

Henryk NIEDZIELSKI*

CHARAKTERYSTYKA WODONOŚNOŚCI
FLISZU KARPACKIEGO
NA PODSTAWIE WYDATKU STUDZIEN

(11 fig.)

*Characteristics of water capacity of the Carpathian Flysch
on the basis of well discharges (Polish External Carpathians)*

(11 Figs.)

Treść: Szczegółowa analiza wydatku studzien odwierconych we fliszu na obszarze Karpat zewnętrznych doprowadziła do wniosku, że 38% badanych otworów to tzw. ujęcia infiltracyjne zasilane w znacznym stopniu wodą z pobliskich cieków lub z nadległego, czwartorzędowego poziomu wodonośnego. Wydatki ujęć infiltracyjnych, przeciętnie kilkakrotnie przewyższają wydatki studzien ujmujących wodę wyłącznie z poziomów fliszowych. Ustalono średnie wydajności porównawcze dla obu typów ujęć i krzywą prawdopodobieństwa wydatku porównawczego dla ujęć bezinfiltracyjnych, czyli fliszowych. Podano również wzór wyrażający przybliżony wydatek studni fliszowej w zależności od założonej depresji. Charakterystykę hydrogeologiczną fliszu uzupełniono obliczeniami współczynnika filtracji.

WSTĘP

Zasobność wód zwykłych w skałach fliszowych na obszarze Karpat zewnętrznych budzi zainteresowanie co najmniej z dwóch powodów: jednym jest ogólna dążność poznawcza, a drugim realna ocena możliwości ujęcia wody do picia w celu zaopatrzenia miejscowej ludności, a zwłaszcza licznych w tym rejonie domów sanatoryjno-wypoczynkowych. Istnieje już spora ilość informacji uzasadniająca podjęcie próby dokładniejszego sprecyzowania przeciętnej wydajności studzien i perspektyw dalszego poszukiwania wody.

Na obszarze Karpat zewnętrznych odwiercono około 300 studzien, które jak się uważa, czerpią wodę z fliszowego poziomu wodonośnego. Większość ich dostarcza niewielkie ilości wody, lecz niektóre są nawet bardzo wydajne, dlatego poglądy co do zasobności fliszu nie są jedno-

* Instytut Geotechniki Politechniki Krakowskiej, 31-155 Kraków, ul. Warszawska 24.

znaczne. Znakomita większość hydrogeologów reprezentuje słuszny zresztą pogląd o małych zasobach wód tego regionu, jednakże opinia ta nie jest poparta szczegółową analizą istniejących danych. W fachowej literaturze istnieją tylko nieliczne informacje dotyczące wyników pompowania pojedynczych wierceń (Michalik 1965, 1965a; Oszczypko, 1966) lub omówienia o charakterze przeglądowym (Szpakowski, 1975). Ostatnio Niedzielski (1978) przedstawił szczegółowo warunki hydrogeologiczne fliszu karpackiego opierając się głównie na wynikach badań geologiczno-inżynierskich. W pracy tej problem wydatku studzien czerpiących wodę z poziomu fliszowego został potraktowany bardzo syntetycznie i jakby marginesowo, a jest to o tyle istotne zagadnienie do poznania wodoności fliszu, że zasługuje na szersze omówienie. Poza tym autor ponownie przeprowadził krytyczną analizę materiału dokumentującego wydatki studzien, co doprowadziło do uściślenia niektórych dotychczasowych wyników.

Materiał dotyczący wyników pompowań we fliszu jest tym bardziej interesujący, że poza granicami Polski np. na obszarze słowackich Karpat fliszowych według J. Jetla (informacja ustna) nie przeprowadzono ani jednego badania tego typu.

WYNIKI DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

W poprzedniej pracy (Niedzielski, 1978) autor starał się scharakteryzować zasobność wód fliszowych, posługując się tzw. wydajnością miarodajną Q_5 , którą obecnie nazywać będzie wydajnością porównawczą. Jest to wydatek studni uzyskany przy depresji 5 m. Wielkość ta odczytana z krzywych wydatku poszczególnych studzien jest porównywalną ze względu na małe zróżnicowanie miąższości strefy nasyconej we fliszu, małą zmienność współczynnika filtracji i podobne konstrukcje studzien. Analiza wydatków Q_5 pochodzących ze 100 wyselekcjonowanych otworów, doprowadziła do wniosku, że 60 studzien stanowi ujęcia bezinfiltracyjne a pozostałe 40 — ujęcia infiltracyjne. Spośród 60 ujęć bezinfiltracyjnych, połowa odznaczała się zwierciadłem ciśnieniowym i laminarnym ruchem wody. Średnią wartość Q_5 z tego zbioru wynoszącą $0,91 \text{ m}^3/\text{h}$ uznano za charakterystyczną dla wodoności fliszu w całym regionie Karpat zewnętrznych. Natomiast na podstawie 51 wartości Q_5 uznanych za zbiór jednorodny, oszacowano krzywą prawdopodobieństwa, z której między innymi wynika, że uzyskanie wydatku porównawczego w wysokości $2\text{--}4 \text{ m}^3/\text{h}$ jest możliwe z prawdopodobieństwem odpowiednio $11\text{--}1\%$.

Średni współczynnik filtracji obliczony na podstawie pompowania studni o zwierciadle ciśnieniowym wyniósł $4,2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$, a o zwierciadle swobodnym $8,8 \times 10^{-7} \text{ m/s}$.

DANE WYJŚCIOWE

Podstawowe informacje zawierające lokalizację studzien, ich profile geologiczne, głębokości nawierconego i ustalonego zwierciadła wody, sposób zafiltrowania i wyniki próbnych pompowań uzyskano z urzędów wojewódzkich w Krakowie i Rzeszowie oraz w Oddziale Krakowskim Instytutu Geologicznego. W sumie zgromadzono dane dla 245 studzien. Po bliższym zapoznaniu się z powyższym materiałem okazało się, że z ogólnej liczby jedynie 100 studzien posiada pełne i wiarygodne dane z próbnych pompowań. Położenie tych otworów na tle szkicu tektonicznego Karpat (Książkiewicz, 1972) ilustruje fig. 1. Pozostałą część studzien wyłączono z dalszych rozważań, ponieważ wykonano w nich pompowania, bądź przy jednym poziomie dynamicznym, bądź wyniki pompowań na kilku poziomach dynamicznych układały się w nieprawidłową, wklęsłą krzywą wydatku, lub w ogóle były rozłożone chaotycznie, co uniemożliwiało przeprowadzenie analizy wydatku.

Przykładem niewłaściwych wyników pompowania badawczego są dane uzyskane ze studni w Bonarówce koło Strzyżowa, odwierconej do głębokości 60 m w piaskowcach kredowych płaszczowiny śląskiej, wśród których stwierdzono łupki pstre o miąższości 21 m. Rejon ten na przeglądowej mapie hydrogeologicznej Polski (Michalik, Poprawa 1963) określany jest jako słabo wodonośny z częstym brakiem wody. Tymczasem w wyniku próbnego pompowania stwierdzono bardzo dużą wydajność, dającą jednak nieprawidłową krzywą wydatku (fig. 2). Analiza wyników wiercenia i pompowania prowadzi do wniosku, że przyczyną nieprawidłowej krzywej wydatku jest dodatkowe zasilanie wodą infiltrującą się z pobliskiego cieku. Podobnie dzięki infiltracji wód powierzchniowych uzyskano w Tropiu koło Strzyżowa ze studni o głębokości 31 m, usytuowanej w odległości 50 m od potoku, niebywałą jak na warunki fliszowe wydajność 66 m³/h przy depresji 1,8 m. I tutaj krzywa wydatku była nieprawidłowa.

Zbiór składający się ze 100 studzien o prawidłowych wynikach próbnego pompowania (różniący się od zbioru analizowanego w poprzedniej pracy) posiada mało zróżnicowane średnice w przedziale od 8³/₄" do 14" w tym aż 64% otworów posiada średnice o rozmiarach 10³/₄"—11³/₄" (fig. 3).

W każdym otworze wbudowany był filtr z rury stalowej o perforowanej części czynnej. Długości części perforowanej wynosiły kilka do kilkunastu metrów. W wielu studniach (45%) wykonano obsypkę żwirową, najczęściej o uziarnieniu 5—10 mm. Miała ona przede wszystkim spełniać rolę zabezpieczenia przed skutkami pęcznienia łupków i obwalem ścian otworu.

Głębokości 50 studzien są mniejsze lub dochodzą do 40 m, głębokość 32 studzien wynosi 41—70 m, a 14 studzien sięga do głębokości 71—100 m.

Tylko 4 studnie są głębsze od 100 m, w tym 2 odwiercone w Krynicy posiadają głębokości 231 m i 253,4 m. W 65 otworach stwierdzono warunki ciśnieniowe, a w 35 zwierciadło wody było swobodne.

Większość badanych studzien (82) jest usytuowana w Karpatach fliszowych na wschód od rzeki Białej, pozostałe zaś 18 — rozmieszczonych jest na zachód od tej rzeki. Penetrują one utwory następujących jednostek tektonicznych: skolskiej, śląskiej, magurskiej i fałdów dukielskich.

Pompowania badawcze prowadzone były przy znacznych depresjach. Rozkład częstotliwości wytwarzanych depresji przedstawia fig. 4. Depresje większe od 5 m stanowiły 85% przypadków i nierzadko dochodziły do kilkudziesięciu metrów. Czas pompowania pojedynczych studni przeciętnie wynosił 4—6 dób. Wyjątek pod tym względem stanowiła studnia odwiercona w miejscowości Kalembina, gdzie pompowanie trwało około 30 dób.

KRYTYCZNA OCENA DANYCH WYJŚCIOWYCH

Z krzywych wydatku studzien odczytano wydajności odpowiadające depresji 5 m (Q_5). Są one, jak udowodniono w poprzedniej pracy, wielkościami porównywalnymi. Uzyskano w ten sposób dwa podzbiory wielkości Q_5 : jeden o liczebności 65, reprezentujący warunki ciśnieniowe i drugi o liczebności 35, dla warunków o swobodnym zwierciadle wody. Dla pierwszego podzbioru sporządzono histogram częstotliwości występowania Q_5 w klasach co 0,5 m³/h (fig. 5). Otrzymano rozkład zbliżony do J-kształtnego z dużym zagęszczeniem niskich wartości do granicy 3,0 m³/h. Dalsza część rozkładu jest bardziej nieregularna i rozproszona.

Szczegółowa analiza warunków hydrogeologicznych i usytuowania studzien względem cieków wykazała, że wydajności porównawcze, przeważnie większe od 3 m³/h pochodzą ze studzien bądź położonych w pobliżu cieków, bądź penetrujących równocześnie czwartorzędowy i fliszowy poziom wodonośny. Ujęcia te nazwano infiltracyjnymi rozumiejąc pod tym pojęciem studnie, które zasilane są nie tylko wodami podziemnymi występującymi w utworach fliszowych, lecz w znacznym stopniu również wodami powierzchniowymi lub wodami pochodzącymi z nadległego czwartorzędowego poziomu wodonośnego. W obu przypadkach dodatkowe zasilanie umożliwia system szczelin łączących studnie z pobliskimi nie fliszowymi zbiornikami wody. Natomiast studnie o niskiej wydajności porównawczej, przeważnie mniejszej od 3 m³/h przy depresji 5 m były znacznie oddalone od cieków i penetrowały wyłącznie poziom wodonośny występujący we fliszu. Ujęcia te nazwano bezinfiltracyjnymi, lub po prostu fliszowymi, rozumiejąc pod tymi określeniami otwór studzienny penetrujący utwory fliszowe i zasilany z poziomu wodonośnego utworzonego w tym środowisku skalnym na skutek infiltracji opadów atmosferycznych.

Wyznaczona granica Q_5 równa $3 \text{ m}^3/\text{h}$ nie stanowiła jedyne go kryterium podziału studzien na ujęcia bezinfiltracyjne i infiltracyjne. Było to tylko kryterium pomocnicze, a właściwego podziału dokonano po indywidualnym przeanalizowaniu warunków, w których odwiercono poszczególne otwory.

A oto typowe przykłady przeprowadzonej analizy. Spośród 4 istniejących w Lesku studzien (o numeracji 28, 29, 88 i 89) penetrujących piaskowce krośnieńskie, dwie (28 i 29) przebiły równocześnie czwartorzędowy i fliszowy poziom wodonośny, a pozostałe dwie wyłącznie fliszowy. Wydatki porównawcze pierwszych dwóch studzien wynosiły po $5,9 \text{ m}^3/\text{h}$, gdy tymczasem pozostałych dwóch były kilkakrotnie niższe i wynosiły $1,1$ i $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Nie ulega wątpliwości, że przyczyną zwiększonych wydatków dwóch pierwszych studzien było czerpanie wody z zasobniejszego poziomu czwartorzędowego. Gdy zjawisko to powtarza się wielokrotnie, to nie może być ono dziełem przypadku. Bardzo często właśnie studnie usytuowane na tarasach rzecznych, pomimo że zafiltrowano je w obrębie skał fliszowych dawały wydatki, jakie można uzyskać tylko z poziomu wód czwartorzędowych. Dalszym tego rodzaju przykładem są studnie: w Borku Starym z której uzyskano $82,8 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $1,35 \text{ m}$ i w Pcimiu, gdzie wydatek $16 \text{ m}^3/\text{h}$ uzyskano przy depresji $1,88 \text{ m}$. Studnie tego typu bądź na skutek złego zamknięcia wód czwartorzędowych, bądź dzięki systemowi szczelin łączących hydraulicznie w większej odległości od otworu poziom czwartorzędowy z fliszowym, zasilane były przez obfitszy czwartorzędowy poziom wodonośny.

Odmienny przykład ujęcia infiltracyjnego przedstawia studnia nr. 12 w Naściszowej k. Nowego Sącza wykonana do głębokości 100 m w piaskowcach magurskich (Oszczypko 1966). W profilu studni stwierdzono 3 m bezwodnego czwartorzędu. Z piaskowców magurskich nastąpiły dwa przypiły wody z głębokości $7,5 \text{ m}$ i 16 m , stabilizujące się na tym samym poziomie, około 5 m poniżej powierzchni terenu. Kształt krzywej wydatku (fig. 6) nie jest prawidłowy, ponieważ nastąpił przyrost wydajności pomimo zejścia z depresją o ponad 6 m poniżej warstwy napinającej. Świadczy to wyraźnie o pojawieniu się dodatkowego zasilania. Przypuszcza się, że źródłem, z którego pochodzi dodatkowe zasilanie, jest potok płynący niewiele ponad 100 m od otworu. Wniosek ten wydają się potwierdzać badania geoelektryczne, którymi wykryto strefę spękań biegnącą w kierunku doliny wspomnianego potoku.

Niekiedy samo usytuowanie studni dawało podstawę do uznania jej za ujęcie infiltracyjne jak np. w przypadku studni nr 8 wykonanej w Jordanowie. Odwiercenie tego otworu w najbliższym sąsiedztwie koryta Skawy w prosty sposób wyjaśnia przyczynę uzyskania stosunkowo dużego wydatku.

Inna zaś była motywacja uznania kilku studzien (41, 43, 62 i 63) za ujęcia infiltracyjne, pomimo że dały wydajności porównawcze mniejsze

od założonego kryterium. Studnie te penetrujące subfacje fliszu normalnego i łupkowego osiągnęły zbyt duże wydatki, nieadekwatne do litologii przewierconych skał. Uznano więc, że są dodatkowo zasilane wodą z czwartorzędu lub z pobliskich potoków.

Posłużenie się wydatkiem porównawczym i szczegółowa analiza indywidualnych warunków wykonania studzien umożliwiły wyodrębnienie ujęcia bezinfiltracyjnego od infiltracyjnych, co wniosło istotny element do poznania rzeczywistej wodonośności fliszu. Spośród 100 badanych studzien, 62 okazały się ujęciami zasilanymi wyłącznie z zasobów fliszowych poziomów wodonośnych (oznaczone punktem na fig. 1.), a 38 ujęciami infiltracyjnymi (oznaczone gwiazdką na fig. 1.).

Dążąc do uzyskania podzbiorów składających się w miarę możliwości z jednorodnych wyników Q_5 , dokonano dalszego podziału danych w zależności od rodzaju filtracji (laminarnej, mieszanej i turbulentnej). Dla ujęć, w których stwierdzono zwierciadło ciśnieniowe, odpowiednich przebiegów umożliwiających przeprowadzenie tego podziału, dokonano według schematu zaproponowanego przez Macioszczyka (1971, str. 258). Natomiast podziału ujęć o swobodnym zwierciadle wody dokonano na podstawie porównania indywidualnych krzywych wydatku z typowymi krzywymi charakteryzującymi odpowiedni rodzaj filtracji (Macioszczyk 1964, str. 183). Powyższy sposób wynikał z konieczności uniknięcia obliczeń, do których w przypadku swobodnego zwierciadła wody potrzebna jest znajomość miąższości strefy nasyconej, a parametr ten nie jest dokładnie znany w miejscach poszczególnych wierceń.

W rezultacie dokonanego podziału uzyskano z ogólnego zbioru wydajności porównawczych 12 jednorodnych podzbiorów. Sześć podzbiorów charakteryzowało ujęcia bezinfiltracyjne (po trzy dla warunków zwierciadła ciśnieniowego i swobodnego) i tyle samo ujęcia infiltracyjne. Liczebność poszczególnych podzbiorów uległa pewnej zmianie w stosunku do poprzedniej pracy.

ANALIZA STATYSTYCZNA

Dla każdego podzbioru wydajności porównawczych obliczono średnią arytmetyczną ($\bar{Q}_5$), wariancję (s^2) i odchylenia standardowe (s). W wyniku badania istotności różnic pomiędzy średnimi arytmetycznymi poszczególnych podzbiorów stwierdzono, że nie ma istotnych różnic pomiędzy sześcioma podziorami należącymi do ujęć bezinfiltracyjnych, niezależnie od charakteru zwierciadła wody i rodzaju ruchu wody. Podobnie brak było istotnych różnic pomiędzy podziorami charakteryzującymi ujęcia infiltracyjne. Istotne natomiast różnice stwierdzono pomiędzy poszczególnymi zbiorami ujęć bezinfiltracyjnych i infiltracyjnych. Wyniki te prowadzą do wniosku, że wydajności porównawcze

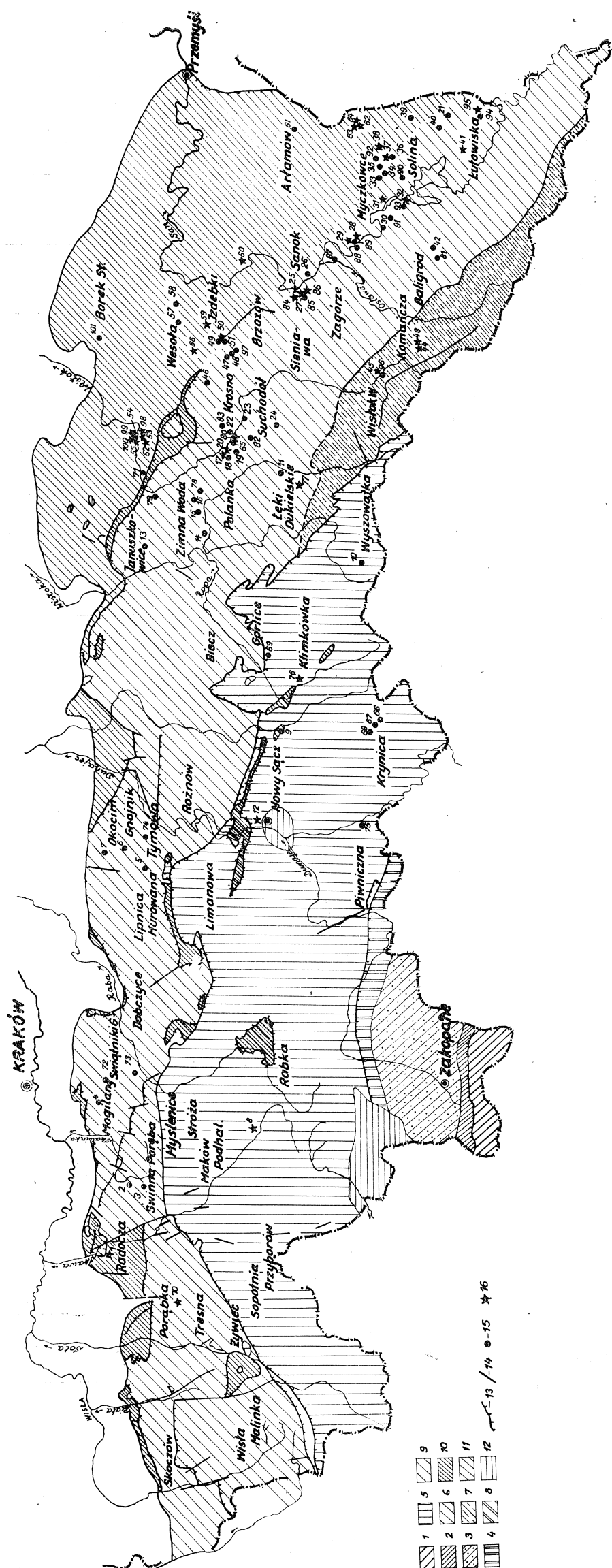


Fig. 1. Usytuowanie badanych studni na tle szkicu tektonicznego Karpat (nieco uproszczonego) M. Książkiewicza (1972). 1 — jednostka wierzchowa; 2 — płaszczowina magurska; 3 — flisz podhalański; 4 — pieniniński pas skałkowy; 5 — płaszczowina magurska; 6 — jednostka występująca w oknach płaszczowiny magurskiej (jednostka grybowska, dukielska?); 7 — łuski i fałdy dukielskie; 8 — łuska przedmagurska; 9 — płaszczowina śląska; 10 — płaszczowina podśląska; 11 — płaszczowina skolska; 12 — neogen; 13 — główne nasunięcie; 14 — ważniejsze uskoki; 15 — studnie bezinfiltracyjne; 16 — studnie infiltracyjne

Fig. 1. Localization of the examined wells on the tectonic map of the Carpathians (slightly simplified), worked out by Książkiewicz (1972). 1 — High Tatra series; 2 — sub-Tatra nappes; 3 — Podhale Flysh; 4 — Pieniny Klippen Belt; 5 — Magura nappe; 6 — unit found in windows of the Magura nappe (Grybów, Dukla series); 7 — Dukla scales and folds; 8 — fore-Magura Scale; 9 — Silesian nappe; 10 — sub-Silesian nappe; 11 — Skole nappe; 12 — Neogene; 13 — main overthrust; 14 — more important faults; 15 — non-infiltration wells; 16 — infiltration wells

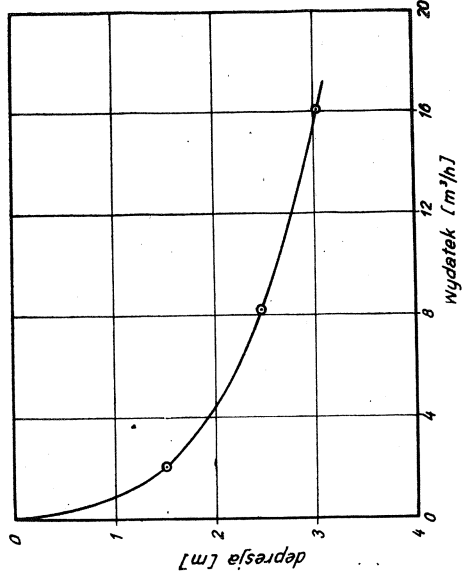


Fig. 2. Nieprawidłowa krzywa wydatku studni z miejscowości Bonarówka, ukazująca wpływ dodatkowego zasilania

Fig. 2. Irregular curve of well discharge in the village of Bonarówka, showing the effect of a supplementary alimentation

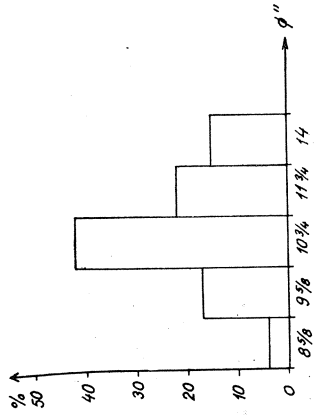


Fig. 3. Częstotliwość stosowanych średnic w badanych studniach

Fig. 3. Frequency of diameters met in the examined wells

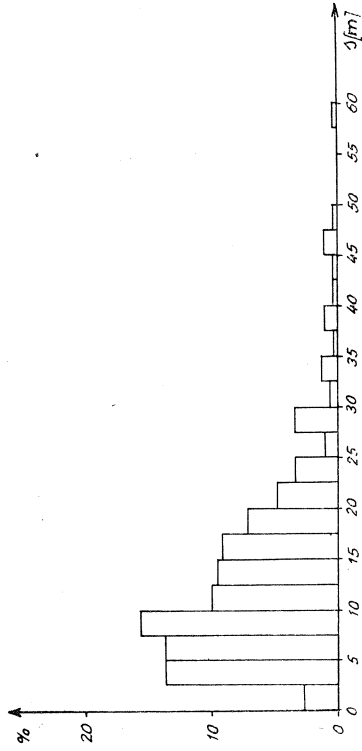


Fig. 4. Częstotliwość wielkości wytwarzanych depresji w studniach fliszowych

Fig. 4. Frequency of depressions found in the Flysch wells with respect to their size

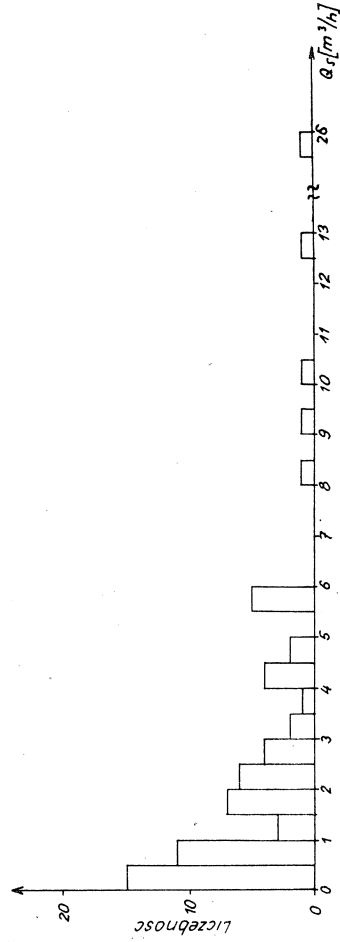


Fig. 5. Rozkład częstotliwości Q_s (wydatek na 5 m depresji) studni bezinfiltracyjnych i infiltracyjnych w warunkach zwierciadła ciśnieniowego

Fig. 5. Frequency distribution Q_s (discharge at a depression of 5 m) of non-infiltration and infiltration wells under conditions of confined aquifers

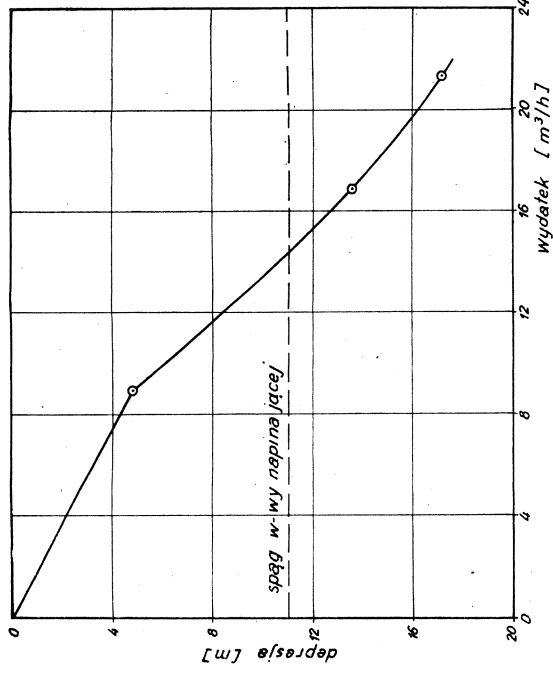


Fig. 6. Krzywa wydatku ze studni w Naścieszowej ukazująca wpływ dodatkowego zasilania

Fig. 6. Discharge curve of a well from Naścieszowa, showing the effect of a supplementary alimentation

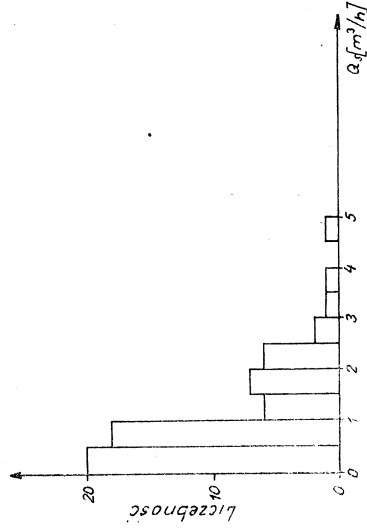


Fig. 7. Rozkład częstotliwości Q_s (wydatek na 5 m depresji) studzien bezinfiltracyjnych

Fig. 7. Frequency distribution Q_s (discharge at a depression of 5 m) of non-infiltration wells

studzien fliszowych należą do dwóch populacji w zależności od typu ujęcia. Charakter zaś nawierconego zwierciadła wody jak również rodzaj filtracji przy wejściu wody do otworu nie ma istotnego wpływu na wielkości Q_5 .

Utworzono więc dwa zbiory danych. Jeden o liczebności $n = 62$, reprezentujący ujęcia bezinfiltracyjne i drugi o liczebności $n = 38$, ujęcia infiltracyjne. Parametry statystyczne tych zbiorów zawiera tabela 1.

Wartości statystyki t dla wyżej wymienionych parametrów wynosi 12,5 — zaś wartość krytyczna t_α przy poziomie istotności 0,05 wynosi 1,888. A zatem pomiędzy obydwooma zbiorami zachodzi istotna różnica, co więcej, nawet przy bardzo niskim poziomie istotności $\alpha = 0,001$ hipotezę o równości średnich należy zdecydowanie odrzucić.

Znaczenie przeprowadzonej analizy statystycznej polega przede wszystkim na uzyskaniu dodatkowego potwierdzenia, że zbiór stosunkowo wysokich wydajności porównawczych, uzyskanych, jak to udowodniono, w szczególnych warunkach, bo przy udziale infiltracji z innych zbiorników wodnych, stanowi odrębną populację nie mającą zasadniczo nic wspólnego z wodonośnością fliszu. Ujęcia infiltracyjne można byłoby

Tabela 1

Parametry statystyczne wydajności porównawczych studzien

Rodzaj ujęcia	
bezinfiltracyjne	infiltracyjne
$n = 62$	$n = 38$
$\bar{Q}_{52} = 1,15$	$\bar{Q}_{52} = 6,15$
$s = 2,05$	$s = 6,59$
$s = 1,43$	$s = 2,56$

zatem całkowicie pominąć badając wodonośności fliszu. Nie uczyniono tego jednak, aby problem wyjaśnić do końca, gdyż ujęcia infiltracyjne zbyt często utożsamia się z fliszowymi, prawdopodobnie na tej zasadzie, że większa część profilu studni odwiercona jest we fliszu i w jego obrębie znajduje się też część czynna filtru. Wydaje się też, że geolodzy dokumentujący, którzy nadzorują pojedyncze wiercenia, nie starają się rozróżniać, z jakiego rodzaju ujęciem mają do czynienia. Celem ich pracy jest uzyskanie z otworu dużego wydatku, a nie badania nad charakterem ujęcia, w tym między innymi tkwi przyczyna, że do tej pory poglądy na zasobność fliszu nie były jednoznaczne.

Rozkład częstości wydatków porównawczych ujęć fliszowych (fig. 7) ukazuje, że największa ilość danych przypada na dwie najniższe klasy. Liczebność wyższych klas stopniowo maleje. Tego rodzaju rozkład moż-

na aproksymować funkcją gęstości rozkładu wykładniczego wyrażoną wzorem (Ziobroń 1976):

$$f(Q_5) = \lambda e^{-\lambda Q_5}$$

oraz dystrybuantą:

$$F(Q_5) = 1 - e^{-\lambda Q_5}$$

gdzie: zmienna losowa jest dodatnia $Q_5 > 0$

parametr rozkładu ($\lambda > 0$)

średnia wydajność porównawcza $\bar{Q}_5 = \frac{1}{\lambda}$

Wychodząc z tych zależności można obliczyć prawdopodobieństwo uzyskania wydajności porównawczej mniejszej lub większej Q_{50} (Niedzielski, 1978).

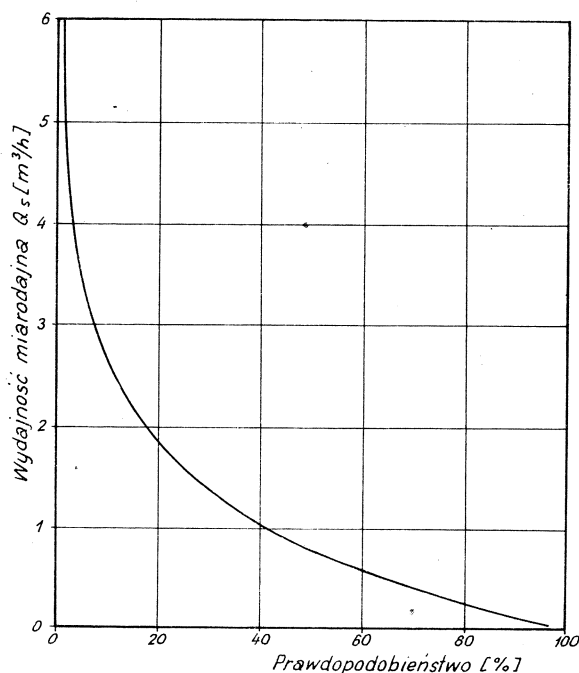


Fig. 8. Krzywa prawdopodobieństwa wydatku studzien fliszowych bezinfiltracyjnych przy depresji 5 m

Fig. 8. Probability curve of discharge of non-infiltration Flysch wells at a depression of 5 m

Wyniki obliczeń przedstawia fig. 8. Z wykresu wynika m. in. że z 90% prawdopodobieństwem można uzyskać z jednej studni fliszowej wydajność wynoszącą zaledwie $0,12 m^3/h$ przy depresji 5 m. Prawdopodobieństwo uzyskania znacznie większych wydajności jest małe. Na przykład uzyskanie wydajności porównawczej wynoszącej $6 m^3/h$, to znaczy równej wartości średniej z wszystkich ujęć infiltracyjnych jest

możliwe zaledwie z 1% prawdopodobieństwem. Wydaje się, że powyższe obliczenia realnie i bardzo obrazowo przedstawiają małą zasobność fliszu w Karpatach zewnętrznych. Można też uważać, że wybrana próba składająca się z 62 studni jest reprezentatywną dla warunków fliszowych. Z uwagi na *J*-kształtny rozkład liczebności Q_5 tej próby, za przeciętną wydajność porównawczą przyjęto wartość mediany, która wynosi 0,81 m³/h przy depresji 5 m.

CAŁKOWITE WYDATKI STUDZIEN

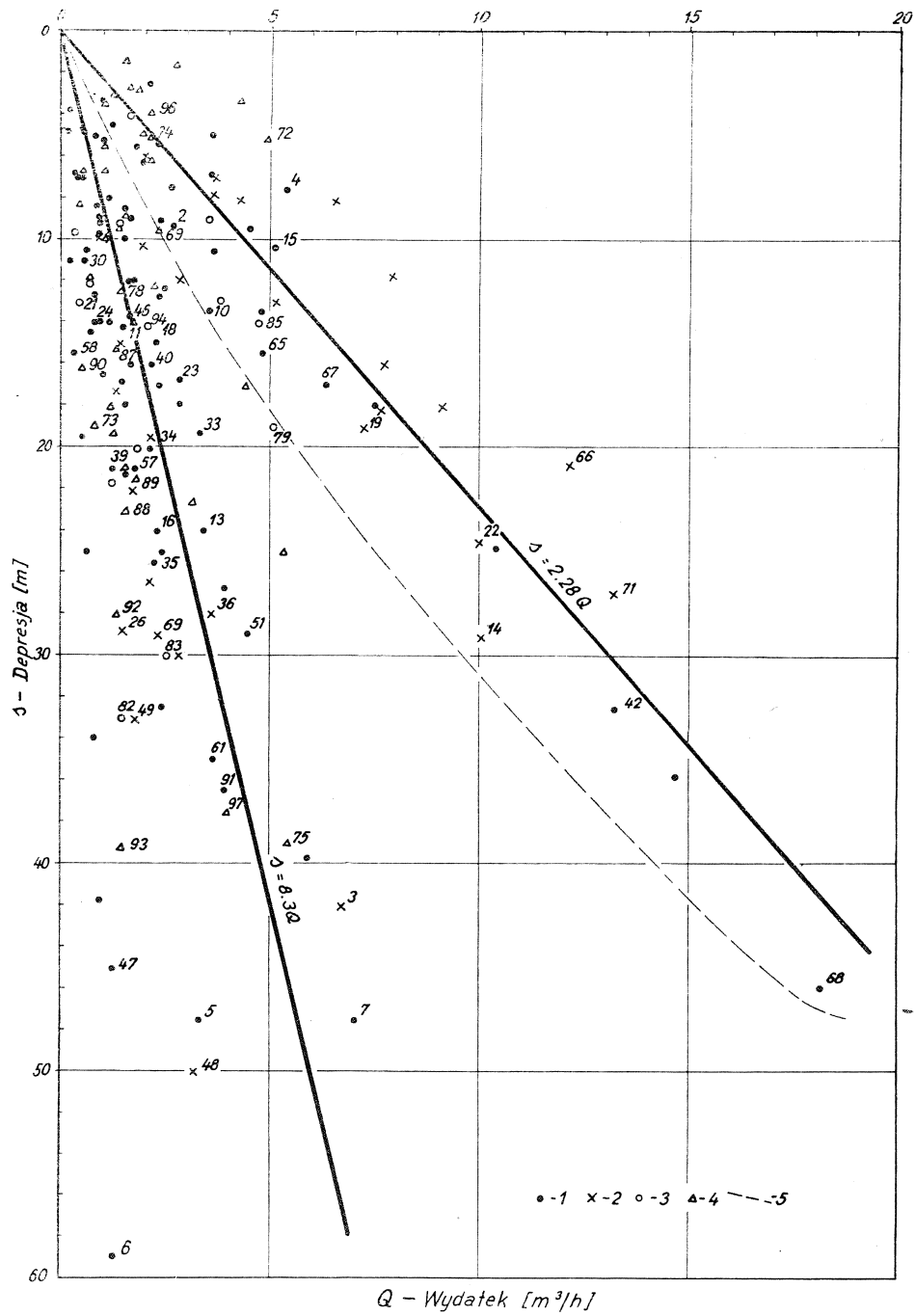
Wyniki próbnych pompowań 62 studzien fliszowych naniesiono na jeden układ $Q = f(s)$. Przy pomocy zróżnicowanych oznaczeń pokazano wydatki przy odpowiadających im depresjach z 42 ujęć, w których stwierdzono zwierciadło ciśnieniowe i z 20 o zwierciadle swobodnym, a także przy różnym rodzaju filtracji (fig. 9). Wśród studzien o zwierciadle ciśnieniowym w 30 filtracja była laminarna, a w 12 — mieszana (5) lub turbulentna (7). Dwa ostatnie rodzaje filtracji pokazano łącznie, aby nie zaciemniać wykresu. Wśród ujęć o zwierciadle swobodnym w 6 stwierdzono ruch laminarny, a w 5 — mieszany i w 9 — turbulentny. Punkt oznaczający wydatek uzyskany przy maksymalnej depresji opatrzono numerem studni zgodnym z numerem zamieszczonym na fig. 1.

Uzyskany zbiór punktów wyraźnie rozdziela się na dwa podzbiory różniące się wielkością wydatku. Większe wydatki uzyskano z 18 studzien, w tym także absolutnie największą wydajność 18 m³/h przy depresji 40 m dała studnia o głębokości 253,4 m w Krynicy. Podzbiór tych danych aproksymowano prostą typu $y = ax + b$ przy $b = 0$, oszacowaną przy pomocy metody najmniejszych kwadratów. Otrzymano silną zależność o współczynniku korelacji 0,946. Średni błąd wyrażony stosunkiem $\frac{y - y^t}{y}$, gdzie y^t jest zmienną oszacowanej prostej, wynosi

$\pm 36,3\%$. Na wielkości błędu zaważyły w dużym stopniu wyniki studni nr 72. Bez tych wyników średni błąd byłby o około 10% niższy. Średnia wartość $x(Q)$ wynosi w tym podzbiórze 5,16 m³/h, a średnia $y(s)$ 11,77 m.

Drugi podzbiór punktów z pozostałej, przeważającej (71%) części studzien fliszowych charakteryzują małe wydatki na ogół nie przekraczające 4 m³/h przy znacznych depresjach, dochodzących nawet do 59 m. Średnia wartość Q wynosi 1,79 m³/h przy średniej $s = 18,53$ m. Zbiór ten aproksymowany tego samego typu prostą co poprzedni daje słabszą korelację o współczynniku $r = 0,5678$. Jednakże badanie istotności współczynnika korelacji dowodzi, że nawet przy poziomie istotności $\alpha = 0,001$, wartość statystyki $t = 7,55$ jest znacznie większa od wartości krytycznej $t_\alpha = 3,373$, co świadczy o istotności korelacji. Średni błąd wyliczony tak samo jak poprzednio wynosi $\pm 44,5\%$.

Trzeba nadmienić, że próbowano ustalić związek korelacyjny osobno dla ujęć o zwierciadle ciśnieniowym i osobno o swobodnym. W tym drugim przypadku aproksymowano wyniki próbnych pompowań za-



równą prostą, jak i krzywą typu parabolicznego. Nie otrzymano jednak zadowalających wyników. W obu przypadkach uzyskano bardzo niskie współczynniki korelacji, a test istotności potwierdził hipotezę, że zmienne x i y nie są skorelowane. Po utworzeniu jednego zbioru współczynników korelacji dla danych z ujęć ciśnieniowych uległy co prawda nieznacznemu zmniejszeniu, jednakże uzyskano w ten sposób ogólny pogląd na zasoby eksploatacyjne studni fliszowych bez względu na charakter zwierciadła wody. Te przeciętne zdolności eksploatacyjne ujęć przedstawia równanie $s = 8,3 Q$. Realność tego równania potwierdzają wydatki innych studzien, których nie uwzględniono w niniejszych rozważaniach ze względu na jednostopniowe pompowanie. Otóż z kilkudziesięciu tak przebadanych studni uzyskano bardzo małe wydatki 0,6—2,9 m³/h przy depresjach 10—47 m. Pomimo pewnych braków dokumentujących wyniki te również odzwierciedlają rzeczywiste zasoby stwierdzone przy poszukiwaniu wody do picia we fliszu.

Jest jednak drugie równanie ($s = 2,28 Q$), z którego otrzymujemy 3,65 razy większy wydatek przy tej samej depresji. Te korzystniejsze warunki stwierdzono w 29% badanych otworów. Zachodzi więc potrzeba przeanalizowania ich warunków geologicznych. Spośród wszystkich badanych studzien 44 wykonano na obszarze płaszczowiny śląskiej, z czego 14 (31,8%) należy do zespołu o wyższej wydajności, 12 — w rejonie płaszczowiny skolskiej, 5 — magurskiej (4 o podwyższonej wydajności) i jedna w obrębie fałdów dukielskich. Zdecydowana większość, bo 54 otwory, penetruje subfację fliszu piaskowego w tym 17 (31,5%) należy do studzien o wyższej wydajności i 8 — penetruje flisz łupkowy, w tym jedna należy do zespołu o wyższej wydajności. Ogniwa stratygraficzne, w których odwiercono studnie, ilustruje tabela 2.

Sądząc według procentowego udziału studzien o podwyższonej wydajności w stosunku do przeciętnej, uzyskanej z danego ogniw stratygraficznego, można by wnioskować, że najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne mają miejsce w warstwach łgockich i odpowiadających im wiekowo gezowych oraz w piaskowcach magurskich. Wniosek taki

Fig. 9. Wydatki studzien fliszowych (bezinfiltracyjnych) aproksymowane dwoma prostymi. 1 — wydatki ujęć o zwierciadle ciśnieniowym i laminarnym ruchu wody; 2 — jw., lecz o ruchu wody mieszanym i turbulentnym; 3 — wydatki ujęć o zwierciadle swobodnym i laminarnym ruchu wody; 4 — jw., lecz o ruchu mieszanym i turbulentnym; 5 — linia rozdzielająca dane na dwa podzbiory; cyfry przy punktach oznaczają numer studni i wydatek uzyskany z niej przy maksymalnej depresji

Fig. 9. Discharges of Flysch wells (non-infiltration ones), approximated with two straight lines: 1 — discharges of intakes with confined aquifers and laminar water movement; 2 — discharges of intakes with confined aquifers and transient and turbulent water movements; 3 — discharges of intakes with unconfined aquifers and laminar water movement; 4 — discharges of intakes with unconfined aquifers and transient and turbulent water movements; 5 — line dividing the data into two sub-sets; figures at the points denote the number of a well and its discharge at a maximum depression

jest jednak słabo udokumentowany ze względu na zbyt małą ilość danych pochodzących z tych ogniw.

Tabela 2

Stosunki ilościowe studni w poszczególnych ogniwach stratygraficznych

Ogniwo litostratygraficzne	Ilość studzien		Razem	$\frac{Q'}{Q+Q'}\%$
	Q przeciętne	Q' podwyższone		
piaskowce krośnieńskie	34	9	43	21
piaskowce istebniańskie	5	1	6	16
piaskowce magurskie	1	4	5	80
piaskowce lgockie i warstwy gezowe	—	3	3	100
piaskowce inoceramowe	2	—	2	0
warstwy menilitowe	1	1	2	50
piaskowce podrogcowe	1	—	1	0

Oceniając możliwości eksploatacyjne fliszu należy jeszcze podkreślić, że przytoczone wydatki z wyjątkiem danych pochodzących ze studni w Kalembinie uzyskano przy krótkotrwałych pompowaniach badawczych. Jest prawdopodobne, że po dłuższej eksploatacji może nastąpić spadek wydatku zwłaszcza tam, gdzie próbne pompowanie wykonano na dużych depresjach.

Przykładem w tym zakresie może być jedno z największych ujęć fliszowych zaopatrujących w wodę Krynice. Trzy studnie (66, 67 i 68), pracujące tam od kilku lat, których wydajności porównawcze z okresu próbnego pompowania wynosiły 1,8—3,0 m³/h obecnie spadły o około 25% i wynoszą odpowiednio 1,4—2,2 m³/h. Natomiast wydatki eksploatacyjne są niższe od przewidywanych o 20—50% przy dwukrotnie większych depresjach. Spadek wydatku w stosunku do wyników próbnego pompowania przedstawia fig. 10. Z przedstawionych wykresów wynika prawdopodobieństwo, że zarówno średnia wydajność porównawcza, jak i wydatki badanych studzien byłyby jeszcze niższe, gdyby zamiast danych z pompowań badawczych posłużono się danymi pochodzącymi z ich eksploatacji.

Dla ujęć infiltracyjnych sporządzono podobnie jak dla fliszowych, zbiorcze zestawienie wydatku w zależności od depresji. Otrzymano odmienny obraz. O ile na wykresie dla studzien fliszowych zaznacza się tendencja do osiągnięcia ograniczonej wydajności niezależnie od wzrostu depresji, o tyle przy ujęciach infiltracyjnych, co widać na fig. 11 za-

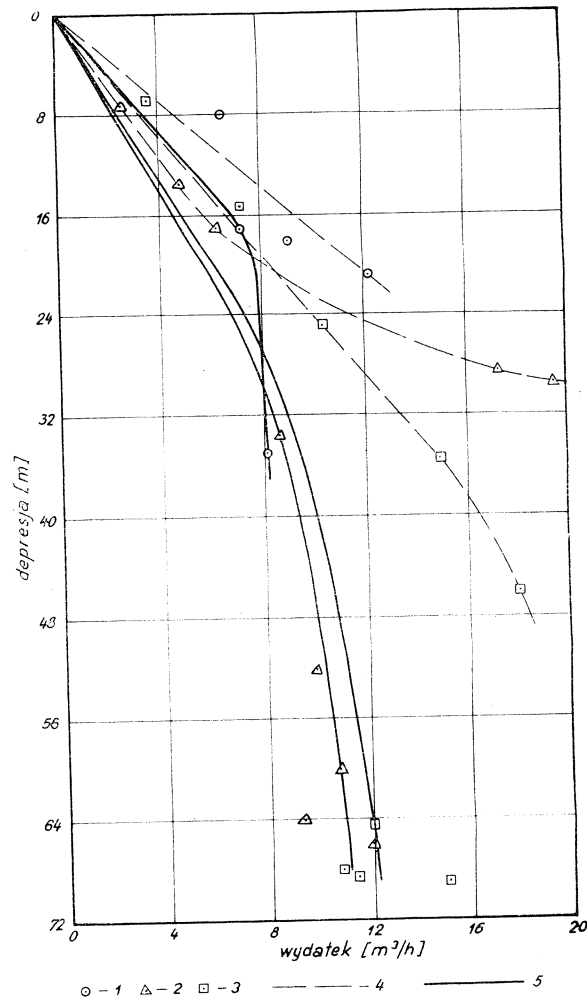


Fig. 10. Krzywe wydatku studzien krynickich. 1 — wyniki pompowania studni nr 66; 2 — wyniki pompowania studni nr 67; 3 — wyniki pompowania studni nr 68; 4 — krzywe wydatku na podstawie próbnych pompowań; 5 — krzywe wydatku na podstawie eksploatacji

Fig. 10. Discharge curves of the Krynica wells: 1 — pumping scores of the well no. 66; 2 — pumping scores of the well no. 67; 3 — pumping scores of the well no. 68; 4 — discharge curves on the bases of pumping tests; 5 — discharge curves on the basis of exploitation

chodzi odwrotne zjawisko. Przy depresjach na ogół mniejszych od 20 m uzyskuje się przeważnie wysokie i bardzo zróżnicowane wydatki, a nie- rzadko ze wzrostem depresji zwiększa się przyrost wydajności, co jest niezgodne z oczekiwaniem opartym na teoretycznych przesłankach. Przypadek taki może zachodzić wówczas, gdy zasoby dynamiczne wody są większe, niż wynikałoby to z wodoprzepuszczalności ośrodka skalnego. Jest to typowe zjawisko dla ujęć infiltracyjnych. Zestawione dane naj-

lepiej udało się aproksymować wklęsłą krzywą typu parabolicznego $y = ax^b$, uzyskując słaby choć istotny związek korelacyjny o współczynniku 0,4256.

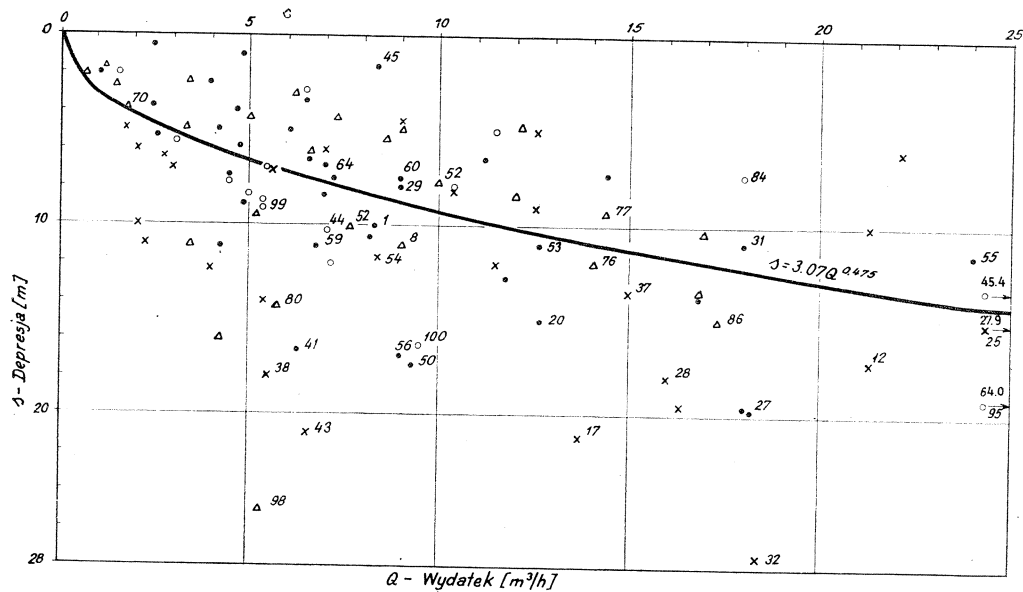


Fig. 11. Wydatki ujęć infiltracyjnych aproksymowane krzywą paraboliczną. Objaśnienia jak na fig. 9

Fig. 11. Discharges of infiltration intakes, approximated with a parabolic curve. Explanations as in Fig. 9

Pewne wątpliwości budzić może umieszczenie wśród ujęć infiltracyjnych studzien o numerach 38, 43, 62, 63 i 98, których wydajności nie odbiegają zbyt od studni fliszowych. Sprawę tę wyjaśniono wcześniej. Obecnie można dodać, że wydatki stojące na pograniczu wielkości charakterystycznych dla obu typu ujęć zawsze będą nastroczać trudności przy odpowiednim zakwalifikowaniu. Każda w tym przypadku decyzja nie poparta odpowiednimi badaniami może być subiektywna. Przypadków tych jest jednak niewiele i nie mają one istotnego wpływu na dokonany podział oraz nie zaciemniają odmiennego charakteru ujęć infiltracyjnych.

WODOPRZEPUSZCZALNOŚĆ FLISZU

Najskuteczniejszymi metodami do określenia wodoprzepuszczalności ośrodków o podwójnej porowatości, do jakich należą skały szczelinowe, są metody oparte na teorii ruchu nieustalonego (Babushkin et al., 1975 i T. Streltsova, 1976), jednakże tego typu badania nie były nigdy pro-

wadzone w Karpatach. Nie wykonano tam również nigdy badań w węzłach hydrogeologicznych w celu określenia współczynnika filtracji. Jak natomiast wiadomo, określanie współczynnika filtracji na podstawie wyników pompowania pojedynczej studni zawsze obarczone jest błędem. W warunkach fliszowych błąd tej metody dodatkowo wzrasta, ponieważ nie jest znany jeden z podstawowych parametrów warstwy wodonośnej, a mianowicie miąższość strefy nasyconej lub w warunkach ciśnieniowych miąższość warstwy wodonośnej. Trudność w określeniu tego wymiaru polega na tym, że fliszowy poziom wodonośny nie jest podścielony przez łatwą do rozpoznania pod względem litologicznym warstwę nieprzepuszczalną, lecz wodoprzepuszczalność fliszu stopniowo maleje z głębokością. W związku z tym prowadzący wiercenia nie mają kryteriów litologicznych do zamykania poziomów wodonośnych lub przerywania wiercenia w warstwie nieprzepuszczalnej. Flisz jest zespołem naprzemianlegle występujących piaskowców — skał typowo wodonośnych — z łupkami ilastymi, które są typowymi skałami nieprzepuszczalnymi. Cały ten zespół skalny jest wodoprzepuszczalny dzięki systemowi rozwartych szczelin, jednakże ze wzrostem głębokości rozwartość szczelin szybko się zmniejsza, obniżając wodoprzepuszczalność aż do głębokości, gdy górotwór staje się praktycznie nieprzepuszczalny. Rozpoznanie granicy, poniżej której skały są nieprzepuszczalne, wymagałoby przeprowadzenia specjalnych badań, a takich nie wykonuje się przy wierceniach studziennych. W tej sytuacji o głębokości studzien decyduje nadzór geologiczny wyłącznie na podstawie ogólnego w tym zakresie doświadczenia. Może się zdarzyć, że niektóre studnie sięgają głęboko poniżej stropu strefy nieprzepuszczalnej. Przykłady mogące potwierdzić to przypuszczenie dostarcza analiza wyników próbnych pom-

Tabela 3

Przykłady obniżenia zwierciadła wody poniżej spągu warstwy wodonośnej

Położenie, depresje i wydatki studzien					
Jasło-Krajowice		Świątniki		Miejsce Piastowe	
s(m)	Q(m ³)h	s(m)	Q(m ³)h	s(m)	Q(m ³)h
8,0	5,0	5,13	1,8	9,2	0,72
16,0	7,0	11,2	2,38	13,0	0,68
25,0	7,0	16,0	2,30	—	—
głęb. studni (m) 70,0		— 44,5		— 30,0	
„ do zw. nawier. (m) 37,0		— 18,0		— 11,0	
„ do zw. ustal. (m) 27,0		— 16,0		— 3,0	
„ do spągu w-wy wodonoś. (m) 43,0		— 27,2		— 12,2	

powań. Zauważono w kilku przypadkach (nie weszły one do zbioru 100 otworów), że zwiększanie depresji pozostawało bez wpływu na wzrost wydatku studni. Trzy tego rodzaju przykłady zawiera tabela 3. Widać tam, że wydatki studzien odwierconych w miejscowościach Jasło-Krajowice i Świątniki Górne są takie same przy drugiej jak i przy trzeciej depresji. Studnia zaś w Miejsu Piastowym miała ten sam wydatek na pierwszej co i na drugiej depresji. Zjawisko to nie wynikało ani ze szczyrpywania zasobów wody, gdyż nie sprzyjały temu: zbyt krótki czas pompowania (24—48 godz.) i zbyt duże różnice w depresjach, ani też ze zmiany rodzaju filtracji. Przyczyną tego mogło być jedynie obniżenie zwierciadła wody poniżej spągu warstwy wodonośnej. Tylko w takim przypadku powiększanie depresji mogło pozostać bez wpływu na wydatek.

Z danych zamieszczonych w tabeli 3 wynika, że studnie zagłębione były co najmniej 17—27 m w warstwę nieprzepuszczalną, a w Miejsu Piastowym miąższość spękanej strefy wodonośnej wynosiła nie więcej jak 1,2 m. Przytoczone przykłady dowodzą, że strefa wodonośnego fliszu może być cieńsza od głębokości niektórych studzien. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że większość studzien posiada głębokości w granicach 30—40 m, co odpowiada średniemu zasięgowi strefy aktywnej wymiany wody, ustalonej przy pomocy badań wodochłonności (Niedzielski, 1974 i 1976), za podstawę do obliczenia miąższości strefy nasyconej przyjęto głębokości otworów. Przy tego rodzaju założeniu współczynniki filtracji są przypuszczalnie mniejsze od rzeczywistych o kilkanaście do kilkudziesięciu procent. Dokładniejsze oszacowanie błędu jest praktycznie niemożliwe. Obliczenia współczynnika filtracji wyłącznie dla ujęć bezinfiltracyjnych o laminarnym dopływie wody wykonano według wzoru Dupuit. Zasięg depresji dla warunków ciśnieniowych obliczono w myśl założeń Jarodzkiego (1972) ze wzoru Sichardta, a dla swobodnego zwierciadła wody ze wzoru Kusakina.

Otrzymano 36 współczynników filtracji o wartościach $0,13\text{—}19,0 \times 10^{-6}$ m/s. Jeśli nie uwzględniać jednego współczynnika $k = 1,9 \times 10^{-5}$ m/s uzyskanego z próbnego pompowania studni nr 4 w Mogilanach (występują tam korzystniejsze warunki hydrogeologiczne), to pozostałe mieszczą się w stosunkowo wąskim przedziale rzędu 10^{-7} — 10^{-6} m/s. Średnia arytmetyczna z wszystkich współczynników filtracji zarówno dla ujęć o zwierciadle ciśnieniowym, jak i swobodnym wynosi około 2×10^{-6} m/s. Wartość ta jest o połowę niższa od średniego współczynnika filtracji podanego we wcześniejszej pracy autora (Niedzielski, 1978). Rozbieżność ta wynikła, jak już wspomniano, na skutek przeprowadzonej korekty materiału dokumentacyjnego i obliczeń. Średnia wartość współczynnika filtracji $k = 2 \times 10^{-6}$ m/s dobrze koresponduje z niskimi wydatkami studzien i dowodzi o małej zasobności fliszowego poziomu

wodonośnego. Dla porównania można podać, że jest ona 30-krotnie niższa od średniego współczynnika filtracji węglanowych skał triasowych rejonu olkuskiego (Motyka, Wilk, 1976), 5—6-krotnie niższa od piaskowcowych serii warstw górnokarbońskich Górnego Śląska a bardzo zbliżona do piaskowcowo-lupkowych warstw orzeskich tegoż regionu (Kleczkowski, Vn-Ngoc-Ky i Zoń, 1968).

WNIOSKI

Podstawowe znaczenie dla właściwej oceny wodności fliszu miało rozróżnienie ujęć bezinfiltracyjnych od infiltracyjnych i merytoryczne oraz statystyczne uzasadnienie, że każdy rodzaj tych ujęć tworzy odrębne i istotnie różniące się populacje.

Zbiór składający się z 62 wydajności porównawczych studzien fliszowych reprezentuje próbę jednorodną w takim stopniu, w jakim to było możliwe do osiągnięcia przy obecnym poziomie rozpoznania hydrogeologicznego, wynikającego z danych dokumentacyjnych. Dane te jakkolwiek w większości pochodzą z piaskowców krośnieńskich płaszczowiny śląskiej w rejonie wschodnich Karpat, to jednak można je uogólnić na obszar całych Karpat fliszowych, gdyż pozostałe wyniki z innych ogniw stratygraficznych i jednostek tektonicznych choć mniej liczne, nie różnią się istotnie od całego zbioru.

Można zatem oczekiwać z 90% prawdopodobieństwem, że studnia odwiercona we fliszu karpackim może dostarczyć zaledwie 0,12 m³/h wody przy depresji 5 m. Wydatki uzyskiwane zaś przy dowolnych depresjach, będą bardzo zbliżone do liniowej zależności wyrażonej równaniem:

$$s(m) = 8,3 Q \text{ (m}^3/\text{h)}.$$

Oznacza to, że wydobyć z jednego otworu np. 5 m³/h wody jest przeciętnie możliwe, gdy zaistnieją warunki do wytworzenia ogromnej 42 m depresji. W warunkach szczególnie korzystnych wydatek może być 3,65 razy większy, choć nie oznacza to, że będzie on trwały. Świadczy to z jednej strony o bardzo małej zasobności fliszowych poziomów wodonośnych, a z drugiej strony o dużej jednorodności warunków hydrogeologicznych w całym regionie. Warunki te wynikają z małej miąższości strefy nasyconej i małej wodoprzepuszczalności, oscylującej w stosunkowo wąskich granicach. Średni współczynnik utworów fliszowych wynosi 2×10^{-6} m/s. Parametr ten poleca się stosować do obliczeń hydrogeologicznych, a szczególnie do prognozowania wydatku pojedynczych studzien projektowanych na obszarze Karpat fliszowych.

Okazuje się, że w całym regionie pomimo silnego zróżnicowania litologicznego, tektonicznego i geomorfologicznego, warunki hydrogeologiczne są stosunkowo stałe. Wyraża się to tym, że zasoby eksploatacyjne

studni fliszowych nie przekraczają górnej granicy małych zasobów, podczas gdy dolna granica może sięgać do zera. Naprzemianległe występowanie ławic piaskowców ze słabo przepuszczalnymi lub nieprzepuszczalnymi łupkami nie sprzyja gromadzeniu większych zasobów wody, nie tylko na obszarach zbudowanych z subfacji fliszu normalnego i łupkowego, lecz także piaskowcowego. Bowiem nawet grube ławice piaskowców, co stwierdza np. Świdziński (1972) charakteryzując rejon Krynicy, rozbite są wkładkami łupków na kilka słabych poziomów wodonośnych.

Tektonika fałdowa powoduje strome zapadanie warstw wodonośnych, skutkiem czego następuje wraz z głębokością szybkie zaciskanie szczelin i zanika zdolność przewodzenia wody. Podobny efekt wywołują naprężenia naturalne, występujące w górotworze w związku z tektoniką fałdową, która doprowadziła do ogromnej kompresji osadów. W rezultacie tylko płytka strefa głębokościowa objęta procesami wietrzenia i relaksacji górotworu jest spękana i wodonośna.

Tektonika uskokuwa, powoduje natomiast rozbicie wodonośnych serii na małe, izolowane warstwami nieprzepuszczalnymi bloki, których zasoby są ograniczone małymi powierzchniami infiltracji opadów atmosferycznych. Nigdzie w Karpatach fliszowych nie stwierdzono, aby strefy spękań tektonicznych, co często ma miejsce np. w środowisku wapiennym lub marglistym, stanowiły szczególnie zasobne w wodę obszary. Odwrotnie, stwierdzono, że strefy te są często uszczelnione i nieprzepuszczalne dla wody.

Wnioski wypływające z analizy wydatków studzien dotyczą obszarów doliny i niskich partii zboczy. Można jednak przypuszczać, choćby na podstawie prac dotyczących wydatków źródeł bijących z masywów górskich (Pawlik-Dobrowolski, 1965; Niemirowska, Niemirowski, 1968; Waksmundzki, 1968; Pietrygowa 1975 i inni), że i w wyższych rejonach Karpat zewnętrznych, warunki hydrogeologiczne są podobne lub gorsze. Nigdzie bowiem nie zarejestrowano wysokich i trwałych wydatków źródeł. Można przypuszczać, że rozcięcie głębokimi dolinami potężnych serii piaskowcowych, które tworzą najwyższe grzbiety górskie, nie sprzyja również retencji wody, lecz znacznie ułatwia drenaż.

Te ogólne cechy powodujące małą zasobność fliszu, jak wynika z pracy Hyniego (1961), są właściwe dla Karpat fliszowych nie tylko na obszarze Polski, lecz również poza jej granicami.

Wypada również nadmienić, że wiercenie we fliszu otworów, które by stanowiły ujęcia infiltracyjne zasilane wodą powierzchniową lub z poziomu czwartorzędowego, jest z praktycznego punktu widzenia rozwiązaniem błędnym. O wiele lepsze efekty ekonomiczne i ilościowe można uzyskać projektując z pełną świadomością w osadach czwartorzędowych typowe ujęcie infiltracyjne.

*Maszynopis nadesłano V 1978,
przyjęto do druku III 1979*

WYKAZ LITERATURY — REFERENCES

- Babushkin V. D., Böcker T., Borevski B. V., Kovalewski V. S., (1975), Regime of subterranean Water Flow in Karst Regions. *Inter. Un. Geol. Sc.* ser. B, 3: 69—77, Paris.
- Hynie O. (1961) Hydrogeologie CSSR I Proste wody. *Českosl. AK. Ved.*: 13—517, Praha.
- Jarodzki L. (1972), Wytyczne obliczeń współczynnika filtracji na podstawie polowych metod badań hydrogeologicznych. Zasady obliczeń hydrogeologicznych ujęć wód podziemnych. *Wyd. Geol.* 4: 7—97, Warszawa.
- Kleczkowski A. S., Vu-Ngoc-Ky, Zoń S. (1968) Water-permeability of the Sandstones of Upper Carboniferous in Upper Silesia. *Bull. Acad. Pol. Sc. Ser. Sc. geol. geogr.* 16, 2: 111—123, Warszawa.
- Książkiewicz M. (1972), Budowa geologiczna Polski. t. 4. Tektonika. cz. 3. Karpaty. *Wyd. Geol.* 9—196, Warszawa.
- Macioszczyk T. (1964), Dopyw do ujęć hydrogeologicznych w warunkach filtracji mieszanej i turbulentnej. *Biul. Geol. Uniw. Warsz.* 4: 159—186, Warszawa.
- Macioszczyk T. (1971), Dopyw wody do studni pojedynczej. *Poradnik hydrogeologa.* *Wyd. Geol.* 199—259, Warszawa.
- Michalik A., Poprawa D. (1963). Przeglądowa mapa hydrogeologiczna Polski 1:300 000 ark. A i B Nowy Sącz *Wyd. Geol.* Warszawa.
- Michalik A. (1965), Wodoność warstw iściebniańskich w okolicy Kalwarii Zebrzydowskiej *Kwart. geol.* 8: 443—444, Warszawa.
- Michalik A. (1965 a), Wodoność warstw magurskich w okolicy Rabki. *ibidem*: 446—447.
- Motyka J., Wilk Z. (1976), Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina Śląsko-Krakowska) *Ibidem* 2: 384—396.
- 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.* 44, 1: 115—137, Kraków.
- Niedzielski H. (1976), Próba uogólnienia warunków geologicznych dla budownictwa hydrotechnicznego w polskich Karpatach fliszowych. *P. K. Wyd. Bud. Wod. Ref. na Jub. Sesje Nauk. XXX-lecia P. K.* 177—188, Kraków.
- Niedzielski H. (1978), Warunki hydrogeologiczne fliszu karpackiego w świetle badań geologiczno-inżynierskich. *Zesz. Nauk. P. K. Bud. Wod. i Inż. San.* 27: 3—94 Kraków.
- Niećmirowska J., Niećmirowski M. (1968) Stosunki hydrograficzne zlewni potoków Jaszcz i Jamne (Hydrographic conditions of the Jaszcz and Jamne drainage area) *Stud. Nat. ser. A*, 2: 39—48.
- Oszczypko N. (1966), Zawodnienie piaskowców magurskich w północno-wschodniej części ark. Nowy Sącz. *Kwart. geol.* 10, 4: 1158—1159, Warszawa.
- Pawlik-Dobowski J. (1965) Uźródłowienie południowej Polski. *Zesz. Nauk U. J. Pr. geogr.* 12: 7—39, Kraków.
- Pietrygowa Z. (1975), Odpyw podziemny w ogólnym obiegu wody w Karpatach na przykładzie dorzecza Skawy. *Mater. bad. IMGW ser. 5.*: 3—228, Warszawa.
- Streltsova T. D. (1976). Hydrodynamics of Groundwater Flow in a Fractured Formation. *Water Resour. Res.* 12, 3: 405—413.
- Świdziński H. (1972), Geologia i wody mineralne Krynicy. *Pr. geol. PAN KNG* 70: 11—82, Warszawa.

- Szpakowski J. (1975), Warunki hydrogeologiczne województwa rzeszowskiego w aspekcie możliwości wykorzystania wód podziemnych. *Gaz Woda* 1: 13—14, Warszawa.
- Waksmundzki K. (1968), Z badań hydrograficznych w dorzeczu górnej Wisły Hydrographic Investigation in the Upper Vistula Basin). *Zeszyt Nauk. UJ. Pr. geogr.* 21: 39—79, Kraków.
- Ziobroń W. (1976), Metody statystyczne P. K. Skrypt dla stud. podypl. z zakresu organizacji i mechaniki budownictwa 5—89, Kraków.

SUMMARY

The paper evaluates fresh water resources in Flysch deposits of the External Carpathians with respect to the discharge of an individual drilled well. A hundred wells were chosen out of the 245 wells drilled in the Flysch Carpathians region of Poland; the chosen wells had complete hydrogeological characteristics and correct results of pumping tests. Localization of these wells is shown in Figure 1.

The discharge of a well at a depression of 5 m was accepted as a comparative value (Q_5). The choice of this criterion was justified by a poorly diversified depth of an active water exchange zone, on an average amounting to 30—40 m, according to special studies of Niedzielski (1974, 1976), as well as by poorly diversified bore-hole diameters (Fig. 3), similar construction of wells and most commonly found depressions (Fig. 4). It has been found, on the bases of a detailed analysis of hydrogeological conditions and localization of each well, that 62 of the 100 chosen wells are non-infiltration of Flysch intakes, whereas the remaining 38 — infiltration ones, i.e., alimented to a considerable extent by water from Quaternary aquifers or from rivers. On the whole, it may be assumed that intakes with a comparative discharge bigger than 3 m³/h, at a depression of 5 m (Fig. 5), are infiltration ones, and are characterized by a frequently irregular shape of the function $Q = f(s)$ curve (Fig. 2 and 6).

The comparative values Q_5 of non-infiltration intakes formed two sets of data. Each set was divided into 6 sub-sets, depending upon the character of water table and the kind of infiltration (laminar, transient and turbulent). The Student t-test was used to assess significant differences between means of 12 respective samples. The above mentioned test demonstrated that the values Q_5 of non-infiltration intakes do not differ from one another in a significant way, irrespective of the water table conditions and the kind of infiltration. Similarly, no significant differences were found between samples belonging to infiltration intakes. On the other hand, however, the tests used pointed to significant differences between the two sets: one ($n = 62$)— representative of non-infiltration wells, and the other ($n = 38$)— characteristic of infiltration

ones. Thus evidence is accumulating that each of the two samples comes from different population.

The set consisting of 62 data is of primary importance for the characteristics of underground water resources in the Flysch of the External Carpathians. The frequency distribution Q_5 is *J*-shaped (Fig. 7) and may be approximated with the exponential function of density distribution. In this way, a possible discharge that can be obtained from one well at a depression of 5 m was determined (Fig. 8).

Discharges of the Flysch wells were also plotted on the function $Q = f(s)$. They formed two sub-sets of data (Fig. 9): one, comprising the majority of data (71%), was approximated with the straight line $s = 8.3 Q$, obtaining weak but significant correlation with the coefficient $r = 0.5678$. This straight line represents mean discharges of wells with an error of $\pm 44.52\%$ in the Flysch Carpathians region. The other sub-set of data (29%) was approximated with the straight line $s = 2.28 Q$ with strong correlation $r = 0.946$. The latter straight line is characteristic of discharges in particularly favourable hydrogeological conditions. Both straight lines do not include a decrease in well discharge, taking place during prolonged exploitation (Fig. 10).

The set composed of discharges of infiltration intakes differs from the sets discussed above. It is represented by a parabolic curve $s = 3.07 Q^{0.475}$, which was used to approximate this set of data.

The small capacity of the Flysch is characterized by the mean permeability coefficient 2.10^{-6} m/s.

The above mentioned parameters are characteristic of a sandy Flysch sub-facies of the External Carpathians, found not only in the territory of Poland but also beyond its borders, as it can be assumed on the basis of Hynie's study (1961).

Despite of a considerable differentiation of the lithology, tectonics and geomorphology of this region, the hydrogeological conditions are poorly diversified. The alternate occurrence of sandstones and shales results in division of relatively thick sandstone series into many poorly aquiferous horizons. A steep dipping of beds and their tectonic breaking into smaller blocks, isolated by impermeable layers, limits surfaces of precipitation infiltration. A rapid, depth-related constriction of fissures limits the range of active water exchange to a shallow surface zone; moreover, large differences in elevation of the area makes drainage easier. All these factors, mentioned above, cause small capacity of underground waters in the Flysch Carpathians.

translated by E. Smolak