

**Kazimierz BOGACZ**, Andrzej F. ADAMCZYK,  
Tadeusz Cz. LEŚNIAK, Jacek MOTYKA

## WŁASNOŚCI HYDROGEOLOGICZNE PORFIRÓW LAKKOLITU ZALASKIEGO KOŁO KRZESZOWIC

(8 fig.)

### *Hydrogeological properties of the Zalas porphyry laccolith near Krzeszowice*

(8 Figs.)

**Kazimierz Bogacz**, Andrzej F. Adamczyk, Tadeusz Cz. Leśniak, Jacek Motyka:  
Hydrogeological properties of the Zalas porphyry laccolith near Krzeszowice. *Summary*. Ann. Soc. Geol. Poloniae 54-1/2:261-278, 1984 Kraków.

**Abstract:** Four aquifers connected through hydraulic contact zones of different types were distinguished in the investigated area. The transmissivity and storage coefficient of porphyry were determined. The interpretation of the results of a pumping test posed several problems which were explained assuming the two-layer hydrogeological structure of the porphyry laccolith, and the inertial and storage effects of the pumping well.

**Key words:** hydraulic contact zones, pumping test interpretation porphyry laccolith, Poland.

**Kazimierz Bogacz**, Tadeusz Cz. Leśniak: Instytut Geologii i Surowców Mineralnych AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

Andrzej F. Adamczyk, Jacek Motyka: Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

manuscript received: November, 1980

accepted: January, 1981

**Treść:** Wyodrębnione cztery piętra wodonośne, które łączą się ze sobą poprzez różnego typu strefy kontaktów hydraulicznych. Określono wodoprzewodność i współczynnik zasobności porfirów. W trakcie opracowywania próbnego pompowania napotkano szereg problemów interpretacyjnych, które wyjaśniono dwuwarstwowością hydrogeologiczną lakołitu porfirowego i tzw. efektem bezwładności pojemnościowej otworu pompowego.

## WSTĘP

Spękane masywy skał magmowych i metamorficznych są stosunkowo rzadko przedmiotem zainteresowania hydrogeologów praktyków, gdyż wodonośność tych skał jest z reguły niewielka. Autorzy nie znają przypadku długotrwałego próbnego pompowania w porfirach. Pompowanie takie zostało wykonane w porfirach lakolitu zalaskiego. Wyniki tego pompowania wyjaśnić miały z jednej strony jak duże będą dopływy wód do kamieniołomu eksploatującego porfiry, z drugiej zaś jak wpłynie drenowanie złoża porfirów na zakłócenie stosunków wodnych w rejonie Zalasu. Należy tutaj podkreślić, iż stosunki wodne w momencie podjęcia badań były już zaburzone przez prowadzoną wcześniej eksploatację i nie jest znany ich stan pierwotny.

W celu rozwiązania powyższych problemów wykonano szczegółowe zdjęcie geologiczne i hydrogeologiczne, wydzielono piętra wodonośne, rodzaje i rozprzestrzenienie kontaktów hydraulicznych pomiędzy piętrami wodonośnymi oraz scharakteryzowano warunki krążenia i wymiany wód podziemnych w tym rejonie.

Głównym celem niniejszej pracy jest omówienie wyników próbnego pompowania na tle budowy geologicznej i ogólnych warunków wodnych. Szczególny nacisk położono na problemy jakie pojawiły się w trakcie interpretacji wyników tego pompowania. Mimo długiego czasu pompowania i stosunkowo dużej ilości punktów obserwacyjnych oraz dobrej znajomości budowy geologicznej nie wyjaśniono całkowicie niektórych problemów dotyczących warunków i własności hydrogeologicznych lakolitu zalaskiego.

Autorzy dziękują mgr inż. Januszowi Zimnemu z Kombinatu Geologicznego „Południe” Oddział w Krakowie za współpracę przy wykonywaniu próbnego pompowania.

## BUDOWA GEOLOGICZNA

Badany teren o powierzchni nie przekraczającej 20 km<sup>2</sup> jest fragmentem zapadliska przedkarpackiego (fig. 1b). Budują go skały paleozoiczne, mezozoiczne i kenozoiczne. Najstarszymi utworami występującymi na powierzchni są osady karbonu. W dolnej części są to osady wykształcone w facji kulmu reprezentujące wizen (Siedlecki, 1954; Dżułyński 1955). Są to łupki z wkładkami wapieni i piaskowców oraz brekcji egzotykowej. Górna część osadów karbonu (namur, westfal, stefan), powstała w warunkach lądowych, to łupki i piaskowce, miejscami z wkładkami zlepieńców i węgla kamiennych.

W permie, w rozległym zapadlisku tektonicznym, sedymentowały osady lądowe, głównie zlepieńce, ility, tufy i tufity (Siedlecki, 1954; Siedlecka, 1964). Miała miejsce także ożywiona działalność wulkaniczna, która przejawiała się wylewami melafirów i porfirów oraz powstaniem intruzji magmowych. Jedna z intruzji porfirowych występuje w rejonie Zalasu (fig. 1a). Według Dżułyńskiego (1955) intruzja ta ma formę lakolitu, który wdarł się pomiędzy warstwy karbonu dolnego i górnego.

W górnym permie i dolnym triasie w wyniku erozji uległ zniszczeniu dach la-

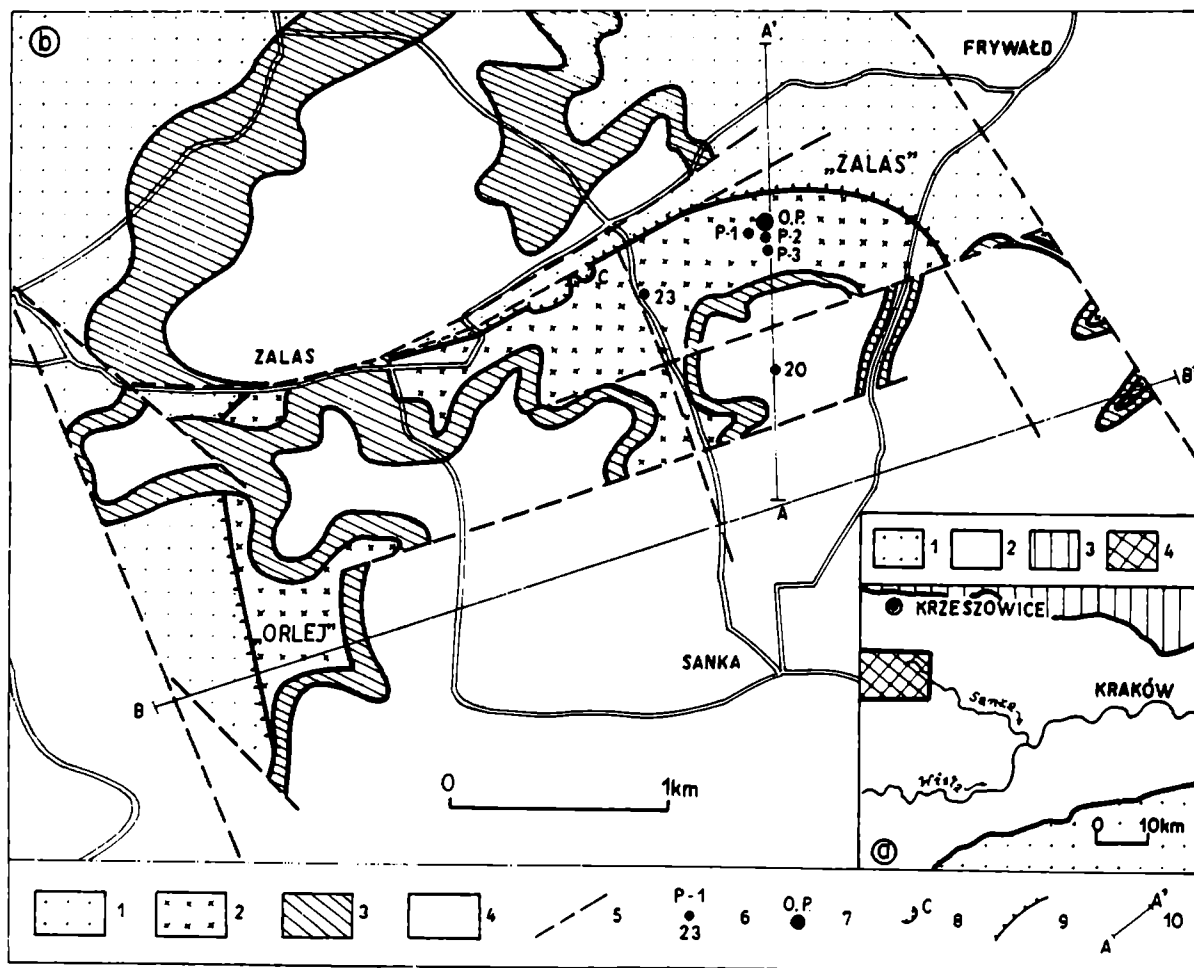


Fig. 1. Mapa geologiczna obszaru lakolitu zalaskiego, a – Lokalizacja rejonu badań. 1 – Karpaty, 2 – zapadlisko przedkarpackie, 3 – wypiętrzona część przedpola Karpat, 4 – rejon badań. b. Mapa geologiczna. 1 – karbon: piaskowce, łupki i wapień, 2 – perm: porfiry, 3 – jura środkowa: piaski, piaskowce, 4 – jura górna: wapień i margle, 5 – ważniejsze uskoki, 6 – piezometry, 7 – otwór pompowy, 8 – miejsce pomiaru ciosu termicznego (por. fig. 4), 9 – linia intersekcyjna stropu lakolitu (kreski oznaczają kierunek zapadania), 10 – linie przekrojów geologicznych

Fig. 1. Geological map of the Zalas laccolith. a. Location map. 1 – Carpathians, 2 – Carpathian foredeep, 3 – uplifted part of the Carpathian foreland, 4 – investigated area. b. Geological map. 1 – Carboniferous sandstones, shales and limestones, 2 – Permian: porphyry; 3 – Middle Jurassic: sands and sandstones, 4 – Upper Jurassic: limestones and marls, 5 – major faults, 6 – piezometers, 7 – pumping well, 8 – Thermal joint measuring site (cf. Fig. 4), 9 – intersection line of the laccolith roof (hachures indicate the direction of dip), 10 – Lines of geological cross-sections

kolitu porfirowego. Kolejnymi osadami, które leżą niezgodnie na karbonie i porfirach permskich są utwory jury środkowej i górnej (fig. 1a).

Utwory doggeru reprezentowane są w dolnej części przez piaski i piaskowce, a w górnej przez wapień piaszczyste. Wypełniają one deniwelacje podłoża uformowanego przed jurą środkową i w związku z tym wykazują dużą zmienność miąższości. Malm rozpoczyna seria margli zwanymi niekiedy „marglami kordatowymi”, nad którymi leżą wapień płytowe przechodzące w wapień skaliste, które w późniejszych okresach uległy skrasowieniu (Gradziński, 1962).

W rezultacie działania plioceńskich procesów rzeźbotwórczych powstały głąbo-

ko wcięte doliny zasypane następnie grubookruchowymi osadami luźnymi (Dżułyński i in., 1966).

Osady czwartorzędowe są głównie pochodzenia polodowcowego. Składają się na nie gliny morenowe i osady fluwioglacjalne krakowskiego i środkowopolskiego zlodowacenia oraz lessy i gliny lessopodobne. W przypadku ich braku czwartorzęd reprezentowany jest przez gliny zwietrzelinowe starszych utworów karbońskich, permskich lub jurajskich.

Układ warstw karbońskich w rejonie Zalasu, charakteryzujący się regionalnymi deformacjami, był modyfikowany w czerwonym spągowcu przez intrudującą magmę, która utworzyła tu rozległy lakolit porfirowy. Ten typ intruzji, jak wiadomo, charakteryzuje się tym, że warstwy położone w spągu nie ulegają większym defor-

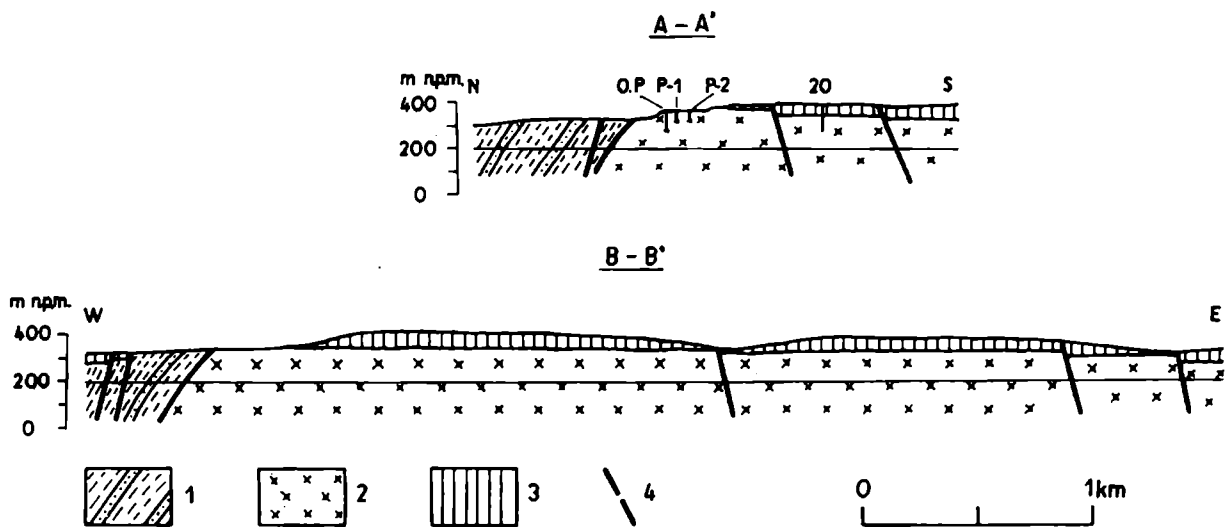


Fig. 2. Przekroje geologiczne przez lakolit zalaski. 1 – karbon: łupki, piaskowce, wapień, 2 – perm: porfir, 3 – jura: piaski, piaskowce, wapień i margle, 4 – uskoki

Fig. 2. Geological cross-section through the Zalas laccolith. 1 – Carboniferous shales, sandstones and limestones, 2 – Permian: porphyry, 3 – Jurassic: sands, sandstones, limestones and marls, 4 – faults

macjom, natomiast warstwy leżące ponad intruzją są deformowane, dopasowując się do bochenkowatego kształtu lakolitu (kopuła). Obecnie nie wiadomo jakie skały leżą w spągu intruzji, gdyż żadne z wykonanych dotychczas wierceń w obrębie porfiru nie przewierciły go. W strefach kontaktowych porfiru ze skałami karbońskimi obserwuje się zgodność zapadania warstw z zapadaniem stropu lakolitu (fig. 2).

Dominujący i ostateczny wpływ na styl tektoniki najmłodszego permo-mezozoicznego piętra strukturalnego wywarły zjawiska zachodzące na przedpolu fałdujących i nasuwających się Karpat w okresie orogenezy alpejskiej (Dżułyński, 1953). Powstały wówczas liczne zręby i rowy tektoniczne, niejednokrotnie na starszych założeniach waryscyjskich. Alpejskie struktury tektoniczne rozciągają się głównie w kierunku ENE – WSW, obok którego zaznacza się zespół poprzeczny do niego o kierunku NNW – SSE (fig. 1). W rejonie Zalasu amplitudy zrzutu uskoków są stosunkowo niewielkie i wynoszą około 50 m.

WARUNKI KRAŻENIA WÓD PODZIEMNYCH

Na podstawie dotychczasowego rozpoznania geologicznego i hydrogeologicznego (Bogacz, Leśniak, 1979), w rejonie Zalasu możemy wyodrębnić cztery piętra wodonośne: czwartorzędowe, jurajskie, permskie i karbońskie. Syntetyczne ujęcie poszczególnych pięter i poziomów wodonośnych oraz serii izolujących, a także charakter litologiczny poszczególnych wydzieleni zamieszczono w tabeli 1.

Nieodłącznym elementem krążenia wód jest ich wymiana pomiędzy poszczególnymi piętrami i poziomami wodonośnymi w strefach kontaktów hydraulicznych. Rozpatrywany obszar w okolicy Zalasu, mimo niewielkiej powierzchni, charakteryzuje się występowaniem różnorodnych form więzi hydraulicznej między wydzielonymi piętrami wodonośnymi (tab. 1). Przy omawianiu tych kontaktów posłużono się genetyczną klasyfikacją Wilka i Motyki (1977). W odniesieniu do okolic Zalasu klasyfikacja ta wymagała uzupełnienia o więzi hydrauliczne powstałe wskutek intruzji. Autorzy proponują, aby tego rodzaju kontakty nazwać magmowo-intruzywnymi. Typy więzi hydraulicznych pomiędzy piętrami wodonośnymi, które mają istotny wpływ na reżim wód podziemnych w rejonie Zalasu, przedstawiono na figurze 3.

Najlepiej rozpoznane są pierwotne kontakty hydrauliczne typu sedymentacyjno-transgresywnego oraz wtórne typu tektonicznego pomiędzy permskim i jurajskim piętrzem wodonośnym. Nieco słabiej rozpoznane, ale mające dość istotne

Tabela – Table 1

Litologia, piętra i poziomy wodonośne oraz serie izolujące

Piętro wodonośne	Seria izolująca
Czwartorzędowe: piaski i żwiry fluwioglacjalne	
	czwartorzędowe gliny morenowe i utwory nieprzepuszczalne podłoża starszego
Jurajskie – poziom malmu: spękane i skrasowane wapienie płytowe i skaliste	
	margle dolnego malmu
Jurajskie – poziom doggeru: wapienie piaszczyste, piaski i piaskowce	
	ilty grojeckie
Permskie: spękane porfiry	
	łupki ilaste mułowce i iltowce karbonu dolnego
Karbońskie: wkładki piaskowcowe i zlepionowe w serii łupkowej	

SCHEMAT KONTAKTU SCHEME OF CONTACT	TYP KONTAKTU TYPE OF CONTACT	PIĘTRA KONTAKTUJĄCE CONTACTING AQUIFERS
	PIERWOTNY - PRIMARY SEDYMENTACYJNO - TRANSGRESYWNY SEDIMENTARY - TRANSGRESSIVE	JURA - PERM JURASSIC - PERMIAN
		JURA - KARBON JURASSIC-CARBONIFEROUS
	W T Ó R N Y - SECONDARY TEKTONICZNY TECTONIC	JURA - PERM JURASSIC - PERMIAN
		JURA - KARBON JURASSIC-CARBONIFEROUS
	MAGMOWO - INTRUZYWNY MAGMATIC-INTRUSIVE	PERM - KARBON PERMIAN-CARBONIFEROUS
	EROZYJNY EROSIONAL	CZWARTORZĘD - KARBON LUB PERM QUATERNARY-CARBONIFEROUS OR PERMIAN

Fig. 3. Schematy kontaktów hydraulicznych pomiędzy piętami wodonośnymi w rejonie Zalasu. C - karbon, P - perm, J - Jura, Q - czwartorzęd. Strzałkami zaznaczono strefy kontaktów  
 Fig. 3. Hydraulic contacts between aquifers in the Zalas area. C - Carboniferous, P - Permian. J - Jurassic, Q - Quaternary. Contact zones are marked with arrows

znaczenie dla reżimu wód podziemnych w badanym terenie są kontakty podobnego typu między karbońskim i jurajskim piętrem wodonośnym.

Sedymentacyjno-transgresywne kontakty między permskim i jurajskim piętrem wodonośnym występują na znacznej powierzchni w południowej części obszaru, gdzie porfiry są przykryte przekraczająco osadami doggeru i malmu (fig. 1). Bezpośredni kontakt porfirów z wapieniami malmu został stwierdzony w jednym odsłonięciu na powierzchni terenu. Na obszarach okalających lakolit porfirowy osady jury kontaktują skośnie z różnymi ogniwami karbonu, tzn. mamy do czynienia z sedymentacyjno-transgresywnymi typami więzi hydraulicznej między tymi piętrami wodonośnymi.

Wtórne kontakty hydrauliczne typu tektonicznego między porfirami i osadami jury grupują się w centralnej części terenu, gdzie występuje szereg uskoków (fig. 1). Szeroka strefa bocznego kontaktu hydraulicznego pomiędzy porfirami i wodonośnymi osadami jury występuje wzdłuż dyslokacji ograniczających lakolit od północy (fig. 1). Znacznie mniejsze strefy kontaktów tego typu są związane również z innymi uskokami. Spękania towarzyszące deformacjom nieciągłym mogą być także drogami wymiany wód pomiędzy osadami jury i porfirami (fig. 3).

Wzdłuż uskoków występujących na zachodnich peryferiach rozpatrywanego obszaru występują strefy wtórnych kontaktów tektonicznych jury z karbonem (fig. 1, 3). Więzi hydrauliczne tego typu występują także wzdłuż krótkich odcinków dyslokacji o przebiegu równoleżnikowym.

W celu określenia całokształtu warunków krążenia wód podziemnych należy uwzględnić więź hydrauliczną typu magmowo-intruzywnego między porfirami i wodonośnymi skałami karbonu. Tego typu kontakty hydrauliczne stwierdzono w kilku odsłonięciach na powierzchni w trakcie prac kartograficznych.

W oparciu o przesłanki geologiczne, zawarte w pracy Dżułyńskiego i innych (1966), autorzy dopuszczają możliwość istnienia erozyjnego kontaktu hydraulicznego porfirów z czwartorzędowym piętrem wodonośnym (fig. 3) w północnej części obszaru badań, jakkolwiek strefy tego typu kontaktów hydraulicznych nie zostały dotychczas udokumentowane.

Drogi krążenia wód podziemnych w rejonie Zalasu nie są dobrze rozpoznane. Przy obecnym stanie zaawansowania badań można stwierdzić, iż wszystkie piętra wodonośne w większym lub mniejszym stopniu są zasilane wodami opadowymi, infiltrującymi w strefie wychodni. Bazą drenażu dla całego badanego obszaru są najniżej hipsometrycznie położone ciekły powierzchniowe.

Rola czwartorzędowego piętra wodonośnego w krążeniu wody podziemnej jest niejasna. Za pośrednictwem tych osadów są prawdopodobnie zasilane wodonośne utwory karbonu i być może porfiry permskie.

Zwierciadło wody w utworach jurajskich budujących wysoczyzny utrzymuje się najwyżej w stosunku do położenia zwierciadła w innych piętrach wodonośnych. Dlatego też w obrębie tego piętra można wyodrębnić dwie składowe przepływy: poziomą i pionową. Poziomy strumień wód podziemnych w osadach jury jest skierowany ku ciekom powierzchniowym i licznym źródłom, które drenują jurajskie piętro wodonośne. Niewielka część tego strumienia zasila zapewne piętro

permskie lub karbońskie w strefach kontaktów hydraulicznych typu sedymentacyjno-transgresywnego lub tektonicznego. W obszarach, gdzie osady jury leżą na porfirach lub wodonośnych skałach karbońskich mamy do czynienia z pionowym przesączaniem się wód z jury do niżejleżących skał.

Wody podziemne z utworów permu i karbonu odpływają w kierunku najniższej położonych cieków powierzchniowych. Porfiry prócz naturalnego drenażu są także osuszane w sposób sztuczny. Częściowo zasoby wód podziemnych w tych skałach uzupełniane są przez wody infiltrujące z niewielkich cieków powierzchniowych położonych wyżej niż rzeki będące podstawą drenażu. W trakcie prac kartograficznych stwierdzono całkowity zanik niektórych cieków powierzchniowych na pewnych odcinkach wychodni porfirów.

Aktualnie nie da się określić charakteru i kierunku wymiany wody między permskim i karbońskim piętnem wodonośnym w strefach kontaktów typu magmowo-intruzywnego. Ze względu na generalnie wyższe położenie wychodni porfiru i przy założeniu słuszności zasady współkształtności zwierciadła wody podziemnej z powierzchnią terenu, można przypuszczać, że w warunkach reżimu naturalnego wody podziemne będą miały tendencję odpływu z porfirów do wodonośnych osadów karbonu.

## WYNIKI PRÓBNEGO POMPOWANIA W PORFIRACH

### STRUKTURA HYDRAULICZNA PORFIRÓW

Strukturę hydrauliczną porfirów tworzą wyłącznie spękania, przy czym można wyróżnić spękania termiczne, tzn. endokinetyczne w ujęciu Czernyszewa (1979) oraz tektoniczne i wietrzeniowe, czyli egzogeniczne według klasyfikacji cytowanego badacza.

Spękania termiczne w porfirach zalaskich opisał Dżułyński (1955), wydzielając charakterystyczne dla lakolitu spękania stożkowe, promieniste i obwodowe (fig. 4, 7). Na cios stożkowy składają się spękania o gładkich powierzchniach, zapadających ku wnętrzu intruzji pod kątem 40 do 50°. Cios promienisty tworzą pionowe lub prawie pionowe pęknięcia prostopadłe do spękań systemu stożkowego oraz brzegów intruzji, a cios obwodowy tworzy system spękań równoległych do dachu intruzji i rozwinięty lokalnie (fig. 4, 7).

Spękania tektoniczne w porfirach powstały w okresie pojurajskich ruchów tektonicznych i wiążą się nierozdzielnie z systemami uskoków. Najsilniej zaznaczają się spękania synkinematyczne z uskokami okierunku ENE – WSW. W większości można je określić jako opierające dyslokacje i dlatego też strefy przyuskokowe mogą być uprzywilejowanymi drogami krążenia wód podziemnych. Podobne przypadki zwiększonej wodonośności stref przyuskokowych w porfirach z północnej Saksonii opisuje Hohl (1966).

Na sieć spękań termicznych i tektonicznych są nałożone pęknięcia wietrzeniowe, powstałe w okresach erozyjnych. Zasięg spękań wietrzeniowych jest niewielki w porównaniu z ciosem termicznym i tektonicznym. Wzajemnie na siebie nałożone spękania o różnej genezie tworzą bardzo złożoną strukturę hydrauliczną. Dodatko-



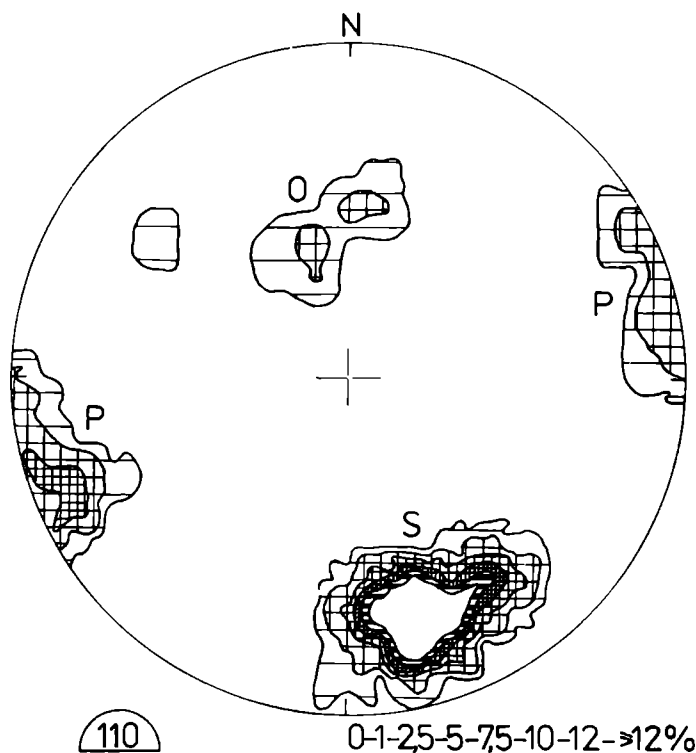


Fig. 4. Diagram klasycznego systemu ciosu termicznego w lakolicie zalaskim. Łom porfiru w dolinie potoku Zalas – około 200 m na zachód od skrzyżowania dróg Zalas – Sanka, Zalas – Frywałd. *S* – cios stożkowy, *P* – cios promienisty, *O* – cios obwodowy, *D* – projekcja stropu porfiru w miejscu pomiaru ciosu

Fig. 4. Diagram of a classical thermal joint system in the Zalas laccolith. Porphyry quarry in the Zalas stream valley. Sets of thermal joint. *S* – conical, *P* – radial, *O* – circumferential, *D* – projection of the porphyry roof surface at the measurement point

we komplikacje wynikają stąd, że część spękań jest wypełniona gliną kaolinową, będącą rezydum wietrzenia porfirów. Wypełnione szczeliny utrudniające przepływ wody grupują się przede wszystkim w przystropowej partii lakolitu oraz częściowo w pobliżu uskoków, gdzie większe szczeliny sprzyjały głębszemu wietrzeniu porfirów.

#### INTERPRETACJA WYNIKÓW PRÓBNEGO POMPOWANIA

Badania własności hydrogeologicznych porfirów przeprowadzono w hydrowęźle złożonym z otworu pompowego i pięciu otworów obserwacyjnych, których rozmieszczenie pokazano na mapie geologicznej (fig. 1). Opisane w niniejszej pracy pompowanie jest swego rodzaju ewenementem, ponieważ skały magmowe nie budzą większego zainteresowania hydrogeologów z uwagi na niewielką wodoność. W Polsce i krajach ościennych sporadycznie ujmuje się wodę z tego rodzaju skał (Kleczkowski, 1979), jak to ma miejsce w północnej Saksonii, gdzie mimo niewielkich wydatków jednostkowych wynoszących 0,04–0,5 l/s · m pompuje się wodę z porfirów (Hohl, 1966).

Pompowanie w porfirach prowadzono ze stałą wydajnością  $Q = 0,0023 \text{ m}^3/\text{s}$  przez 32 d. Końcowa depresja w otworze pompowym wyniosła 58 m, co daje wydatek jednostkowy 0,04 l/s · m, a więc w pobliżu dolnej granicy wydatków jednostkowych porfirów północno-saksońskich (Hohl, 1966). Wykresy wskaźnikowe opadania wody w otworach obserwacyjnych w półlogarytmicznym układzie osi  $s = f(\lg t)$  przedstawiono na figurach 5 i 6. Wielkość depresji w otworach obserwacyjnych P-1, P-2 i P-3 i 23 po 32 dniach była mniej więcej zbliżona wynosząca 0,7 do 0,9 m. Również przebieg opadania zwierciadła wody w tych piezometrach był bardzo podobny (fig. 5). Zupełnie inaczej opadała woda w otworze obserwacyjnym 20 (fig. 6), w którym depresja mimo znacznej odległości od otworu pompowego

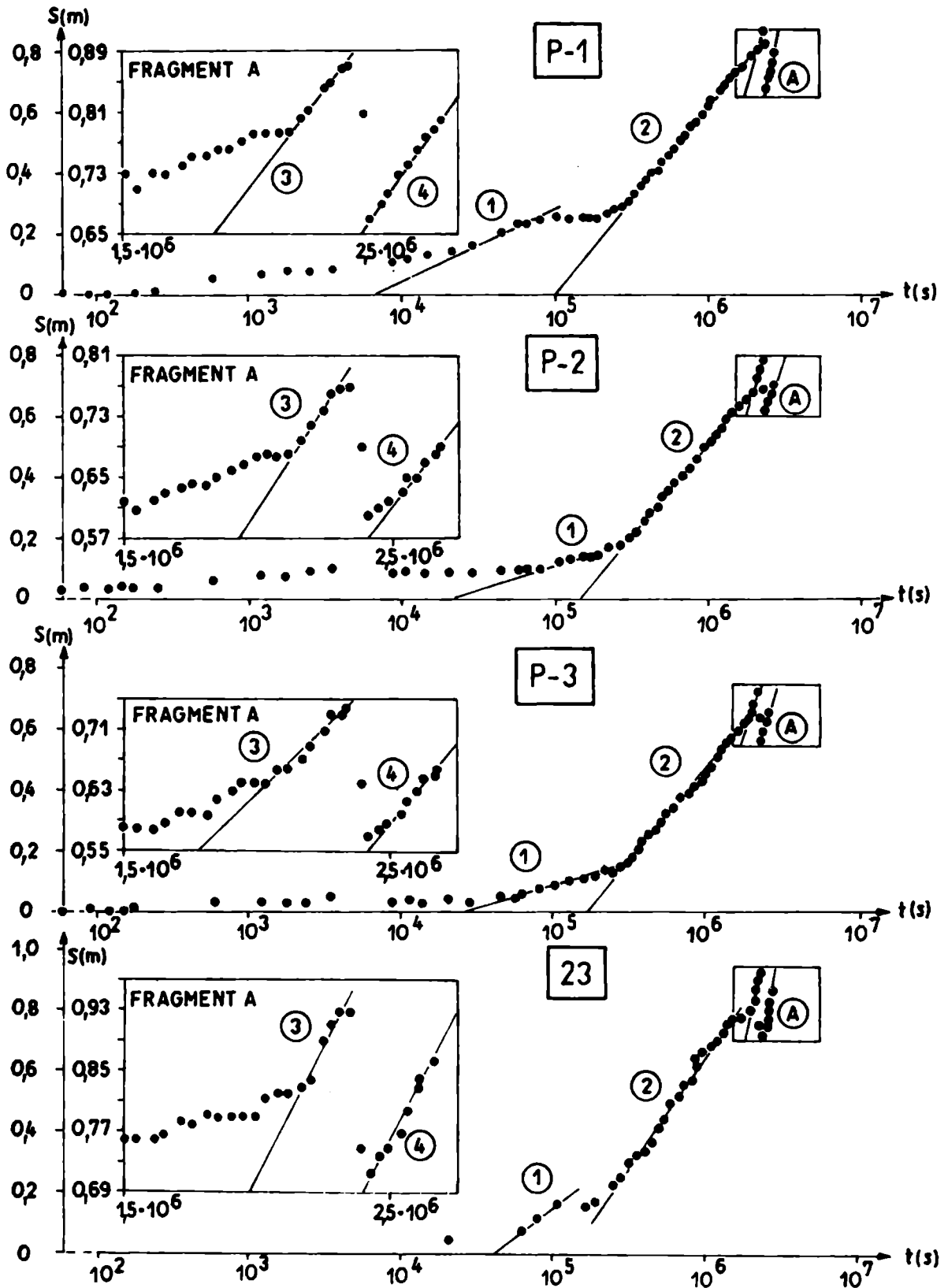


Fig. 5. Wykresy wskaźnikowe opadania zwierciadła w piezometrach P-1, P-2, P-3 oraz w otworze 23  
Fig. 5. Graph of water table lowering in piezometers P-1, P-2, P-3, and well 23

(fig. 1) była największa i po 11 dniach wynosiła przeszło 2,5 m. W późniejszym okresie nastąpił zanik wody w tym piezometrze. Również przebieg opadania wody w otworze 20 był odmienny od pozostałych otworów obserwacyjnych. Analiza

przebiegu wody w piezometrach upoważnia do wyciągnięcia ogólnego wniosku, że spękania tworzą połączoną sieć przewodów hydraulicznych w całym masywie porfirowym, gdyż we wszystkich otworach obserwacyjnych stwierdzono obniżanie się zwierciadła wody w czasie pompowania.

Według podziału hydraulicznego skał szczelinowych, proponowanego przez Streltsovą (1976), porfiry Zalasu są ośrodkiem wyłącznie spękanym, tj. takim,

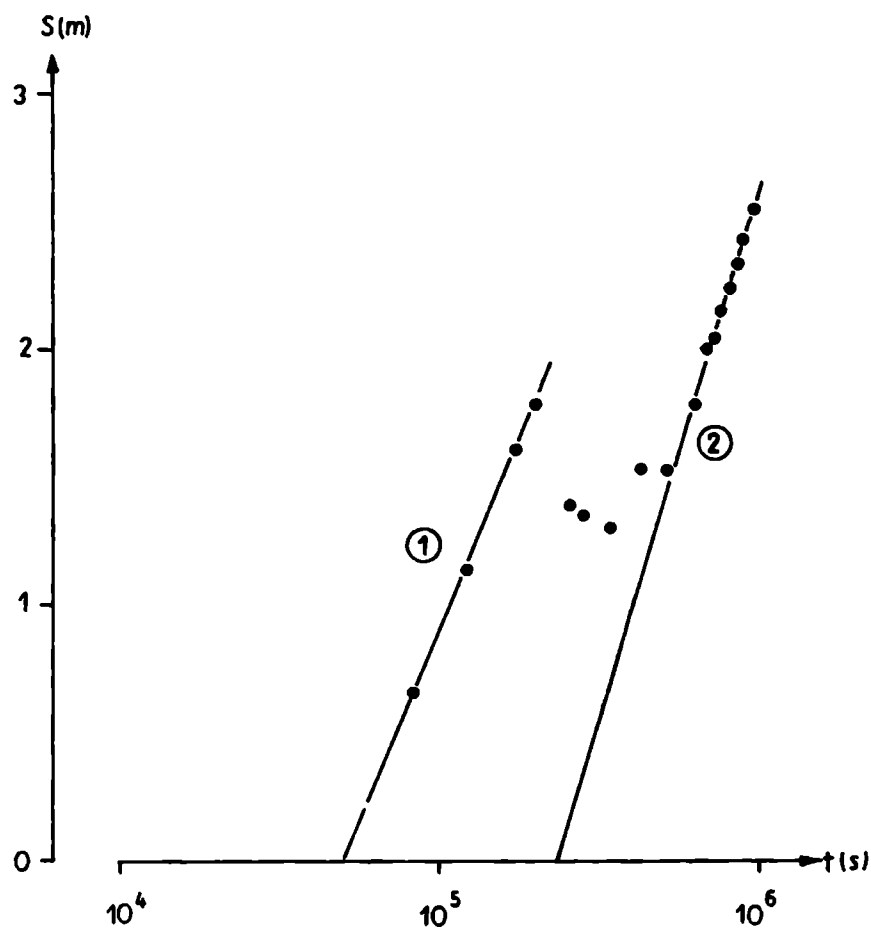


Fig. 6. Wykaz wskaźnikowy w piezometrze 20

Fig. 6. Graph of water table lowering in piezometer 20

w którym przepływ i magazynowanie wody odbywa się w szczelinach. Przepuszczalność i pojemność hydrauliczna pustek innego rodzaju jest tak mała, że można ją pominąć.

W literaturze hydrogeologicznej omówione są dwie zasadnicze grupy metod interpretacji wyników próbnych pompowań w skałach szczelinowych, które różnią się podstawowymi założeniami dotyczącymi modelu skały szczelinowej. Pierwsza grupa metod traktuje te skały jako ośrodek porowy i zakłada ważność równań przepływu wody, wyprowadzonych dla przestrzeni porowej (np. Kleczkowski i in. 1969; Borewski i in., 1976; Śmietański, 1969). Konsekwencją tego założenia jest powszechne stosowanie metody Theisa lub Theisa-Jacoba do określania przewodności i pojemności hydraulicznej skał spękaných na podstawie wyników próbnych pompowań w warunkach nie ustalonego ruchu wód podziemnych. Druga grupa metod traktuje skały spękané jako ośrodek homogenicznie anizotropowy,

tn. według Hantusha, (1966), taki w którym jego przewodność hydrauliczna jest wyłącznie funkcją kierunku, czyli  $T = f(x, y)$ . Rozwinięciem tego założenia jest metoda interpretacji wyników próbnych pompowań opracowana przez Papadopulos (1967). Metoda ta ma zastosowanie ograniczone do ośrodków o praktycznie ciągłej anizotropii (Herbich, Krajewski, 1977). Próba zastosowania jej do interpretacji próbnego pompowania w porfirach zalaskich nie powiodła się, gdyż jedna ze składowych tensora przewodności hydraulicznej, obliczona równaniami Papadopulos, miała wartość ujemną. Ostatecznie autorzy zdecydowali się zastosować metodę Theisa-Jacoba do określenia wodoprzewodności i współczynnika zasobności porfirów. Podstawą były wykresy opadania zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych (fig. 5, 6) wykreślone w półlogarytmicznym układzie osi  $s = f(\lg t)$ .

W otworach obserwacyjnych P-1, P-2, P-3 i 23 można wyodrębnić dwa odcinki liniowego wzrostu depresji charakteryzujące w przekonaniu autorów własności hydrogeologiczne wewnętrznej struktury hydraulicznej porfirów. Pierwszy odcinek odpowiada opróżnianiu szczelin o najmniejszych oporach przepływu, rzadkich, ale o stosunkowo dużym rozwarciu. Natomiast drugi odcinek charakteryzuje główną grupę spękań, które w zasadniczy sposób wpływają na własności hydrogeologiczne wierzchniej partii porfirów. Podobne zjawiska obserwowano w węglanowych utworach triasu rejonu olkusko-zawierciańskiego (Wilk, Motyka, 1980). Wyniki obliczania wodoprzewodności i współczynników zasobności zestawiono w tabeli 2.

Określenie współczynników filtracji porfirów nie jest możliwe, gdyż nie jest znana miąższość zawodnionych porfirów. Przyjmując, iż miąższość ta wynosi 100 m, to wówczas współczynnik filtracji porfirów mieściłby się w przedziale od  $5,7 \times 10^{-6}$  do  $1,1 \times 10^{-5}$  m/s.

Interpretacja przebiegu opadania zwierciadła wody w piezometrze 20 nie może być jednoznaczna bez znajomości cech geometrycznych spękań, takich jak gęstość i wielkość rozwarcia. W tym otworze obserwacyjnym stwierdzono najszybsze opadanie zwierciadła i największą depresję (fig. 6), mimo znacznej odległości otworu pompowego wynoszącej około 600 m. Ponadto stwierdzono, że zwierciadło wody w tym piezometrze stabilizowało się hipsometrycznie ponad 1,5 m niżej niż w pozostałych piezometrach. W związku z tym nie można interpretować szybkiego opadania zwierciadła wody w otworze 20 wyłącznie znikomą pojemnością hydrauliczną szczelin w jego otoczeniu.

Na wykresie opadania zwierciadła wody w piezometrze 20 (fig. 6) wyraźnie są widoczne dwa odcinki liniowego wzrostu depresji (1, 2). Obliczone dla tych odcinków wartości wodoprzewodności i współczynników zasobności wynoszą:

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} & T_2 &= 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \\ S_1 &= 4,4 \cdot 10^{-5} & S_2 &= 1,5 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

Podane wyżej wartości cech hydrogeologicznych porfirów w otoczeniu otworu 20 są wyraźnie mniejsze od uzyskanych na podstawie interpretacji dwóch odcinków krzywych opadania zwierciadła wody w pozostałych piezometrach (tab. 2), w któ-

Wodoprzewodność i zasobności porfirów

Piezometr	Odległość od otworu pompowego $x$ (m)	Odcinek 1		Odcinek 2	
		wodoprzewodność $T_1$ ( $m^2/s$ )	współczynnik zasobności $S_1$	wodoprzewodność $T_2$ ( $m^2/s$ )	współczynnik zasobności $S_2$
P-1	59,4	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$
P-2	50,5	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-2}$
P-2	89,6	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$
23	620,0	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$

rych obserwuje się analogiczny jak w otworze 20 wzrost depresji w końcowej fazie pompowania (fig. 5 – fragment A). Średnia przewodność, obliczona na podstawie nachylenia odcinków 3 i 4 wykresów opadania zwierciadła w otworach P-1, P-2, P-3 i 23 wyniosła  $1,7 \cdot 10^{-4} m^3/s$ , a więc podobnie jak w otworze 20.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej fakty trudno pokusić się o ostateczną interpretację wyników próbnego pompowania w badanych porfirach, tym bardziej że zgodnie z doświadczeniem Auzet'a i in. (1976), w niektórych specyficznych zbiornikach spękanych zawodzą klasyczne metody interpretacji. Wydaje się jednak, że przebieg opadania zwierciadła wody w piezometrach oraz fakt, że w otworze 20 zwierciadło wody opadło poniżej rzędnej lustra wody w otworach obserwacyjnych usytuowanych najbliżej otworu pompowego można wytłumaczyć dwuwarstwową budowę systemu hydraulicznego porfirów.

Na podstawie dotychczasowych, niepełnych danych o spękaniach w porfirach autorzy uważają, że można w lakolocie wydzielić dwie strefy o odmiennych własnościach hydrogeologicznych (fig. 7). Wierzchnia strefa, tworząca jakby skorupę zasadniczego lakolitu jest pocięta gęstszą siecią spękań termicznych (cios obwodowy) oraz egzogenicznych. Druga, wewnętrzna strefa, w której występuje tylko cios stożkowy i promienisty. charakteryzuje się znacznie rzadszą siecią szczelin, których rozwarcie przypuszczalnie zmniejsza się w głąb lakolitu. Lokalnie gęstość spękań w tej strefie może być większa jedynie w pobliżu stref uskokowych lub ciał żyłowych opisanych przez Dżułyńskiego (1955).

Otwór pompowy, którego głębokość wynosiła blisko 70 m, ujmował przypuszczalnie dwie strefy o zróżnicowanej gęstości spękań (fig. 7). Piezometry P-1, P-2, P-3 i 23, których głębokości wynosiły około 15 m, umożliwiały pomiary zmian stanu zwierciadła w górnej strefie lakolitu. Otwór obserwacyjny 20, głębokości około 120 m, został odwiercony w obszarze, w którym prawdopodobnie górna, silniej spękana strefa lakolitu nie jest obecnie zawodniona lub została usunięta erozyjnie (fig. 2). Stąd też w tym piezometrze obserwowano zachowanie się zwierciadła wody w dolnej strefie, która w porównaniu ze strefą górną. charakteryzuje

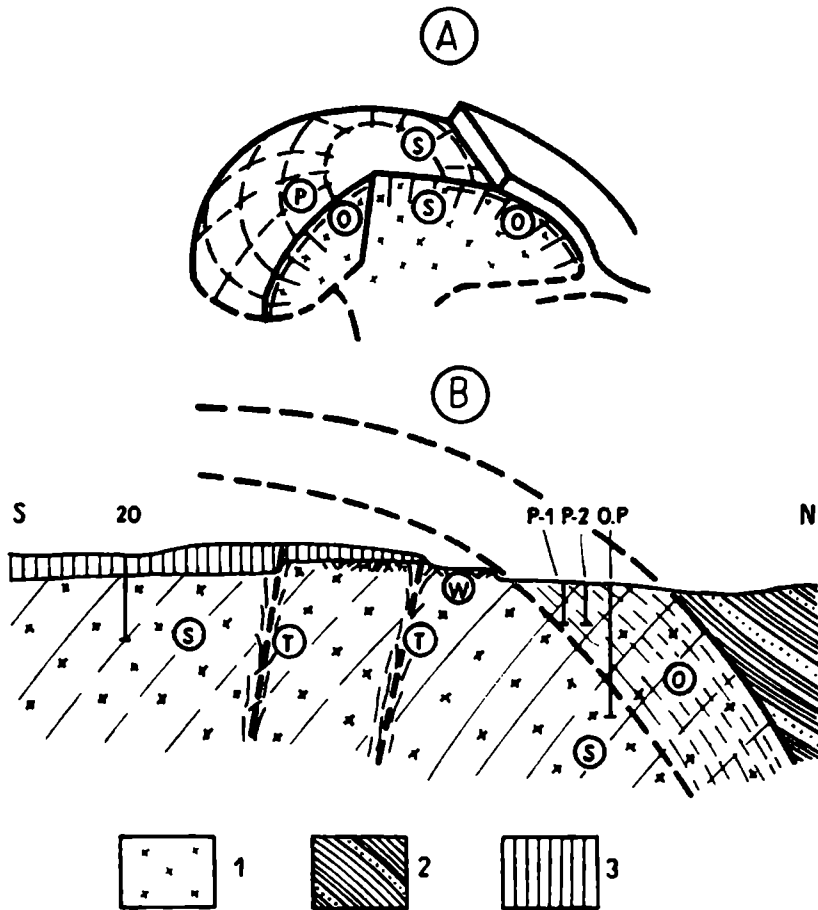


Fig. 7. Schematy ilustrujące dwuwarstwowość lakolitu zalaskiego. *A* – spękania termiczne wg Dżułyńskiego (1955). *S* – cios stożkowy, *P* – cios promienisty, *O* – cios obwodowy, *T* – cios tektoniczny, *B* – Dwuwarstwowość lakolitu. 1 – porfiry permskie, 2 – iłołupki i piaskowce karbonu, 3 – piaski, piaskowce, wapienie i margle jury

Fig. 7. Diagrams showing the two-layer structure of the Zalas laccolith. *A* – Thermal joint acc. to Dżułyński (1955). *S* – conical; *P* – radial; *C* – circumferential; *T* – tectonic joint. *B* – Two-layer structure of the laccolith. 1 – Permian porphyry, 2 – Carboniferous shales and sandstones, 3 – Jurassic sands, sandstones, limestones and marls

się mniejszą pojemnością hydrauliczną i wodoprzepuszczalnością. Wskutek pompowania nastąpiło znacznie szybsze opróżnianie spękań w tej strefie i szybkie opadanie zwierciadła, co jednocześnie dowodziłoby, że w tym rejonie porfiry są słabo zasilane wodami podziemnymi z innych pięter wodonośnych. W pewnym momencie nastąpiło zróżnicowanie ciśnień hydrodynamicznych w obu strefach i powstały dwa różne zwierciadła wody podziemnej w porfirach (fig. 7).

Znacznie trudniej wytłumaczyć zachowanie się zwierciadła wody obserwowane w pozostałych piezometrach w końcowej fazie próbnego pompowania (fig. 5 – fragment *A*). Przebieg końcowych zmian depresji jest podobny do przebiegu opadania zwierciadła w otworze 20 (fig. 6) i w związku z tym można by przypuszczać, że zasoby wód w górnej strefie lakolitu zaczęły się wyczerpywać i ujawniły się właściwości hydrogeologiczne dolnej strefy wpływające na zachowanie się zwierciadła w strefie górnej.

Inną przyczyną opisywanego zjawiska może być ujawnienie się wpływu granic zasilania w strefach kontaktu lakolitu porfirowego z innymi piętrami wodonośny-

mi, tym bardziej że jest on stosunkowo niewielką jednostką hydrogeologiczną. Rozstrzygnięcie tego problemu będzie możliwe dopiero po przeprowadzeniu szczegółowych badań wewnętrznej struktury hydraulicznej porfirów i wykonaniu długotrwałych obserwacji hydrogeologicznych w pozostałych piętach wodonośnych.

Problemem, który pojawił się na marginesie interpretacji wyników próbnego pompowania, a który zdaniem autorów należy jednak zasygnalizować, jest wyraźna zależność wielkości obliczonych współczynników odsączalności porfirów od odległości piezometru od otworu pompowego (tab. 2, fig. 8). W literaturze

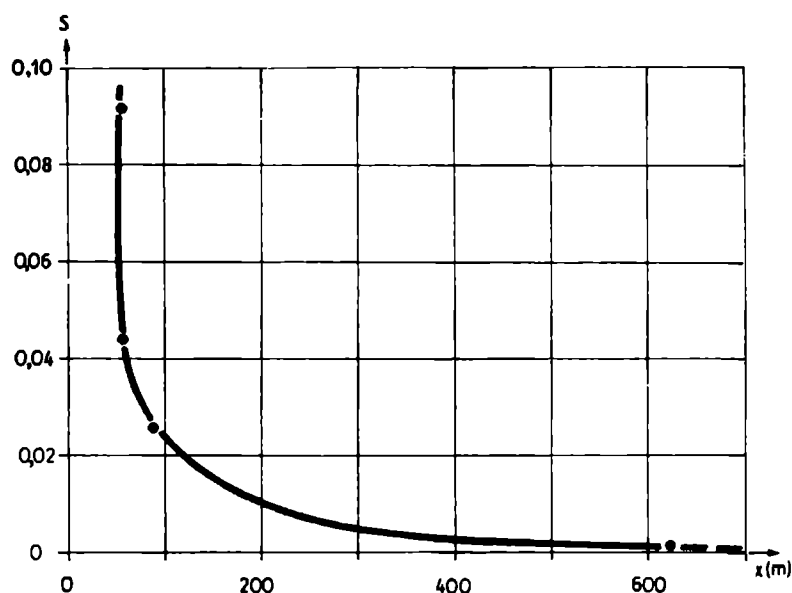


Fig. 8. Wykres zależności współczynnika zasobności ( $S$ ) porfirów od odległości ( $x$ ) piezometru od otworu pompowego

Fig. 8. Dependence of the storage coefficient ( $S$ ) of porphyry upon the distance ( $x$ ) of piezometer from the pumping well

hydrogeologicznej podaje się, że w pewnych przypadkach wielkości odsączalności, obliczonych na podstawie wyników próbnego pompowania, mogą być obarczone znacznym błędem in plus, wskutek działania tzw. efektu pojemnościowego i bezwładnościowego otworu pompowego (Bredehoeft i in., 1966; Boulton, Streltsova, 1976). Badacze zajmujący się tym zagadnieniem, opierając się na wynikach badań analogowych i obliczeń teoretycznych, uważają, że wpływ pojemności wodnej i bezwładności otworu pompowego zaznacza się w samej studni lub co najwyżej w strefie przystudziennej o niewielkim promieniu i tylko w pierwszej, trwającej krótko fazie próbnego pompowania. Jeśli więc wykluczyć wpływ pojemności wodnej i bezwładności otworu pompowego na obliczone wartości współczynników zasobności porfirów (tab. 2), to pozostają inne, aktualnie nie znane autorom przyczyny zjawiska. Pełne zrozumienie mechanizmu kształtowania się zmian pola hydrodynamicznego wskutek pompowania będzie dopiero możliwe po wykonaniu pomiarów rozwarcia i gęstości spękań w dostępnych odsonięciach porfirów oraz badań hydrogeologicznych, zmierzających do uściślenia warunków krążenia

wód podziemnych w pozostałych piętrach wodonośnych, mających więź hydrauliczną z lakolitem. Niemniej jednak uzyskane doświadczenia mogą być pomocne przy projektowaniu próbných pompowań w innych masywach skał wyłącznie sękanych.

#### WYKAZ LITERATURY – REFERENCES

- Auzet J.P., Drogue C., Gringarten A.C. (1976), Analyse de pompages d'essai dans les massifs calcaires fissurés. *Bull. BRGM* (2), II, 1; 91–92.
- Bogacz K., Leśniak T. (1979), Opracowanie budowy geologicznej i stosunków hydrogeologicznych rejonu kopalni porfiru „Zalas” (Maszynopis, Archiwum AGH). Kraków.
- Boulton N.S., Streltsova T.D. (1976), The drawdown near an abstraction well of large diameter under non-steady conditions in an unconfined aquifer. *J. of Hydrology*, 30; 29–46.
- Bredehoeft J.D., Cooper H.H., Papadopoulos I.S. (1966), Inertial and Storage Effects in Well-Aquifer Systems: An Analog Investigation. *Water Res. Research*, 2, 4; 697–707.
- Dzuleński S. (1953), Tektonika południowej części Wyżyny Krakowskiej. (Tectonics of the southern part of the Cracowian Upland). *Acta Geol. Pol.*, 2, 3; 325–440.
- Dzuleński S. (1955), O formie geologicznej występowania porfirów zalaskich. (On the Geological form of the porphyry in the vicinity of Zalas). *Biul. Inst. Geol.* 97: 9–38. Warszawa.
- Dzuleński S., Henkiel A., Klimek K., Pokorny J. (1966), Rozwój rzeźby dolinnej południowej części Wyżyny Krakowskiej. (The Development of Valleys in the Southern Part of the Cracow Upland). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 36, 4: 329–342. Kraków.
- Gradziński R. (1962), Rozwój podziemnych form krasowych w południowej części Wyżyny Krakowskiej. (Origin and development of subterranean Karst in the Southern part of the Cracow Upland). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 32, 4: 429–492. Kraków.
- Hantush M.S. (1966), Wells in Homogeneous Anisotropic Aquifers. *Wat. Res. Research*, 2, 2: 273–279.
- Herbich P., Krajewski S. (1977), Określenie horyzontalnej anizotropii warunków filtracji w utworach szczelinowych na podstawie analizy nie ustalonego dopływu do studzien. (Evaluation of horizontal anisotropy of filtration conditions in fissured deposits on the basis of analysis unstable inflow to wells). *Prz. Geol.* 8/9: 454–462. Warszawa.
- Hohl R. (1966), Zur Kenntnis der Wassereführung porphyrischer Gesteine, besonders des Rochlitzer Quarzporphyrs, in Nordsachsen. *Geologie*, 15, 4/5: 578–594.
- Kleczkowski A.S., Jureczko J., Myszką J. (1969), Some Hydrodynamic Phenomena in Fissured Triassic and Jurassic Rocks. *Bull. Acad. Polon. Sci. Ser. Sci. geol. geogr.* 17, 3/4; 191–209. Warszawa.
- Kleczkowski A.S. (1979), Hydrogeologia ziem wokół Polski. WG Warszawa, p. 184.
- Papadopoulos I.S. (1967), Non steady flow to a well in an infinite anisotropic aquifer. *Actes Coll. Dubrovnik, 1965. Hydrogeologie des roches fissurées*. 1: 21–31. AIHS – Unesco, Louvain.
- Siedlecka A. (1964), Osady permu na północno-wschodnim obrzeżeniu Zagłębia Górnośląskiego. (Permian in the north-eastern border of the Upper Silesia coal Basin). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 34, 3: 309–385.
- Siedlecki S. (1954), Utwory paleozoiczne okolic Krakowa. (Paleozoic Formations of the Cracow Region). *Biul. Inst. Geol.* 73: 1–415. Warszawa.
- Streltsova T.D. (1976), Hydrodynamic of Groundwater Flow in a Fractured Formation: *Wat. Res. Research*, 12, 3: 405–414.
- Śmietański Z. (1969), Metoda analogii hydraulicznych w ocenie procesów nie ustalonej filtracji przy odwadnianiu kopalń odkrywkowych. (The Method of Hydraulic Analogies in the Evaluation of Processes of Unsteady Filtration in the Course of Drainage Open-Work Mines). *Prace Geol. PAN*, 56: 78. Warszawa.
- Wilk Z., Motyka J. (1977), Kontakty między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie



- kopalnictwa rud. (Contacts between water-bearing horizons, Olkusz ore mining regions near Cracow). *Rocz. Tow. Geol.* 42, 1: 115–143. Kraków.
- Wilk Z., Motyka J. (1980), Zasobność wodna szczelinowo-triasowych utworów triasu wschodniej części monokliny śląsko-krakowskiej. (Ground water storativity of karst-fissured Triassic rocks in the eastern section of the Cracow Silesian monocline). *Rocz. Pol. Tow. Geol.* 50, 1.
- Боревский В. В. и др. — Боревский В. В., Хордикайнэн М. А., Язвин Л. С. (1976), Разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений подземных вод в трещинно-карстовых пластах. Издат. „Недра”, Москва, сс. 247.
- Czernyszew S. N. — Чернышев С. Н. (1979), Движение воды по сетям трещин. Издат. „Недра”, Москва, сс. 141.

#### SUMMARY

The area of Zalas near Krzeszowice, situated about 30 km west of Cracow, is a part of the Cracow–Silesian Basin. It is made up of Quaternary, Jurassic, Permian and Carboniferous sediments (Fig. 2). Both the marked lithologic and facial differentiation of these sediments and the intense tectonic deformation of the area in question are responsible for the diversified and complex hydrogeological conditions near Zalas. Four aquifers, Quaternary, Jurassic, Permian and Carboniferous, were found to occur in this area (Table 1), with the following types of hydraulic contacts between them: sedimentary-transgressive, tectonic, magmatic-intrusive and erosional (Fig. 3).

The hydraulic structure of porphyries making up the Zalas laccolith consists entirely of fractures. Thermal, tectonic and weathering fractures were recognized (Figs. 4, 7).

The studies of the hydrogeological properties of porphyry were carried out in a system consisting of a pumping well and five observation wells (Fig. 1). The pumping test was carried on at a discharge rate of  $Q = 0.0023 \text{ m}^3/\text{s}$  for 32 days. The transmissivity of porphyry determined from the first straight-line region of the curve of water table lowering in piezometers P-1, P-2, P-3 and well 23 (Fig. 5) varied from  $1.1 \times 10^{-3}$  to  $2.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , while the interpretation of the second straight-line region of the curve gave a value of  $5.7 \times 10^{-4}$  –  $6.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . The storage coefficient determined both from the first and second region of the curve of water table lowering in piezometers P-1, P-2, P-3 and well 23 varied from  $2.7 \times 10^{-4}$  to  $9.2 \times 10^{-2}$ . The drawdown in the well 20 and the rate of water table lowering were somewhat different than in the other observation wells (Fig. 6), and the transmissivity of porphyry determined on their basis was  $1.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  (first region of the curve) and  $1.01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (second region). The storage coefficient was respectively  $4.4 \times 10^{-5}$  and  $1.5 \times 10^{-4}$ .

It is evident that the above values of hydrogeological properties of porphyry in the vicinity of well 20 are markedly lower than those obtained from the two straight-line regions of the curves of water table lowering in the other piezometers. Both these differences and the fact that the water table in well 20 sank below the water level in the observation wells situated next to the pumping well, can

be accounted for by the two-layer structure of the hydraulic system of porphyry (Fig. 7).

At the final stage of the pumping test a brief rise in the water table was noted, similar in all the observation wells. It is feasible that this rise was due to the joint action of the hydrogeological layers within the laccolith. Another possible explanation for this phenomenon is the effect of recharge boundaries, manifesting itself in the contact zones of porphyry with other aquifers, which is the more likely as the laccolith is a relatively small hydrogeological unit.

During the interpretation of the pumping test results it appeared that the value of calculated storage coefficients depended upon the distance of the piezometer from the pumping well (Fig. 8). The authors are of the opinion that this dependence is to be attributed to the inertial and storage effect of the pumping well. It is conceivable, however, that this phenomenon has some other, yet unknown, causes.