 2) Subsilesian unit, 3) Silesian unit, 4) Dukla—Grybów unit, 5) Magura unit, 6) Pieniny Klippen Belt, 7) Miocene remains overlying Flysch deposits, 8) Miocene deposits of Carpathian Foreland, 9) Margin of Flysch Carpathians, 10) More important overthrusts, 11) Contact lines between facial zones of the Magura nappe, 12) More important faults, 13) Position of the area studied, 14) Wells bored within Magura beds. I — Northern Gorlice zone, II — Southern Gorlice zone (Zabełcza—Trzetrzewiny), III — Sącz zone, IV — Kry-nica zone

na denudację (Oszczypko, 1979b). Przewiercone osady leżą normalnie, a kąt upadu wynosi od 25 do 60°. W strefie krynickiej najstarszymi osadami są warstwy ropianieckie (senon — paleocen), ukazujące się w brzeżnej części strefy. Wyżej leżące warstwy z Zarzecza (paleocen —

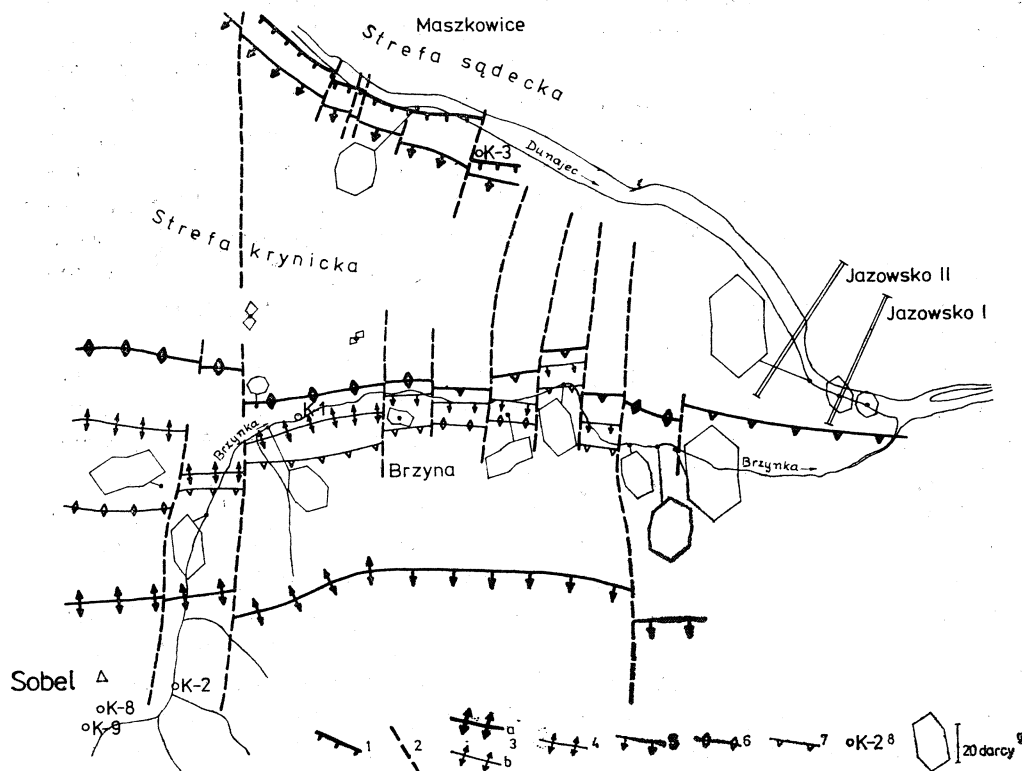


Fig. 2. Szkic tektoniczny Beskidu Sądeckiego między Tylmanową i Jazowskiem (według Oszczypko et al., 1974). 1) Dyslokacja krynicka, 2) Ważniejsze uskoki, 3) a) Ośie ważniejszych fałdów, b) Ośie drugorzędnych fałdów, 4) Siodła z pionową płaszczyzną osiową, 5) Siodła z pochyloną płaszczyzną osiową, 6) Łęki z pionową płaszczyzną osiową, 7) Łęki z pochyloną płaszczyzną osiową, 8) Wiercenia, 9) Diagram przepuszczalności szczelinowej

Fig. 2. Tectonical sketch of the Beskid Sądecki Mts. between Tylmanowa and Jazowsko (after Oszczypko et al., 1974). 1) Krynicka dislocation, 2) More important faults, 3) a) Axes of more important folds, b) Axes of secondary folds, 4) Anticlines showing vertical axial plane, 5) Anticlines showing inclined axial plane, 6) Synclines showing vertical axial plane, 7) Synclines showing inclined axial plane, 8) Boreholes, 9) Diagram of fissure permeability

dolny eocen), to flisz cienkoławicowy. Kolejne ogniwo to warstwy z Piwnicznej (dolny i środkowy eocen), reprezentowane przez piaskowce gruboławicowe oraz zlepieńce egzotyczne. Przykrywają je łupkowe warstwy z Kowańca (środkowy eocen) o niewielkiej miąższości. Najmłodszym ogniwem Beskidu Sądeckiego są warstwy magurskie (górny eocen),

o miąższości przekraczającej 500 m. Są one głównym elementem grzbietotwórczym w Beskidzie.

Głównym składnikiem warstw magurskich są piaskowce gruboławicowe. Najczęściej spotykana grubość ławic wynosi 1—2 m, rzadziej obserwuje się ławice cieńsze oraz bardzo grube (do 5 m). Piaskowce są niebieskoszare, żółto wietrzące. W składzie petrograficznym przeważa kwarc, a w dalszej kolejności skalenie i ziarna litoklastyczne. Spoiwo piaskowców jest wapienno-ilaste. Często są grube rytmy, prawie całkowicie pozbawione najwyższych członów (mułowce i łupki). W obrębie piaskowców magurskich grubsze pakiety fliszu drobnorytmicznego (do 7 m) stwierdzono w otworze K-2 i K-8. Pakiety fliszu cienkoławicowego spotyka się w najniższej części warstw magurskich, na przejściu do warstw z Kowańca.

W obrębie warstw magurskich odwiercono otwory K-1, K-2, K-8, K-9 oraz prawie wszystkie otwory w rejonie Jazowskiego. W otworach tych warstwy magurskie prawie wszędzie leżały normalnie, przy upadzie warstw wynoszącym od 20 do 35°.

Opisane strefy facjalne stanowią zarazem jednostki strukturalne niższego rzędu. Rozdziela je podłużna dyslokacja krynicka, stroma, często wstecznie (ku S) przechylona (Oszczypko, 1979b).

Otwór K-1 usytuowany był w osiowej części, wtórnie przełamanej, synkliny Zabrzeża-Brzyny a na północnym jej skrzydle wiercenia w Jazowsku. Wiercenia K-2, K-8 i K-9 zlokalizowane zostały na północnym skrzydle synkliny Sobla Tyłmanowskiego (fig. 3). W strefie sądeckiej odwiercono tylko otwór K-3 usytuowany w synklinie Łącka.

W obrębie piaskowców magurskich oraz piaskowców z Maszkowic wykonano pomiary spękań w 16 punktach obserwacyjnych (Oszczypko 1979a). Na każdym stanowisku dokonano 50—100 pomiarów. Wyróżniono spękania podłużne i poprzeczne do biegu warstw. Wśród tych ostatnich często obserwowano dwa, a nawet cztery podsystemy przecinające się pod małym kątem (8—30°). Podsystemy te są ze sobą parami sprzężone. Nachylenie płaszczyzn ciosowych wynosiło 20 do 90°, najczęściej 60—80°. Spękania podłużne prawie zawsze zapadają w kierunku przeciwnym do upadu warstw, ponieważ są one najczęściej prostopadłe do uławicenia. Dla wyróżnionych systemów pomierzono gęstość spękań (Smiechov et al., 1962, Oszczypko, 1966b). W piaskowcach gruboławicowych średnia gęstość spękań wynosiła od 2 do 11¹/mb. Gęstość spękań podłużnych wahała się od 2 do 7¹/mb i często była niższa od gęstości spękań poprzecznych. Dotyczy to zwłaszcza stref przyuskokowych, gdzie wzrasta ona do 15—24¹/mb, prowadząc niekiedy do zbrekcjowania skał.

Rdzenie wiertnicze często były silnie spękane. Dotyczy to zwłaszcza otworu K-1 i K-3. W otworze K-1 w górnej części profilu zaobserwowano liczne spękania otwarte, stromo zapadające (60—70°). Na podstawie obserwacji ścianek szczelin można wnosić, iż powstały one pod wpływem

naprężeń rozciągających. Spękanom towarzyszyły liczne zlustrowania. Do głębokości 66 m na ściankach szczelin występowały tutaj naloty limonityczne. W otworze K-2 nacieki takie występowały do głębokości 20 m, w K-3 do głębokości 24 m. W tym ostatnim wierceniu przeważały spękania prostopadłe do uławicenia. Większość z nich była zabliźniona kalcytem, ale spękania otwarte też notowano.

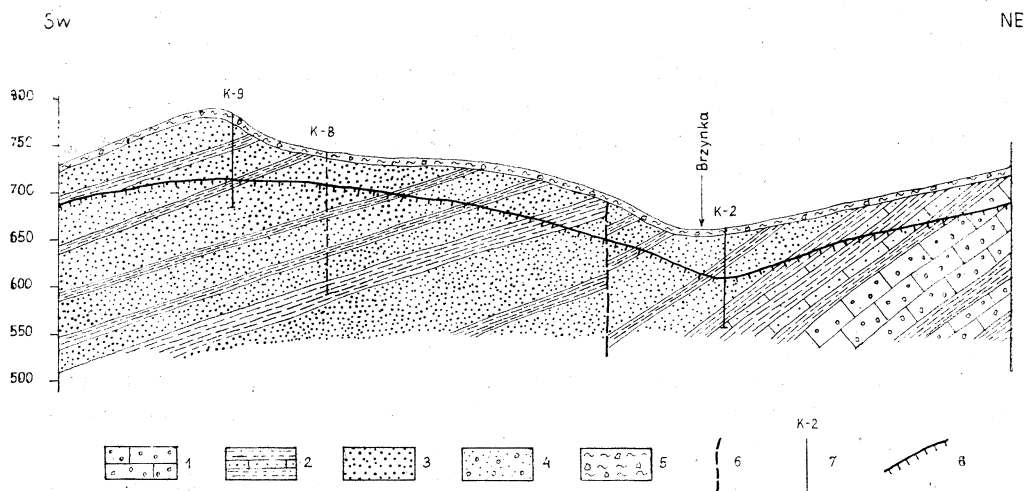


Fig. 3. Przekrój geologiczny przez dolinę Brzynki 1) Warstwy z Piwnicznej, 2) Warstwy z Kowańca, 3) Warstwy magurskie, Czwartorzęd: 4) Osady rzeczne, 5) Gliny zwietrzelinowe z rumoszem piaskowców, 6) Uskoki, 7) Wiercenia, 8) Spąg strefy przepuszczalnej ($q = 0,05$ l/min/m/m przy 0,2 MPa (2 at))

Fig. 3. Geological cross-section of the Brzyznka river valley 1) Piwniczna beds, 2) Kowaniec beds, 3) Magura beds, Quaternary: 4) Fluvial deposits, 5) Weathering clay containing sandstone debris, 6) Faults, 7) Boreholes, 8) Bottom of the permeable zone ($q = 0.05$ l/min/m/m at 0.2 MPa (2 at))

Na podstawie wykonanych pomiarów określono przepuszczalność kierunkową. W tym celu wykorzystano znaną formułę Romma (Smiechov 1962) dla filtracji poziomej:

$$K_p = 8,45 \cdot 10^6 \sum_{i=1}^n b_i^3 G_i (\sin^2 \alpha_i \cos^2 \varphi_i + \cos^2 \alpha_i)$$

gdzie:

- K_p — współczynnik przepuszczalności szczelinowej w darcy
- b — rozwarcie szczelin w cm
- G — gęstość spękań danego systemu w 1/cm
- α — kąt zapadania szczelin danego systemu
- φ — kąt między określonym kierunkiem filtracji i kierunkiem danego systemu spękań.

Przepuszczalność obliczono dla następujących kierunków: 0° , 45° , 90° oraz 135° . Z uwagi na brak danych dla wszystkich systemów spękań

przyjęto średnie rozwarcie $b = 0,25$ mm — odpowiadające granicy między szczelinami nadkapilarnymi i kapilarnymi. Na poszczególnych kierunkach przepuszczalność wynosiła od 5,6 do 27,4 darcy ($k = n \cdot 10^{-5}$ — $n \cdot 10^{-4}$ m/s). Największą przepuszczalność (fig. 2) stwierdzono w Jazowsku na prawym brzegu Dunajca (Jazowsko II) oraz w środkowym biegu Brzynki. Najczęściej wiąże się ona ze spękaniami poprzecznymi, tworzącymi kilka podsystemów. Ich sumaryczna gęstość prawie zawsze jest większa od gęstości spękań podłużnych. W dolinie Brzynki w strefie przyuskokowej duża przepuszczalność w kierunku równoległym do dyslokacji uwarunkowana jest nie tylko spękaniami poprzecznymi, lecz także podłużnymi (przyuskokowy skręt rozciągłości warstw). Przy kilku systemach spękań o równej gęstości diagram przepuszczalności przyjmuje kształt kolisty, charakterystyczny dla środowiska izotropowego (fig. 2).

WODOCHŁONNOŚĆ PIASKOWCÓW MAGURSKICH

Od kilkudziesięciu lat w praktyce budownictwa wodnego stosuje się badania wodochłonności. Mają one na celu ustalenie stopnia przepuszczalności spękaných masywów skalnych w miejscu projektowanych zapór wodnych. Badania te polegają na zatłaczaniu wody, przy stałym ciśnieniu do odcinka otworu wiertniczego. Ilość wtłoczonej wody w jednostce czasu (l/min) podzielona przez długość badanego odcinka (w m) oraz ciśnienie badawcze (w przeliczeniu na 1 m słupa wody) daje nam wodochłonność jednostkową „q” wyrażoną w l/min/m/m. Uzyskana wartość służy do porównania stopnia przepuszczalności i szczelności podłoża skalnego. Według normy branżowej BN-70/8950 przyjmuje się, iż „porównywalną wodochłonnością jednostkową” jest wodochłonność uzyskana przy ciśnieniu badawczym 0,2 MPa (2 at). Metodę badań wodochłonności oraz wpływ różnych czynników na wyniki badań szeroko omawia wspomniana norma, publikacja Jawańskiego (1965) oraz Muchowskiego i Stochlaka (1965).

W niniejszej pracy porównano i przeanalizowano wyniki badań wodochłonności piaskowców magurskich w rejonie „Sobla”, Jazowska oraz Klimkówki koło Gorlic. Przedmiotem analizy była wodochłonność uzyskana przy ciśnieniu badawczym 0,2 MPa (2 at).

Wyniki badań wodochłonności opracowano za pomocą metod analizy statystycznej. Zmiany wodochłonności z głębokością aproksymowano funkcją logarytmiczną oraz wielomianami stopnia n ($n = 1-5$). Stopień dopasowywania funkcji aproksymującej do istniejących danych badano za pomocą współczynnika determinacji (Nieć, 1977). Analiza rozkładów wodochłonności wykazała wielokrotne nakładanie się rozkładów normalnych. Zjawisko to spowodowane jest strefowymi zmianami wodochłonności z głębokością. Problem ten szerzej omawiają Jetel i Rybářová

(1975). Wszystkie obliczenia wykonano na EMC Odra 1305 w Branżowym Ośrodku Informatyki Górnictwa Naftowego i Gazownictwa w Krakowie. Wybrane wyniki obliczeń podano w tabelach (1, 2).

S o b e l

We wszystkich pięciu otworach badania wodochłonności wykonano do głębokości 100 m. Sytuację geologiczną tych otworów omówiono już uprzednio. Otwór K-1 (fig. 4) usytuowano w środkowym biegu Brzynki

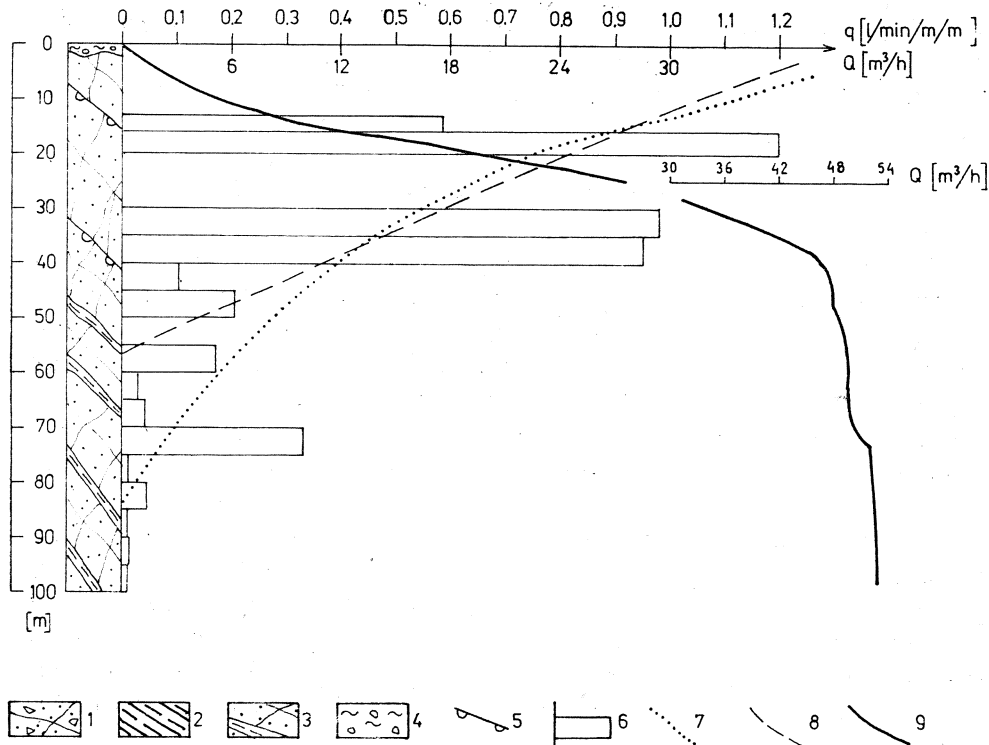


Fig. 4. Profil wiercenia K-1 wraz z wynikami badań. 1) Piaskowce z Maszkowic, 2) Łupki pstre z *Cyclammina amplexans* Grzybowski, 3) Warstwy magurskie, 4) Czwartorzęd, 5) Położenie hieroglifów, 6) Wodochłonność jednostkowa (q) przy 0,2 MPa (2 at), 7) Zależność wodochłonności jednostkowej od głębokości — przybliżenie logarytmiczne, 8) Zależność wodochłonności jednostkowej od głębokości — przybliżenie wielomianem stopnia 3, 9) Przyrosty wodochłonności całkowitej (Q) z głębokością przy ciśnieniu 0,2 MPa (2 at)

Fig. 4. Profile of the K-1 borehole and the results of examinations 1) Maszkowice sandstones, 2) Variegated shales with *Cyclammina amplexans* Grzybowski, 3) Magura beds, 4) Quaternary, 5) Position of hieroglyphes, 6) Unit water-pressure tests (q) at 0.2 MPa (2 at), 7) Relation between unit water-pressure tests and depth — logarithmic approximation, 8) Relation between unit water-pressure tests and depth — approximation using polynomial of 3d degree, 9) Increases of total water-pressure tests (Q) with depth at the pressure of 0.2 MPa (2 at)

(fig. 2), na tarasie holocenijskim. Podobną lokalizację miał otwór K-2 (fig. 5), położony w górnym biegu Brzynki. Otwór K-3 (fig. 6) zlokalizowano w Świniochówce na prawym zboczu doliny Dunajca. Pozostałe dwa

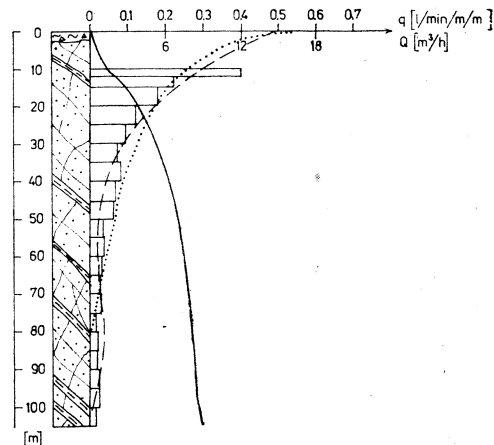


Fig. 5. Profil wiercenia K-2 wraz z wynikami badań. Objaśnienia jak na Fig. 4
Fig. 5. Profile of the borehole K-2 and the results of examination. Explanations as in Fig. 4

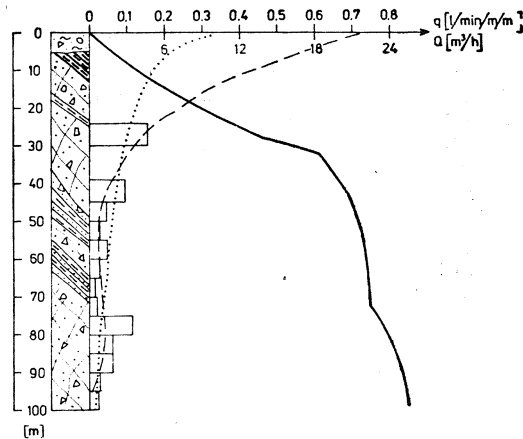


Fig. 6. Profil wiercenia K-3 wraz z wynikami badań. Objaśnienia jak na Fig. 4
Fig. 6. Profile of the borehole K-3 and the results of examination. Explanations as in Fig. 4

otwory K-8 i K-9 odwiercono na lewym zboczu Brzynki (fig. 7) oraz na działce wodnym między Brzynką (fig. 8) i bezimiennym potokiem, wpadającym do Dunajca w Wietrznicy. Obydwa te otwory usytuowane były około 110 m ponad dnem doliny Brzynki.

W wymienionych otworach wodochłonność jednostkowa wahała się od 0,008 do 1,208 l/min/m/m (K-1). Najwyższą wartością średnią odznaczał

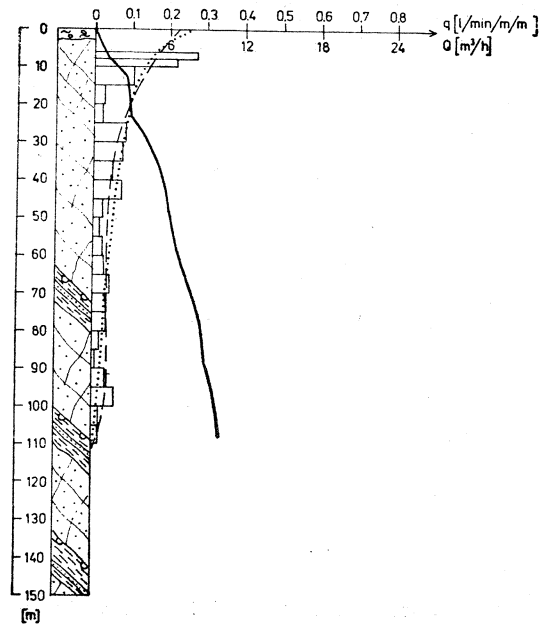


Fig. 7. Profil wiercenia K-8 wraz z wynikami badań. Objaśnienia jak na Fig. 4
Fig. 7. Profile of the borehole K-8 and the results of examination. Explanations as in Fig. 4

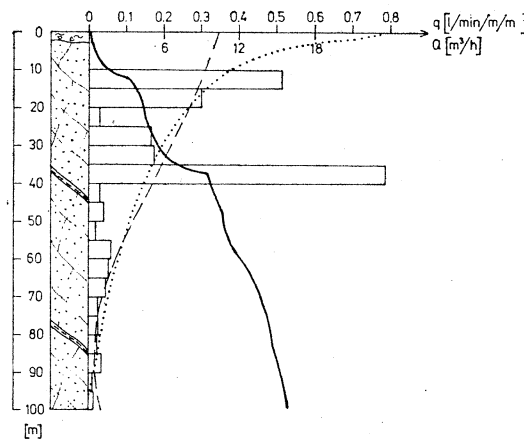


Fig. 8. Profil wiercenia K-9 wraz z wynikami badań. Objaśnienia jak na Fig. 4
Fig. 8. Profile of the borehole K-9 and the results of examination. Explanations as in Fig. 4

się K-1, a w dalszej kolejności K-9, K-3, K-2 i K-8 (tabela 1). Najniższym współczynnikiem zmienności odznaczały się dane z K-3, najwyższym z K-9. We wszystkich otworach zaznaczyła się silna, istotna, ujemna korelacja między wodochłonnością jednostkową i głębokością (tabe-

Tabela 1

Charakterystyka statystyczna wodochłonności jednostkowej (przy 0,2 MPa—2 at)

Rejon	Otwór (grupa otworów)	N	q l/min/m/m				V %	r ^x
			X	min	max	S		
Sobel	K-1	26	0,214	0,005	1,208	0,330	154,2	—0,752
	K-2	40	0,077	0,011	0,403	0,094	122,0	—0,750
	K-3	26	0,049	0,011	0,176	0,042	85,7	—0,449
	K-8	41	0,054	0,08	0,276	0,058	107,4	—0,564
	K-9	35	0,123	0,08	0,810	0,200	162,6	—0,487
	Łącznie	168	0,098	0,005	1,208	0,178	181,6	—0,450
Jazowsko	Jazowsko I	37	0,249	0,033	0,830	0,243	97,5	—0,679
	Jazowsko II	154	0,285	0,030	1,300	0,266	93,3	—0,470
Klimkówka	prawe zbocze	274	0,093	0,000	0,717	0,132	141,9	—0,264
	lewe zbocze	203	0,070	0,000	0,595	0,099	141,4	—0,287
	Łącznie	477	0,083	0,000	0,717	0,119	143,2	—0,273

Objaśnienia:

- q — wodochłonność jednostkowa w l/min/m/m przy 0,2 MPa (2 at)
 X — wartość średnia
 min — wartość minimalna
 max — wartość maksymalna
 S — średnie odchylenie standardowe
 V — współczynnik zmienności w %
 r — współczynnik korelacji między wodochłonnością jednostkową i głębokością
 N — liczebność zbioru
 x — współczynnik korelacji istotny na poziomie ufności 0,05

la 1). Największą siłę związku wykazywał otwór K-1 i K-2, najniższą otwór K-3.

W poszczególnych otworach w sposób zróżnicowany maleje wodochłonność z głębokością. W K-1 i K-9 zaznaczył się gwałtowny spadek wodochłonności, w pozostałych wierceniach stopniowy. Miąższość przypowierzchniowej strefy dobrze przepuszczalnej ($q \geq 0,1$ l/min/m/m) wynosiła: 15 m w K-8, 20 m w K-2, 30 m w K-3, 40 m w K-9 oraz 70 m w K-1. Z powyższego wynika, iż chłonność K-1 i K-9 znacznie odbiegała od pozostałych. Tendencja do stałego spadku wodochłonności z głębokością prawie we wszystkich otworach jest zaburzona anomaliasi, występującymi na głębokości od 55—70 do 75—90 m (K-3). Wielkość ich jest zróżnicowana i wynosi od około 0,05 do 0,2 l/min/m/m. Pojawienie się

tych anomalii jest prawidłowością a nie wyjątkiem, w związku z tym nie można wiązać ich tylko z zaburzeniami tektonicznymi, jak czyni to Niedzielski (1978).

Zmiany wodochłonności jednostkowej z głębokością aproksymowano za pomocą zależności liniowej, wielomianu stopnia 3 oraz zależności logarytmicznej. Stopień dopasowania krzywych do istniejących zbiorów mierzono współczynnikiem determinacji. Jego wartość wahała się od 19,0% do 95,7% (tabela 2).

Tabela 2

Tabela współczynników determinacji

Rejon	Otwór	Sc	Równanie liniowe		Wielomian 3 stopnia		Równanie logarytmiczne	
	gr. wier.		Sk	$\eta\%$	Sk	$\eta\%$	Sk	$\eta\%$
Sobel	K-1	2,830	0,123	95,7	0,942	66,8	1,048	63,0
	K-2	0,353	0,155	56,1	0,049	86,1	0,078	77,8
	K-3	0,046	0,037	19,0	0,011	76,0	0,031	31,9
	K-8	0,138	0,091	34,3	0,071	48,5	0,071	48,7
	K-9	1,400	1,036	26,0	1,017	27,4	1,020	27,2
	Łącznie	5,523	4,197	21,2	4,050	24,0	4,078	23,4
Jazowsko	I	2,185	—	—	1,176	46,2	1,220	44,2
	II	10,896	—	—	8,260	24,2	8,326	23,6
Klinkówka	prawe zbocze	4,774	—	—	4,353	8,8	4,566	4,4
	lewe zbocze	1,989	—	—	1,829	8,1	1,829	8,1

Objaśnienia:

Sk — suma kwadratów odchyłek wartości obserwowanych od aproksymowanych

Sc — suma kwadratów odchyłek wartości obserwowanych od wartości średniej

$\eta = \left(1 - \frac{Sk}{Sc}\right) 100$ — wskaźnik determinacji w %

Najczęściej do posiadanych danych najlepiej dopasowany był wielomian stopnia 3, wyjątkowo tylko zależność liniowa (K-1). Przy zależności liniowej prosta przecina oś rzędnych na głębokości od 80 m (K-1) do 116 m (K-3). Podobnie rzecz się ma z krzywą logarytmiczną przeci-

nającą oś rzędnych na głębokości od 80 m (K-2) i 85 m (K-1) do 110 m (K-8 i K-3).

Dla wielomianów stopnia 3 otrzymano zróżnicowane zależności od prostej (K-1 — fig. 4) do paraboli stopnia 3 (K-3, K-2). Krzywe te przecinają oś rzędnych na głębokości od 56 m (K-1) do 100 m (K-2). W otworze K-2 i K-8, gdzie spadek wodochłonności z głębokością jest stopniowy, obserwujemy duże podobieństwo krzywej wielomianu stopnia 3 oraz krzywej logarytmicznej. W innych przypadkach (K-1, K-9), gdzie spadek wodochłonności z głębokością jest gwałtowny, krzywe te słabo są do siebie dopasowane.

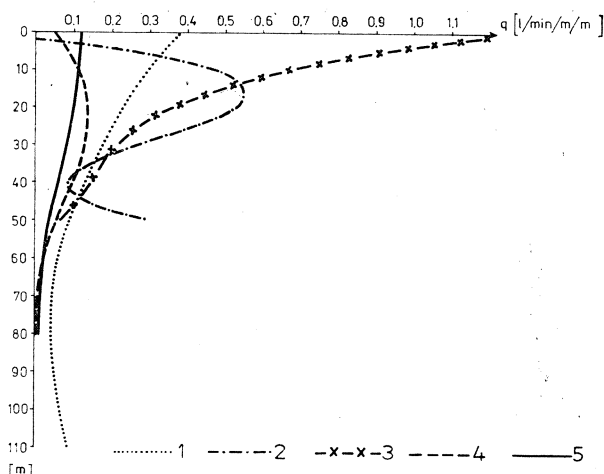


Fig. 9. Zależność wodochłonności jednostkowej od głębokości przy ciśnieniu 0,2 MPa (2 at) — przybliżenie wielomianem stopnia 3; 1) Sobel, 2) Jazowsko I, 3) Jazowsko II, 4) Klimkówka — prawe zbocze, 5) Klimkówka — lewe zbocze
Fig. 9. Relation of unit water-pressure tests and depth at the pressure of 0,2 MPa (2 at) — approximation using polynomial of 3d degree: 1) Sobel, 2) Jazowsko I, 3) Jazowsko II, 4) Klimkówka — right slope, 5) Klimkówka — left slope.

Oprócz obliczeń dla poszczególnych wierceń przebadano także cały liczący 168 danych zbiór, pochodzący ze wszystkich wierceń w rejonie Sobla. Dla opisywanego zbioru wodochłonność jednostkowa wynosiła od 0,005 do 1,208, średnio 0,098 l/min/m/m (tabela 1). Wykazuje ona istotną ujemną korelację z głębokością. Sądząc po wartości współczynnika korelacji można przypuszczać, iż wśród czynników decydujących o wielkości wodochłonności, głębokość stanowi około 21%. Dla wielomianu stopnia 3 (fig. 9) uzyskano krzywą z maksimum na powierzchni terenu (0,377) i minimum na 80 m (0,047). Dla zależności liniowej otrzymano prostą przecinającą oś rzędnych na głębokości 90 m. Funkcja logarytmiczna posiada minimum na głębokości 100 m (fig. 10). Z porównań wynika, iż najbardziej odbiegają od wartości średnich wyniki otworów K-1 i K-9. Do-

skonale charakteryzują to wartości współczynnika filtracji obliczone według formuły podanej przez Wieczystego (1970).

$$K = 1,5 \text{ qm/dobę}$$

gdzie:

q w l/min/m/m

W otworach K-1 i K-9 przy głębokościach mniejszych od 40 m maksymalne wartości współczynnika filtracji osiągają rząd $n \cdot 10^{-5}$ m/s. Najślabszą przepuszczalnością ($n \cdot 10^{-7}$ m/s) charakteryzują się piaskowce magurskie występujące na zboczu (K-8). W pozostałych otworach (K-3, K-2) do głębokości 40—45 m występują wartości pośrednie rzędu $n \cdot 10^{-6}$ m/s.

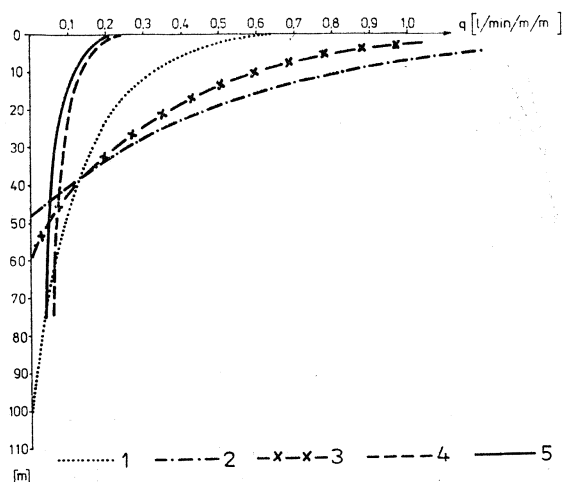


Fig. 10. Zależność wodochłonności jednostkowej od głębokości przy ciśnieniu 0,2 MPa (2 at) — przybliżenie logarytmiczne. Objasnienia jak na Fig. 9
Fig. 10. Relation of unit water-pressure tests and depth at the pressure of 0.2 MPa (2 at) — logarithmic approximation. Explanations as in Fig. 9

Średnie wartości współczynników filtracji dla strefy 100-metrowej wynoszą od $8,5 \cdot 10^{-7}$ m/s (K-3) do $3,7 \cdot 10^{-6}$ m/s (K-1). Wartość przeciętna dla wszystkich otworów wynosi $1,7 \cdot 10^{-6}$ m/s. Odpowiadają im następujące średnie wartości indeksu przepuszczalności (Z) od 2,9 (K-3) do 3,5 (K-1). Wartość średnia dla wszystkich wierceń wynosi 3,2. Są to wartości zbliżone do danych przytoczonych przez Jetla i Rybářová (1975), mimo iż dane ich dotyczyły tylko najsilniej spękannej strefy przypowierzchniowej (do 30—40 m).

Badano także związek między głębokością i uzyskiem rdzeni oraz głębokością i kątem upadu warstw, pomierzonym na rdzeniach wiertniczych (fig. 11). W obu przypadkach korelacja jest istotna ze wzrostem głębokości, uzysk rdzenia rośnie do głębokości około 30 m, po czym przyj-

muje wartość w przybliżeniu stałą. Odwrotnie rzecz ma się z kątami upadu warstw, których wielkość maleje z głębokością aż do 30 m, po czym przyjmuje wartość stałą. Z analizy tych danych można wnosić, iż najsilniej spękane są piaskowce magurskie do głębokości około 30 m. W strefie tej również przeciętna wartość kąta upadu jest statystycznie wyższa

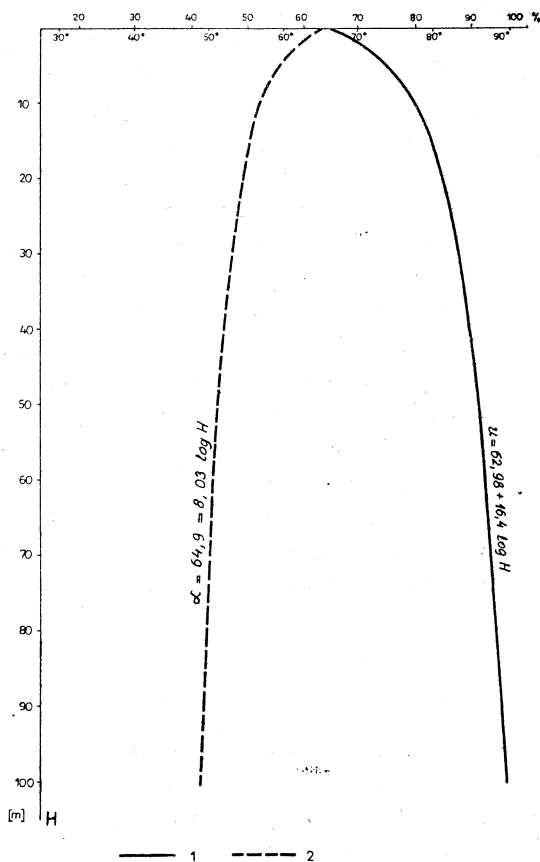


Fig. 11. Zależność uzysku rdzenia i kąta upadu warstw od głębokości (na przykładzie wierceń K-1, K-2, K-3) — przybliżenie logarytmiczne. 1) Uzysk rdzenia w %, 2) Kąt upadu warstw w °

Fig. 11. Relation of core yield and dip angle of beds versus depth (exemplified by K-1, K-2 and K-3 boreholes) — logarithmic approximation

o 5—15° od skał niżej leżących. Geneza tego zjawiska nie jest całkiem jasna, jednakże można przypuszczać, iż w strefie przypowierzchniowej, głęboko erozyjnie rozciętej, na skutek odciążenia i relaksacji naprężeń, upad warstw przyjmie wyższe wartości. Jeżeli tak jest istotnie, to zaobserwowana zależność mogłaby tłumaczyć dosyć często w Karpatach spotykaną rozbieżność pomiędzy interpretacją mapy geologicznej i wynikami wierceń. Z analizy wodochłonności wynika, iż najsilniej pokruszona, a co za tym idzie najbardziej przepuszczalna jest strefa o miąż-

szości 20—25 m. Do głębokości około 40 m występuje strefa pośrednia, niżej zaś wodochłonność bardzo szybko maleje, zbliżając się do wartości zerowej na głębokości od 55—70 m.

Badania w rejonie Sobla umożliwiają porównania wodochłonności piaskowców magurskich występujących w różnych sytuacjach geomorfologicznych (dolina Dunajca, dolina Brzynki, zbocze i dział wodny) oraz w różnych sytuacjach tektonicznych. Z porównań tych może wynikać, iż najmniejszą miąższość strefa przepuszczalna ma w dolinie Dunajca, a w dalszej kolejności w dolinie Brzynki, na zboczu oraz na wododziale. Mimo różnych sytuacji tektonicznych, w jakich odwiercono poszczególne otwory, większych różnic w wodochłonności nie obserwuje się, z wyjątkiem otworu K-1, usytuowanego w jądrze drugorzędnego siodła. Bardzo silne spękanie rdzeni, duża chłonność, obecność otwartych spękań tensyjnych oraz nacieków limonitycznych do głębokości 65 m, świadczy o dobrej przepuszczalności skał i głębokim krążeniu wód podziemnych. Z innych wierceń na uwagę zasługuje K-9, odznaczające się dużą chłonnością do głębokości 40 m. Poniżej tej głębokości podwyższoną chłonność notuje się także w przedziale 55—70 m. Duża chłonność w tym otworze nie wynika prawdopodobnie z jakichś szczególnych zaburzeń tektonicznych w tym miejscu. Bardziej prawdopodobne jest to, iż wynika ona z usytuowania na dziale wodnym. Na podstawie modelowania numerycznego (Scheidegger, 1970) wykazał, iż działy wodne oraz przylegające do nich części zboczy są całkowicie odprężone do głębokości stanowiącej 0,6 głębokości wcięcia erozyjnego.

J a z o w s k o

W Jazowsku wiercenia usytuowane zostały w zwężeniu doliny Dunajca (fig. 2) powyżej wsi (Guzik, 1950). Występują tutaj utwory strefy krynickiej, przykryte w dnie doliny żwirami i piaskami o miąższości od 4 do 12 m (fig. 12). Na zboczach doliny flisz przykryty jest przez gliny zwiertelinowe z rumoszem piaskowców oraz poziom żwirowy o wysokości 15—20 m ponad dnem doliny. Prawy przyczółek i dno do-

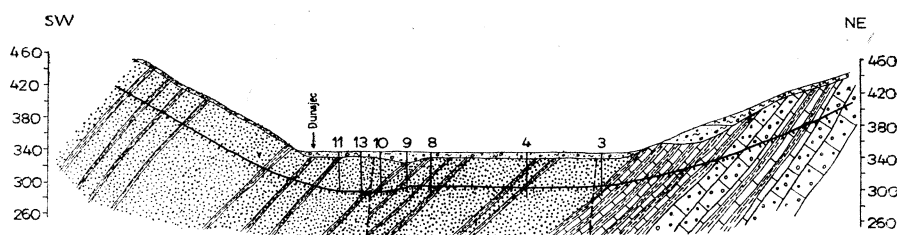


Fig. 12. Przekrój geologiczny przez dolinę Dunajca w Jazowsku (Jazowsko II) według Guzika (1950), uzupełniony przez autorów. Objaśnienia jak na Fig. 3

Fig. 12. Geological cross-section of the Dunajec river valley in Jazowsko (after Guzik, 1950, supplemented by the authors). Explanations as in Fig. 3

liny utworzone jest z gruboławicowych piaskowców (warstwy magurskie), lewy buduje kompleks łupkowo-piaskowcowy (warstwy z Kowańca) oraz piaskowce gruboławicowe i zlepieńce (warstwy z Piwnicznej). Wykształcenie warstw magurskich jest tutaj identyczne jak w dolinie Brzynki. Warstwy zapadają ($30-80^\circ$) na S.

Analizowany materiał podzielono na dwa podzbiory (Jazowsko I i Jazowsko II [fig. 2]), odpowiadające zbadanym przekrojom. Wodochłonność jednostkowa wynosiła od 0,003 do 0,83 l/min/m/m (Jazowsko I) i 1,3 l/min/m/m (Jazowsko II tabela 1). Wartości średnie wynoszą odpowiednio 0,249 i 0,285, natomiast mediany 0,15 i 0,17 l/min/m/m. W obu przypadkach obserwuje się silną ujemną korelację z głębokością. Przy wielomianie stopnia 3 (fig. 9) uzyskano krzywe mające maksimum przy powierzchni terenu oraz minimum na głębokości od 40 m (Jazowsko I) do około 55 m (Jazowsko II). Krzywa dla Jazowska I po uzyskaniu minimum ma tendencję do odchylenia w prawo. Przy wzroście stopnia wielomianu do ($n = 5$) na krzywych pojawia się maksimum odpowiadające strefom o wysokiej chłonności, na głębokości od 10 do 20 m. Dla funkcji logarytmicznej (fig. 10) uzyskano krzywe mające maksimum na powierzchni terenu, przecinające oś rzędnych na głębokości od 50 do 60 m. Wyniki z Jazowska są bardzo zbliżone do rezultatów z Sobla, a zwłaszcza dla K-1. Wspólną ich cechą jest duża chłonność oraz szybki jej spadek z głębokością. Duża chłonność piaskowców magurskich w Jazowsku powstaje w związku z dużą szczelinowatością i przepuszczalnością powierzchniową (fig. 2).

K l i m k ó w k a

Miejscowość ta usytuowana jest w zwięzieniu doliny Ropy na północ od Łosia (fig. 1). Przełomowy odcinek Ropy jest tutaj utworzony z średnio- i gruboławicowych piaskowców magurskich (fig. 13), z nielicznymi kilkumetrowymi wkładkami fliszu drobnorytmicznego (Niedzielski, 1977, 1978). Piaskowce gruboławicowe są niebieskoszare, jasno wietrzejące, frakcjonalnie warstwowane. Pojedyncze grube ławice osiągają miąższość do 5—7 m. W opisywanym profilu stosunek piaskowców do łupków wynosi 1 : 0,08 (Niedzielski, 1978). W zwięzieniu doliny Ropy w Klimkówce wykonano liczne wiercenia w kilku przekrojach. Badania wodochłonności wykonano w interwale głębokościowym 5,5—75,0 m. Przedmiotem naszego opracowania był zbiór liczący 477 wyników. Chłonność jednostkowa wahała się od 0,71 l/min/m/m na zboczu prawym i 0,59 l/min/m/m na zboczu lewym do stref całkowicie szczelnych, które stwierdzono na obu zboczach. Średnia chłonność zbocza prawego wynosiła 0,093, dla zbocza lewego 0,070 l/min/m/m (tabela 1). Wartości mediany wynosiły odpowiednio 0,03 i 0,024 l/min/m/m. W badanych populacjach wodochłonność jednostkowa wykazuje istotną korelację z głębokością na poziomie

uńności 0,05. Przy aproksymacji wielomianem stopnia 3 dla lewego zbocza otrzymano krzywą zbliżoną do prostej (fig. 9). Dla prawego zbocza uzyskano podobną krzywą, z bardzo słabo zaznaczonym maksimum na głębokości 25 m. W obu przypadkach poniżej głębokości 65 krzywa przecina oś rzędnych, przyjmując wartości ujemne. Przy aproksymacji wielomianem stopnia 5 dla obu zbiorów uzyskano fragmenty paraboli z minimum na głębokości 10—15 m. Przy aproksymacji funkcją logarytmiczną otrzymano bliźniacze krzywe z maksimum na powierzchni terenu (fig. 10). Ze wzrostem głębokości krzywe te asymptotycznie zbliżają się do osi rzędnych nie przecinając jej. Przy tym przybliżeniu kryterium szczelności (0,05 l/min/m/m) występuje na głębokości od 50 m na zboczu

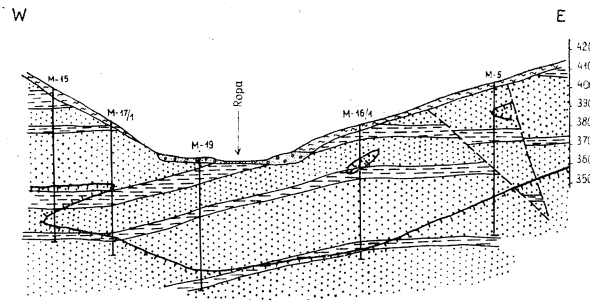


Fig. 13. Przekrój geologiczny przez dolinę Ropy w Klimkówce, według Wojtyny (in Dzierwa et al. 1973). Objaśnienia jak na Fig. 3

Fig. 13. Geological cross-section of the Ropa river valley in Klimkówka, after Wojtyna (Dzierwa et al. 1973). Explanations as in Fig. 3

lewym do 75 m na zboczu prawym. Wiercenia wykonane w dnie doliny wykazały wysoką chłonność sięgającą niekiedy do głębokości 50—55 m (Niedzielski, 1977). Strop strefy szczelnej (fig. 13) jest równoległy do powierzchni terenu, oddając wiernie kształt doliny. W wielu przypadkach strop strefy szczelnej pokrywa się z kompleksami łupkowo-piaskowcowymi. Piaskowce magurskie z Klimkówki w porównaniu z piaskowcami z Sobla i Jazowska odznaczają się niższą chłonnością w strefach płytszych oraz słabszym związkiem wodochłonności z głębokością. Jedynie otwór K-8, usytuowany na zboczu, wykazuje pewną zbieżność z otworami w Klimkówce. Wiązać się to może z tym, że większość wierceń w Klimkówce także usytuowana była na zboczu.

OKREŚLENIE POTENCJALNYCH WYDAJNOŚCI STUDNI WIERCONYCH

W praktyce hydrogeologicznej określenie dopływu do studni wierconej nie przedstawia większych trudności, pod warunkiem, iż znana jest miąższość warstwy wodonośnej oraz jej przepuszczalność. W przypadku

osadów fliszowych wartości te są najczęściej nieznane, lub szacowane z dużym błędem, na podstawie przesłanek pośrednich. Wychodząc z analogii hydraulicznej, jaka istnieje między zatłaczaniem wody do otworu i pompowaniem studni, oszacowano potencjalne wydajności, jakie można osiągnąć ze studni wierczonej w warstwach magurskich. Następnie przyjęto założenia, że całkowita chłonność (Q) przy określonym ciśnieniu (p) i głębokości wiercenia, równa jest wydajności studni (Q), o tej samej głębokości, przy depresji $s = p$. Obliczenia wykonano dla otworu o średnicy 121 mm.

Zależność $Q f(s)$ aproksymowano wielomianem stopnia 3. Przedmiotem obliczeń był zbiór liczący 302 danych, z wierceń K-1, K-2 i K-3. Dla stref 5-metrowych chłonność całkowita wahała się od 0,75 l w najgłębszych strefach do 123,0 l w strefie przypowierzchniowej. Ciśnienie badawcze (p) wahało się od 0,1 MPa (1 at) do 1 MPa (10 at). W wyniku obliczeń otrzymano następującą zależność:

$$Q = 0,012 \quad M/1,1579 s - 0,0229 s^2 + 0,000128 s^3/m^3/h$$

gdzie: s — depresja

M — miąższość warstwy wodonośnej w m.

Dla założonych wartości M od 1 do 40 m otrzymywano zbiór krzywych (fig. 14). Dla depresji mniejszych od 10 m zależność ma charakter liniowy. Przy wzroście ciśnienia krzywa staje się wypukła przyjmując maksimum odpowiadające depresji około 30 m. Zależność $q = f(s)$ wyraża się zbiorem prostych monotonicznie malejących. Prawdliwość tych przybliżeń potwierdzają wyniki wierceń, w których w strefie przypowierzchniowej zależność między chłonnością całkowitą (Q) i ciśnieniem (p) ma najczęściej charakter liniowy, odpowiadający znanej zależności Dupuita dla studni artezyjskiej. Miąższość tej strefy wynosi od 30 m w K-2 i K-3 do 40—60 m w K-1 (fig. 15). Poniżej tej głębokości krzywa niekiedy przyjmuje kształt wypukły. Zjawisko to Jawański (1965) tłumaczy przekroczeniem granicznego gradientu ciśnienia. Skoro powyższe rozumowanie jest słuszne, to maksymalne wydajności (dla depresji 30 m) wynoszące od 2 m³/h (przy 10 m warstwie wodonośnej) do około 8 m³/h (przy 40 m miąższości warstwy wodonośnej) mogą być wiarygodne. Wydajności jednostkowe odpowiednio wynoszą od 0,07 do 0,27 m³/h/m. Przeanalizowano także przyrosty chłonności Q z głębokością, przy ciśnieniu badawczym 0,2 MPa (2 at) (fig. 4—8). Wykresy te można traktować także jako wykresy maksymalnych wydajności studni, przy depresji 20 m oraz odpowiedniej głębokości studni. Dla wierceń z Sobla potencjalne wydajności wynoszą od około 6 m³/h (K-2, K-8) do 24 m³/h (K-3) oraz 50 m³/h w otworze K-1. Cechą charakterystyczną jest to, iż wydajność wzrasta zasadniczo tylko do głębokości 35—40 m. Poniżej przyrosty Q są niewielkie i nie mają większego znaczenia. Tylko w otworach K-3

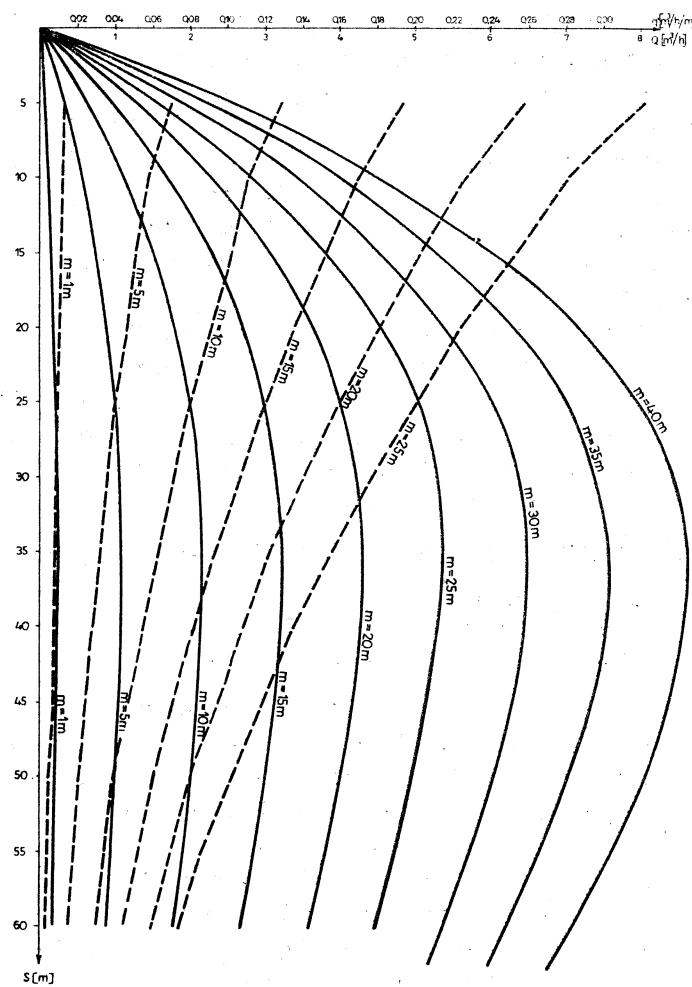


Fig. 14. Zależność wydajności studni od depresji i miąższości warstwy wodonośnej, przy $2r = 112$ mm (na przykładzie K-1, K-2, K-3)

Fig. 14. Dependence of capacity of well on depression and thickness of aquifer at $2r = 112$ mm (exemplified by K-1, K-2 and K-3 boreholes)

i K-1 na głębokości 70—75 m notuje się przyrost wynoszący około 1—3 m³/h.

Uśrednione wartości wydajności potencjalnych dla poszczególnych rejonów uzyskano przez scałkowanie wielomianów 3 stopnia:

$$Q = \int_0^h (ah + bh^2 + ch^3 + e) dh$$

gdzie: h — głębokość studni

a, b, c, e — współczynniki wielomianu

Przy głębokości studni 50 m potencjalne wydajności wynoszą: 6 m³/h w Klimkówce, 12 m³/h dla Sobla oraz 18—24 m³/h w Jazowsku (fig. 16).

Z powyższych rozważań wynika, iż o wodonośności piaskowców margurskich decyduje przypowierzchniowa strefa o miąższości 35—40 m. Przy założeniu, iż jest ona w całości nasycona wodą, można z niej uzyskać przy depresjach nie przekraczających 25 m, wydajności przeciętne od 6 do 24 m³/h. Dalszy wzrost głębokości studni oraz stosowanie wyższych

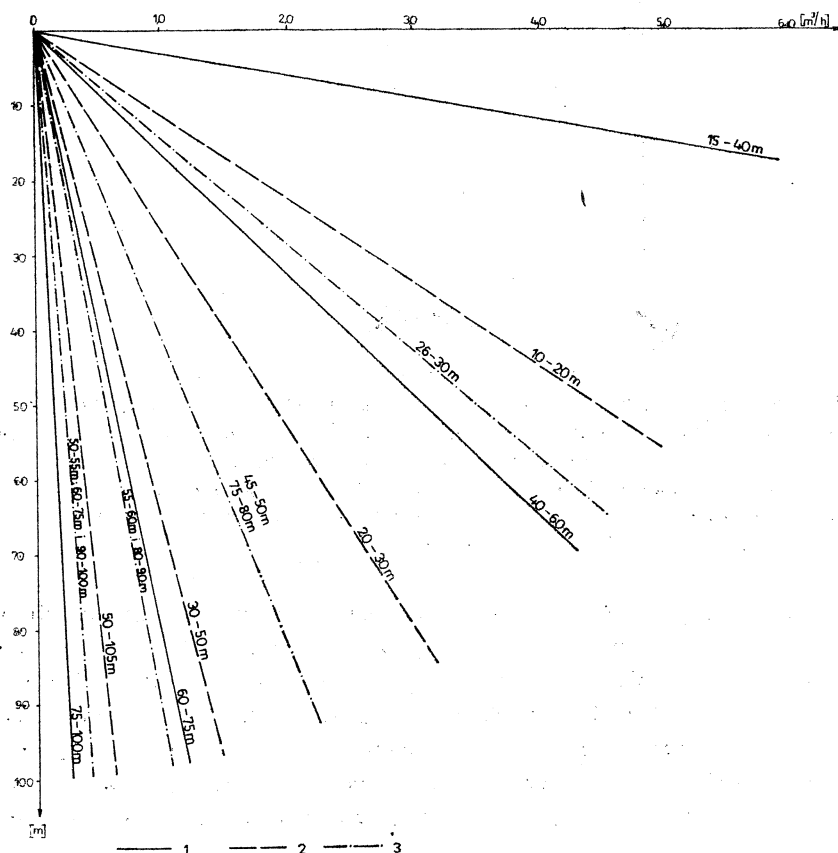


Fig. 15. Zależność wydajności od depresji w poszczególnych strefach głębokościowych. 1) Otwór K-1, 2) Otwór K-2, 3) Otwór K-3

Fig. 15. Dependence of capacity on depression in individual depth zones: 1), 2) and 3) — boreholes K-1, K-2 and K-3

depresji nie spowoduje już większego wzrostu wydajności. Zróżnicowanie wydajności, przy tej samej miąższości warstwy wodonośnej, wynika z dużych różnic w przepuszczalności tej strefy. Przepuszczalność ta uwarunkowana jest szczelinowatością piaskowców, to jest gęstością (częstością) występowania spękań, oraz ich rozwarciem (Oszczypko, 1966b). Szczególną rolę odgrywa tutaj rozwarcie spękań, przepuszczalność bowiem jest jego funkcją potęgową 3 stopnia.

Obliczone wydajności potencjalne porównano (fig. 17) z wynikami próbnych pompowań 9 studni. Z porównania wynika, iż wartości obli-

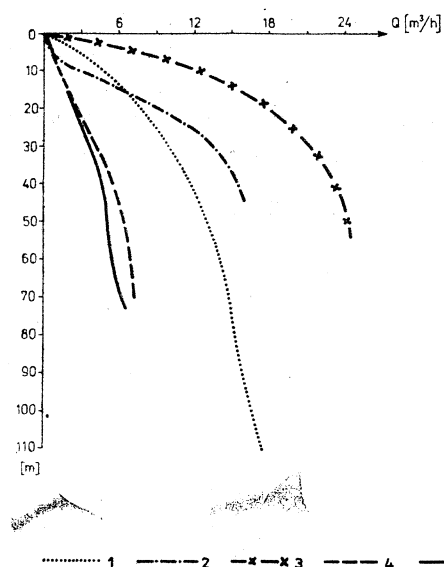


Fig. 16. Zależność potencjalnej wydajności studni wierconej od głębokości, przy $2r = 112$ mm. 1) Sobel, 2) Jazowsko I, 3) Jazowsko II, 4) Klimkówka — prawe zbocze, 5) Klimkówka — lewe zbocze

Fig. 16. Relation between potential capacity of well and depth at $2r = 112$ mm: 1) Sobel, 2) Jazowsko I, 3) Jazowsko II, 4) Klimkówka, right slope, 5) Klimkówka, left slope

czone dla Sobla ($M = 40$ m) wyraźnie uśredniają wyniki próbnych pompowań. Przy porównywalnej depresji 20 m wydajności wahały się od 2 do 24 m^3/h (7 m^3/h dla Sobla). Wydajności wyższe od średniej uzyskano w Krynicy (Kr-12, Kr-20, Kr-21) oraz w okolicach Nowego Sącza (Za-1, Na-1), niższe w rejonie Piwnicznej (P-1, P-2, P-3, P-4, według Michalika, 1972). Duże zróżnicowanie wydajności spowodowane zostało zarówno różnicami w przepuszczalności warstwy wodonośnej, jak i miąższości.

ZAKOŃCZENIE

Przeprowadzone badania wykazały, iż piaskowce magurskie są przepuszczalne do głębokości 80–90 m, poniżej powierzchni terenu. Najsilniej przepuszczalna jest strefa przypowierzchniowa, o miąższości od 30–40 m. Wartość współczynnika filtracji w tej strefie wynosi od $k = n \cdot 10^{-6}$ do $k = n \cdot 10^{-5}$ m/s, natomiast na głębokości od 40 do 80–90 m współczynnik filtracji jest rzędu $k = n \cdot 10^{-7}$ m/s. W przedziale tym znajdują się niekiedy odcinki o przepuszczalności wyższej o cały rząd. Istotna ujemna korelacja pomiędzy wodochłonnością jednostkową i głębokością dowodzi, iż przepuszczalność piaskowców magurskich w strefie

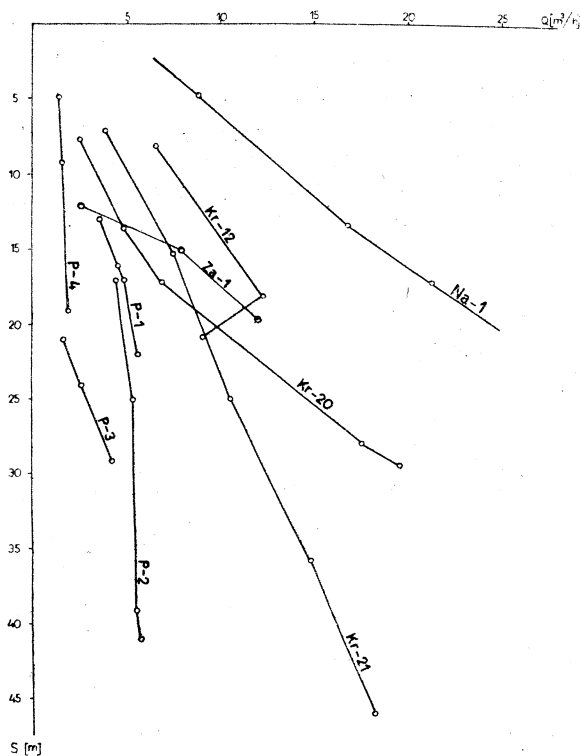


Fig. 17. Zależność wydajności studni wierconych w warstwach magurskich od depresji

Fig. 17. Relation between capacity of wells bored in Magura beds and depression

przypowierzchniowej kontrolowana jest przez szczelinowatość, wywołaną odprężeniem masywu skalnego na skutek erozji. Na podstawie badań Scheideggera (1974) oraz sugestii Niedzielskiego (1978) można przypuszczać, iż w partiach wododziałowych dominują naprężenia tensyjne, na zboczu kompresyjne (powodujące powstawanie osuwisk) oraz naprężenia tensyjne w dnie doliny. Potwierdzają to wyniki badań wodochłonności w dolinie Brzynki. Wykazały one, iż przypowierzchniowa strefa o dużej przepuszczalności ma największą miąższość na dziale wodnym oraz w dnie doliny. W oparciu o powyższe przesłanki opracowano uogólniony model hydrogeologiczny (fig. 18) przedstawiający następstwo stref przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych do głębokości 100 m. Model ten dobrze tłumaczy rozmieszczenie źródeł w dwóch strefach, w górnych partiach zboczy oraz w dnie doliny. Następstwo to zasadniczo jest niezależne od litologii i tektoniki warstw. Czynniki te wpływają jednak na miąższość i stopień przepuszczalności tych stref.

Obliczone wydajności potencjalne wykazały, iż wodonośność piaskowców magurskich jest wyższa od uśrednionej wartości dla fliszu (Niedzielski, 1978). Z piaskowców magurskich przy pełnym nasyceniu strefy

przepuszczalnej można uzyskać od 6 do 50 m³/h, przeciętnie około 12 m³/h. Dopływy te pochodzą głównie ze strefy przypowierzchniowej o miąższości 35—40 m. Poniżej tych głębokości przyrosty wydajności są już nikłe. Obliczenia wykazały, iż optymalna depresja wynosi około 10 m, natomiast stosowanie depresji większych od 30 m jest niecelowe, ponieważ nie powoduje ono przyrostu wydajności. Obliczenia te znajdują potwierdzenie w dotychczas wykonanych ujęciach wodnych.

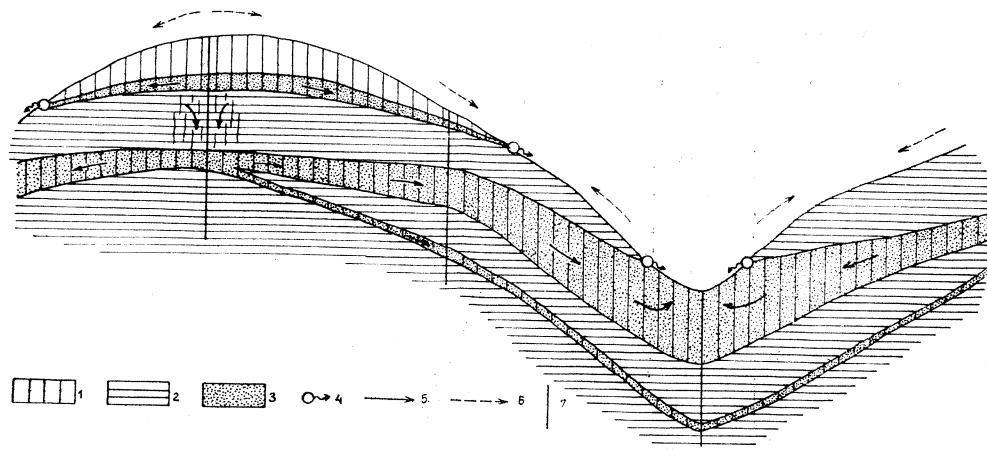


Fig. 18. Model hydrogeologiczny na przykładzie doliny Brzynki (uogólniony). 1) Warstwy przepuszczalne, 2) Warstwy nieprzepuszczalne, 3) Warstwy zawodne, 4) Źródła, 5) Kierunki ruchu wód podziemnych, 6) Kierunki naprężeń wg Scheideggera, 1974 i Niedzielskiego, 1978, 7) Wiercenia

Fig. 18. Generalized hydrogeological model (exemplified by Brzynka river valley). 1) Permeable beds, 2) Impermeable beds, 3) Water-bearing beds, 4) Springs, 5) Directions of flow of underground waters, 6) Stress directions, after Scheidegger 1974 and Niedzielski 1978, 7) Boreholes

Z powyższych rozważań wynika, iż większe wydajności z warstw magurskich można uzyskać jedynie w dnie doliny, gdzie warunek pełnego nasycenia warstwy wodonośnej może być spełniony. Partie wododziałowe mimo dobrej przepuszczalności są mało perspektywne, z uwagi na małą miąższość warstwy wodonośnej, na skutek intensywnego drenażu przez źródła na zboczach. Inny praktyczny wniosek dotyczy głębokości projektowanych ujęć wodnych. Przeciętna głębokość studni wierconych nie powinna przekraczać 60 m. Głębsze studnie mogą być wiercone tylko w miejscach silniej tektonicznie zaburzonych, gdzie można oczekiwać większej miąższości warstwy wodonośnej. Z analizy strukturalnej wynika, iż najkorzystniejsze warunki do poszukiwania wód pitnych istnieją w południowej części strefy sądeckiej, a zwłaszcza w strefie krynickiej, gdzie synkliny magurskie są wtórnie przefalldowane i głęboko zakorzenione.

WYKAZ LITERATURY — REFERENCES

- Bober L., Oszczytko N. (1964), Związek między szczelinowością i zawodnieniem piaskowca magurskiego ze Śnieżnicy (Beskid Wyspowy) (Relation of jointing to water contents in the Magura Sandstone from Śnieżnica (Beskid Wyspowy). *Kwart. geol.*, 8, 3: 626—642. Warszawa.
- Dzierwa K., Nowicki W., Wojtyna T. (1973), Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla zbiornika i zapory na rzece Ropie w Klimkówce: Zapora. Arch. P.G.B.W. „Hydrogeo”. Kraków.
- Guzik K. (1950), Orzeczenie geologiczno-techniczne w sprawie możliwości budowy zapory wodnej na rzece Dunajec koło Jazowskiej. *Arch. Inst. Geol.*, Warszawa.
- Jawański W. (1965), Warunki porównywalności wyników badań wodochłonności skał (Conditions of comparability of results of studies on water absorbing capacity of rocks), *Prz. geol.*, 13, 3: 113—119. Warszawa.
- Jawański W., Thiel (1979), Investigations of hydraulic characteristics of the bedrock of dams founded on the Carpathian Flysch, IV. *Inst. Congress on Rock Mechanics*: 259—266. Montreux.
- Jetel J. (1974), Completément regional de l'information sur les paramètres petrophysiques en vue de l'élaboration des modèles des systèmes aquifères. *Mémoires of the International Association of Hydrogeologists. Congress de Montpellier. Communications*, X, 1: 199—203. France.
- Jetel J., Rybářová L. (1975), Hydrogeologie a hydrogeochemie Morawskoslezských Beskyd. *Ms Geofond.* Praha.
- Kleczkowski A. S. (1979), Hydrogeologia ziem wokół Polski, 184 p. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Małecka D., Murzynowski W. (1978), Rejonizacja hydrogeologiczna Karpat fliszowych. *Wiad. IMUZ* 56: pp. 50. Warszawa.
- Michalik A. (1965), Wodonośność warstw magurskich w okolicy Rabki. *Kwart. geol.*, 8, 3: 446—447. Warszawa.
- Michalik A. (1972), Metodyka badań hydrogeologicznych utworów fliszu karpackiego. Materiały z LXII Sesji Nauk. Inst. Geol. *Prace hydrogeol.*, 2: 92—101. Warszawa.
- Muchowski J., Stochlak J. (1965), Analiza wpływu warunków przeprowadzania badań wodochłonności skał litych na ich wyniki dla potrzeb inżyniersko-geologicznych (Influence of water absorbability research conditions of hard rocks upon their results for engineering geology purposes). *Prz. geol.*, 13, 2: 70—74. Warszawa.
- Nieć M. (1977), Metodyka rozpoznawania złóż siarki na potrzeby eksploatacji otworowej (The methodology of exploration of sulphur deposits prepared for mining by underground melting). *Geologia*, 3, 2: 5—81. Kraków.
- Norma Branżowa BN-70/8950-07. Budownictwo techniczne. Określenie wodochłonności skał litych. Warunki techniczne i metody badań.
- Niedzielski H. (1974), Wodochłonność skał fliszowych w wybranych rejonach Karpat (Water pressure tests of flysch rocks in selected areas of the Carpathians). *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)*, 44, 1: 115—139. Kraków.
- Niedzielski H. (1977), Geologia projektowanych zapór w polskich Karpatach. *Wyd. Polit. Krak.*, pp. 220. Kraków.
- Niedzielski H. (1978), Warunki hydrogeologiczne fliszu karpackiego w świetle badań geologiczno-inżynierskich (Hydrogeological conditions in flysch rocks in the light of geological-engineering investigations (External Carpathians-Po-

- land)). *Zesz. Nauk. Polit. Krak.*, 4. Budow. Wodne i Inż. Sanit. 27: pp. 109. Kraków.
- O s z c z y p k o N. (1966a), Zawodnienie piaskowców magurskich w północnej części arkusza Nowy Sącz. *Kwart. geol.* 10, 4: 1158—1159. Warszawa.
- O s z c z y p k o N. (1966b), Wpływ szczelinowości na przepuszczalność warstw szałarskich (Influence of fissuring upon permeability of the Szaflary beds), *Kwart. geol.* 10, 3: 620—631. Warszawa.
- O s z c z y p k o N. (1973), Budowa geologiczna Kotliny Sądeckiej. The geology of the Nowy Sącz basin. *Biul. IG* 271: 101—197. Warszawa.
- O s z c z y p k o N. (1979a), Warunki geologiczno-inżynierskie projektowanych obiektów hydroenergetycznych w Beskidzie Sądeckim. *Mat. Symp. SEP* pp. 15 Bielsko-Biała, Porąbka-Zar.
- O s z c z y p k o N. (1979b), Budowa geologiczna północnych stoków Beskidu Sądeckiego między Dunajcem i Popradem (płaszczyzna magurska). *Geology of northern slopes of the Beskid Sądecki Mountains between Dunajec and the Poprad rivers (Magura nappe, Poland). Roczn. Pol. Tow. Geol.* 49, 3/4: 293—325, Kraków.
- O s z c z y p k o N., Chowaniec J., Wójcik A. (1974), Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla studium przedprojektowego elektrowni szczytowo-pompowej „Sobel”: pp. 91. *Arch. Inst. Geol.* Kraków.
- R a u c z y Ń s k a D. (1967), Wody podziemne szczytowej partii Lubogoszczy (Underground water of the summit part of Lubogoszcz). *Zesz. nauk. UJ*, 166, 16: 81—91, Kraków.
- S a l a H. (1976), Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla studium przedprojektowego elektrowni szczytowo-pompowej „Sobel”. Badania uzupełniające dla zapory zbiornika górnego (wariant II i IV) oraz elektrowni typu brzegowego. 18. *Arch. PGBW „Hydrogeo”*. Kraków.
- S c h e i d e g g e r A. E. (1974), Geomorfologia teoretyczna (Theoretical Geomorphology): 550, PWN Warszawa.
- S k o w r o n J. (1965), Z hydrogeologii Lubonia Wielkiego. *Kwart. geol.* 9, 2: 448—449. Warszawa.
- S m i e c h o v E. S. (Ed.) (1962) Metodicheskoje posobie po izuczeniju trieszczinowatosti gornych porod i trieszczinnych kolektorov niefti i gaza. *Trudy WNIGRI, wypusk* 201, pp. 79, Gostoptiechizdat, Leningrad.
- W i e c z y s t y A. (1970), Hydrogeologia inżynierska, pp. 815. Warszawa.

SUMMARY

The present paper analyses and compares the water-pressure tests made in the Magura sandstones of the Magura Nappe, in the Polish Flysch Carpathians (fig. 1). The analysis was carried out taking as examples the northern slopes of the Beskid Sądecki between Tylmanowa and Wietrznica (Sobel and Jazowsko), and the western part of the Beskid Niski (Klimkówka). The object of investigations was sandstones occurring in different tectonic and morphologic settings. The results were interpreted using statistical analysis (Table 1).

Variations in water-pressure tests with depth were approximated

with logarithmic function and polynomials of various orders (Table 2). In the area of Sobel, water-pressure tests were made in five boreholes down to a depth of 100 m (fig. 4—8). Specific water capacity in these boreholes at a pressure of 0.2 MPa varied from 0.008 to 1.208 l/min/m/m, averaging 0.049—0.214 l/min/m/m (Table 1). In Jazowsko these values were 0.003—1.300 l/min/m/m and 0.249 (Jazowsko I) or 0.285 l/min/m/m (Jazowsko II) respectively. The specific capacity of sandstones from Klimkówka was lower, ranging from 0 to 0.59 l/min/m/m, and so were the average values which varied from 0.07 (left slope) to 0.093 l/min/m/m (right slope).

A significant negative correlation between the specific capacity and depth was noted in all the localities (Table 1). The thickness of the near-surface, permeable zone ($q \geq 0.1$ l/min/m/m) was 15—70 m in the area of Sobel, 35—45 m in Jazowsko, and 50—55 m in Klimkówka. Taking Sobel as an example, relations between depth and drill core recovery and between depth and dip of beds were studied (fig. 11). In both cases the correlation was found to be significant. In the near-surface zone (down to a depth of 30 m) the increase in dip angle was accompanied by the decrease in core recovery.

The results of water-pressure tests served as a basis for the determination of potential capacity of drilled wells which extract water from the Magura sandstones. The analogy was utilized between water injection into a borehole at a specified pressure and well pumping at a constant depression. For the assumed thickness of the aquifer a set of curves was obtained (fig. 14), characterizing the capacity-depth relation. Maximum capacities (for a depression of 30 m) ranged from 2 m³/h for a 10-m aquifer to 8 m³/h for a 40-m aquifer. The increase in total water capacity (Q) with depth at a pressure of 0.2 MPa was also analysed. The resultant plots can be regarded as illustrating capacity-depth relations at a depression of 20 m. Making this assumption, potential capacities for the Sobel area vary from 6 m³/h (K-2, K-8) to 50 m³/h (K-1). The averaged values for the respective areas were obtained by integrating the function of specific capacity variations with depth (polynomial of the third degree). With the depth of wells being 50 m, average capacities at a 20-m depression are: Sobel — 12 m³/h, Jazowsko — 18—24 m³/h, Klimkówka — 6 m³/h. From the above considerations it appears that the capacity of the Magura sandstones is determined by fissuring and permeability of the near-surface zone of a thickness of 35—40 m. The calculated values were compared with the results of the pumping of wells taking water from the Magura sandstones (fig. 17). The potential capacities for Sobel, at a 30-m depression and 40-m aquifer, have been determined by averaging the results of the test pumpings.

On the basis of the above studies a generalized hydrogeological model

was evolved (fig. 18), presenting the sequence of permeable and impermeable zones in rock massif down to a depth of 100 m. This model provides a satisfactory explanation for the occurrence of springs in the Flysch Carpathians. It has been found that the sequence of permeable and impermeable zones depends on the stress distribution in the rock massif whereas the lithology and tectonics of beds affects the thickness and permeability of these zones.

translated by H. Kisielewska