

## WARUNKI PORÓWNYWALNOŚCI WYNIKÓW BADAŃ WODOCHŁONNOŚCI SKAŁ

UKD 551.491.7:624.131.6

Określenie wodoprzepuszczalności skał stanowi jeden z głównych elementów badań geologiczno-inżynierskich dla potrzeb budownictwa wodnego. Właściwe wykonanie i interpretacja odpowiednich badań ma bardzo istotne znaczenie praktyczne i wpływa na lokalizację i rozwiązanie konstrukcyjne obiektów hydrotechnicznych, decydując o konieczności i zakresie niezbędnych zabezpieczeń przeciwfiltracyjnych. Rolę tej problematyki może uwypuklić fakt, że jak podaje S. Kratochvil (2) ok. 75% katastrof zapór betonowych wynika wskutek nieodpowiedniego posadowienia na nienośnym i przepuszczalnym podłożu.

Powszechnie stosowaną metodą badań wodoprzepuszczalności podłoża skalnego są próby wodochłonności. Służą one do określania w sposób względny przepuszczalności i stopnia spękania skały, zmienności tych parametrów z głębokością oraz orzeczenia na podstawie uzyskanych rezultatów o potrzebie i zakresie sztucznych zabiegów uszczelniających, czy konsolidacyjnych w podłożu. Badania wodochłonności stosuje się również przy pracach zastrzykowych dla wstępnego ustalenia technologii oraz kontroli jakości wykonawstwa iniekcji.

Próby wodochłonności polegają na tłoczeniu wody pod ciśnieniem w otwory lub odcinki otworów wiertniczych o małej średnicy. Badane strefy skały — izolowane są w otworze za pomocą specjalnych uszcze-

lek o różnorodnej konstrukcji. Do badań stosuje się aparaturę obiegową lub naciskową (ryc. 1). Na podstawie badań tego rodzaju, wprowadzonych przez Terzaghiego i Lugeona, oblicza się miernik porównawczy tzw. wodochłonność właściwą lub jednostkową, wyrażającą się wzorem:

$$q = \frac{Q}{l \cdot p}$$

gdzie:  $q$  — chłonność jednostkowa w l/min/mb/m ciśnienia,

$Q$  — chłonność wody podczas badania w l/min,  
 $l$  — długość badanej strefy otworu w m,  
 $p$  — ciśnienie podczas badania w m słupa wody.

Znaczne rozpowszechnienie powyższa metoda zawdzięcza prostocie i szybkości wykonywania oraz możliwości jej zastosowania w ośrodkach nawodnionych i nienawodnionych. Interpretacja rezultatów badań polega na porównywaniu uzyskanych chłonności z ustalonymi empirycznie kryteriami wymaganej szczelności skały, przy czym najpowszechniejsze zastosowanie znajduje kryterium Lugeona (3), kryterium Jähdego (1) oraz kryteria rosyjskie (norma

TU-24-112-48) (10). Dokonywane są również przeliczenia wielkości chłonności jednostkowej na współczynnik filtracji, przy czym uzyskiwane wielkości należy traktować jako orientacyjne (6, 8, 9, 11).

Wykorzystywanie wielkości chłonności jednostkowej jako miernika przepuszczalności i stopnia spękania skały wymaga jednolitego sposobu prowadzenia badań i ustalania miarodajnych wskaźników z dostosowaniem metodyki do charakteru górotworu i to zarówno podczas rozpoznania dla jednego obiektu, jak i dla różnych zapór. Dokonanie wstępnej analizy warunków porównywalności rezultatów badań wodochłonności na podstawie posiadanych przez autora materiałów\* i wysunięcie odpowiednich wniosków metodycznych stanowi cel niniejszego artykułu.

Na porównywalność uzyskiwanych wielkości chłonności jednostkowej w identycznych warunkach geologicznych wpływają:

- 1) sposób obliczenia;
- 2) promień otworu badawczego ( $r$ );
- 3) elementy wykonawstwa prac badawczych, których wielkość wchodzi bezpośrednio lub pośrednio we wzór wynikający z definicji chłonności jednostkowej, jak: ciśnienie badania ( $p$ ), długość strefy badanej ( $l$ ) oraz czas badania ( $t$ );
- 4) sposób wykonywania badań i prac związanych (sposób wiercenia, zastosowany sprzęt, prowadzenie badań „od dołu”, czy „od góry” otworu, cementacja przebadanych stref).

#### OBLICZANIE CHŁONNOŚCI JEDNOSTKOWEJ

Główne znaczenie dla prawidłowości obliczeń chłonności jednostkowej ma odpowiednie ustalenie podstawionej do wzoru wielkości ciśnienie ( $p$ ). Powinna ona odpowiadać ciśnieniu w obrębie zamkniętej uszczelką badanej strefy otworu i należy ją obliczać według wzoru:

$$p = p_1 + p_2 - \Delta p \quad (2)$$

gdzie:  $p_1$  — ciśnienie na manometrze umieszczonym na głowicy otworu,  $p_2$  — ciśnienie hydrostatyczne słupa wody w przewodach tłocznych, wynikające z różnicy poziomów między manometrem a stropem badanej skały,  $\Delta p$  — straty ciśnienia na długości przewodu tłoczego między manometrem a badaną strefą.

Dla ośrodków nienawodnionych  $p_2 = h + 0,51 + m_o$  (3)

Dla ośrodków nawodnionych  $p_2 = w + m_o$  (4)

gdzie:  $h$  — głębokość zaciśnięcia uszczelki;  $w$  — głębokość do zwierciadła wody gruntowej;  $m_o$  — wysokość założenia manometru. Schemat obliczeniowy podano na ryc. 1.

Określanie miarodajnej dla obliczeń wielkości  $w$  w warunkach skał fliszowych niejednokrotnie może napotkać praktyczne trudności ze względu na zaburzenia obserwacji hydrogeologicznych w odwiertach przez użycie wody płuczkowej, a także możliwość występowania w obrębie jednej strefy badawczej kilku poziomów wodonośnych, oddzielonych izolującymi wkładkami łupkowymi.

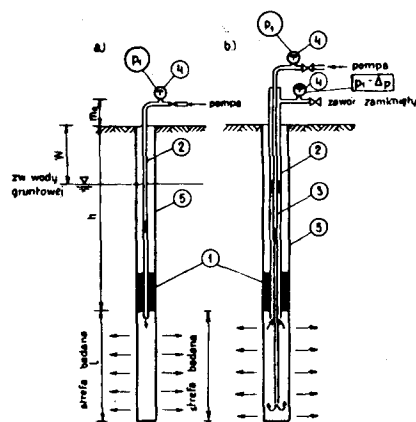
Składnik  $\Delta p$ , występujący przy obliczeniach rezultatów prób wykonywanych metodą naciekową, jest szczególnie często pomijany w polskich pracach tego typu, mimo iż jego wpływ przy stosowanych niewielkich średnicach przewodów tłocznych i dużych chłonnościach jest bardzo znaczny. Względne wielkości błędów przy określaniu chłonności właściwej bez uwzględnienia strat wynoszą przykładowo dla ciśnienia 3 at — 47% (przy  $Q = 30$  l/min i głębokości strefy 30 m) i 170% (dla  $Q = 50$  l/min i głębokości strefy 20 m). Wielkość strat hydraulicznych na długości przewodu o średnicy 20 mm zależy od wydatku wody i głębokości badanej strefy, przedsta-

wiono na ryc. 2. Obliczeń strat ciśnienia na długości przewodów dokonano wzorami Colebrook-White'a i Kiriczenki (5). Analogiczne obliczenia można przeprowadzić innymi wzorami, jak np. wzorem Manninga, czy Silina-Biekczurina (8), uzyskując odbiegające od siebie wyniki. Określona wielkość strat zmienia się również zależnie od przyjętej chropowatości rur. Powyższe trudności obliczeniowe mogą być wyeliminowane przez zastosowanie obiegowej metody badań, która pozwala na bezpośredni pomiar ciśnień w obrębie badanej strefy na manometrze umieszczonym na linii zwrotnej (ryc. 1).

#### DLUGOŚĆ STREFY ORAZ PROMIENIA OTWORU BADAWCZEGO

Wpływ długości strefy ( $l$ ) na uzyskiwane charakterystyki wodoprzepuszczalności skały był obserwowany w wielu przypadkach. Można tu przytoczyć przykład badań wykonanych w granitognejsach okolic Jeleniej Góry, charakteryzujących się równomierną i gęstą siatką spękań, w których występował wzrost chłonności jednostkowej o 20 — 100% (średnio ok. 30%), przy zmniejszeniu długości strefy badawczej z 2 m na 1 m. Podobną zależność stwierdzają geolodzy radzieccy (6), przy czym wpływ podwojenia długości strefy na zmniejszenie chłonności jednostkowej wyraża się według nich wskaźnikiem 1,375 (wapień w podłożu zapory Czirkiejskiej) i 1,25 granitognejsy — zapora Dnieprodzierżyńska).

Powyższe zjawisko jest przypuszczalnie spowodowane rozchodzeniem się wody w skale, przy wykonywaniu badań wodochłonności odcinkami otworów w obrębie „strefy aktywnej” o miąższości większej niż badana strefa otworu. Dotychczasowa praktyka wykonawstwa prac badawczych nie dostarcza materiału dla oceny wpływu promienia otworu na chłonność jednostkową. Możliwość ustalenia wielkości wpływu powyższych parametrów stwarzają odpowiednio przekształcone wzory służące do obliczenia współczynnika filtracji na podstawie pompowań z otworów niezupełnych. Rezultaty przeliczeń przy zastosowaniu wzoru Babuszki-Wierigina (ruch laminarny) oraz wzoru Krasnopolskiego (ruch turbulentny) przedstawiono na ryc. 3 w formie wykresów względnych wielkości chłonności jednostkowej przy



Ryc. 1. Aparatura oraz schemat obliczeniowy dla badań wodochłonności. a) aparatura do metody naciekowej, b) do metody obiegowej.

1 — uszczelka, 2 — przewód tłoczny, 3 — przewód zwrotny (metoda obiegowa), 4 — manometry, 5 — otwór wiertniczy.

Fig. 1. Apparatuses and calculation scheme for water absorbing capacity.

a) apparatus for pressure method, b) apparatus for circulatory method.

1 — washer, 2 — pressure conduit, 3 — reversible conduit (circulation method), 4 — manometers, 5 — bore-hole.

\* Prace wykonywane przeważnie przez PGIW „Hydrogeo” dla obiektów w większości z Karpaczu fliszowych.

Ryc. 2. Zależność strat ciśnienia  $\Delta p$  (m) na długość przewodu tłocznego o średnicy  $D = 20$  mm od głębokości stropu badanej strefy  $h$  (m) i chłonności  $Q$  (l/min).

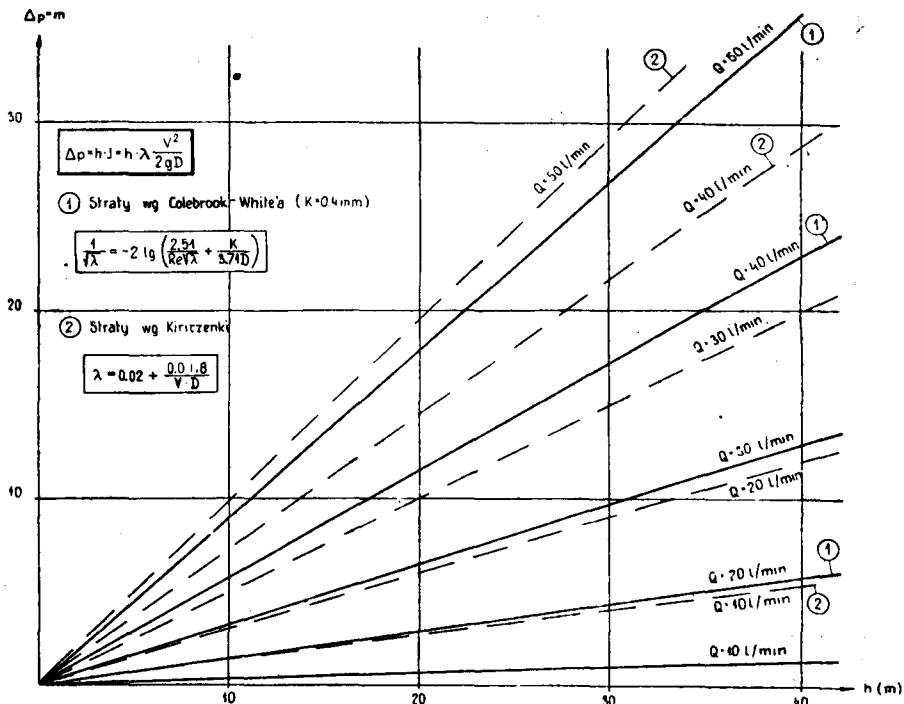


Fig. 2. Relation between the pressure losses  $\Delta p$  (m) on the length of a pressure conduit (diameter  $D = 20$  mm) and the depth of top of the investigated zone  $h$  (m) and the absorbing capacity  $Q$  (l/min).

Ryc. 3. Zależność względną chłonności jednostkowej ( $q$ ) od długości strefy ( $l$ ) oraz promienia otworu badawczego ( $r$ ) dla ośrodków izotropowych.

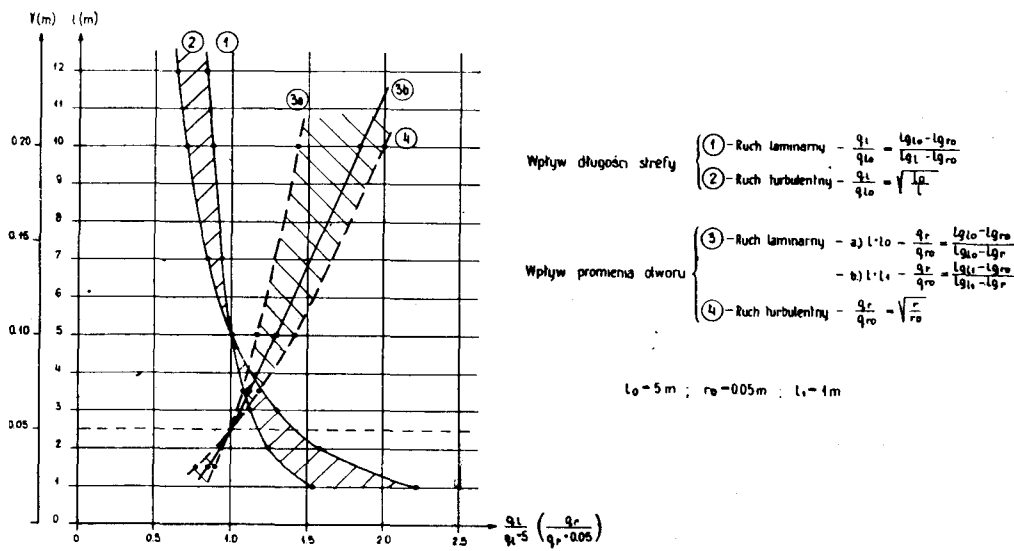


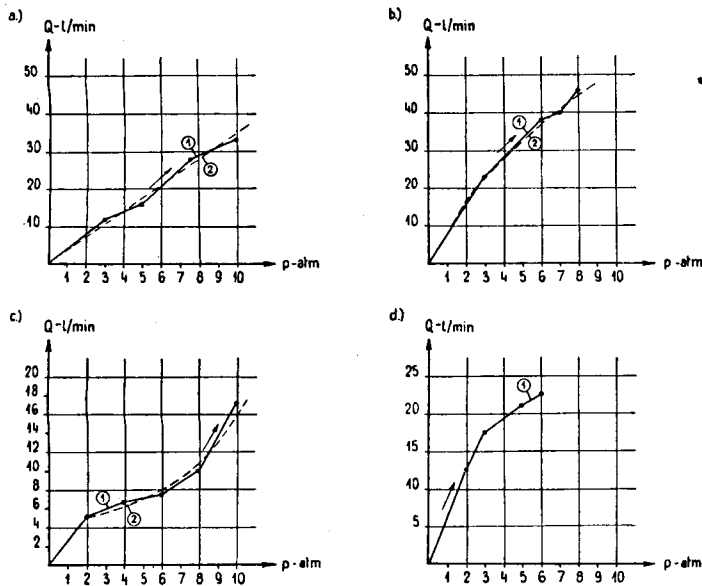
Fig. 3. Relative dependence of the specific absorbing capacity ( $q$ ) upon the length of the zone ( $l$ ) and upon the radius of test bore hole ( $r$ ) for isotropic media.

różnych promieniach otworu ( $r$ ) i długościach stref ( $l$ ) w stosunku do danych dla  $r = 0,05$  oraz  $l = 5$  m.

Jak wynika z zestawionych danych wpływ promienia oraz długości strefy rośnie ze wzrostem turbulencji strumienia wody włączanego w górotwór. Przy wzroście długości strefy z 1 m na 10 m chłonność jednostkowa określana dla analogicznego ośrodka maleje od 45% (dla  $r = 0,05$  m i ruchu laminarnego; ze wzrostem promienia do 0,15 m zmniejszenie osiąga 55%) do 70% (ruch turbulenty). Zmiana promienia z 0,04 m na 0,10 m (promienie stosowane w krajowych badaniach dla potrzeb budownictwa hydrotechnicznego) powoduje wzrost chłonności właściwej od 20% (ruch laminarny) do 34% (ruch turbulenty). Przedstawione wyniki mają dla praktyki badawczej wartość jedynie orientacyjną. Na taką ich ocenę wpływają: trudności określenia podczas każdego badania występujących warunków hydrodynamicznych, jak również wpływ anizotropii masywu skalnego. Ten drugi czynnik, mający bardzo istotne znaczenie w skałach typu fliszowego nie jest uwzględniony w istniejących wzorach, poza najprostszymi przypadkami

(przypadek skrajnej anizotropii masywu — ruch płaskoradialny, przy którym nie występuje zależność wodochłonności jednostkowej od długości strefy; dla fliszu odpowiada mu seria cienkoławicowych piaskowców i łupków leżących poziomo).

Powyższe aspekty uzasadniają celowość zastosowania przy badaniach wodochłonności, w celu uzyskania pełnej porównywalności rezultatów, zbliżonych długości stref oraz średnic otworów (137 — 112 mm), szczególnie w skałach silnie spękanych, gdzie możemy się liczyć z wystąpieniem nieliniowej zależności między ciśnieniem a wielkością przepływu. Dla skał fliszowych można zaproponować długość stref 4–6 m, przeważnie wystarczającą dla scharakteryzowania zmian przepuszczalności górotworu z głębokością. Analogiczna długość stref (5 m) jest stosowana również w Czechosłowacji i ZSRR (5, 6). Pewne odstępstwa mogą tu być konieczne przy znacznej chłonności górotworu, w przypadku trudności w zaciśnięciu uszczelki oraz ze względu na wymagane rozpoznania geologiczne (dążenie do zlokalizowania pojedynczych szczelin, określenie dokładnej miąższości stref spękań itp.).



Ryc. 4. Przykłady zależności chłonności ( $Q$ ) od ciśnienia badania ( $p$ ). Odpowiednie próby wykonano w seriach cienkoławicowych i gruboławicowych warstw inoceramowych, godulskich i istebniańskich.

a — zależność liniowa, b — zależność nieliniowa (krzywa wypukła), c — zależność nieliniowa (krzywa wklęsła), d — zależność liniowa przechodząca w nieliniową przy wyższych ciśnieniach badania, 1 — zależność wg obserwacji terenowych, 2 — krzywa wyrażająca ogólną tendencję zmienności.

Fig. 4. Examples of the dependence of absorbing capacity ( $Q$ ) upon the pressure in examination ( $p$ ). The examinations were made on series of thin-bedded and thick-bedded inoceram beds, Godula beds and Istebna beds.

a — linear dependence, b — nonlinear dependence (convex curve), c — nonlinear dependence (concave curve), d — linear dependence passing, under higher pressures of examination, into nonlinear one.  
1 — dependence according to the field observations, 2 — curve showing a general tendency of changeability.

#### CIŚNIENIA BADANIA

Zależność między chłonnością a ciśnieniem tłoczenia była badana na szeregu obiektach, przy czym stwierdzono różnorodny charakter związku funkcyjnego między tymi wielkościami, w wielu przypadkach odbiegający od liniowego, zakładanego w definicji chłonności jednostkowej (wzór 1). Można tu wyróżnić, opierając się na wynikach badań wykonanych we fliszu karpackim, pewne zależności typowe:

1) zależność liniowa  $Q = a \cdot p$  (6)

— przypadek ten odpowiada występowaniu w szczelinach podczas tłoczenia ruchu laminarnego;

2) zależność nieliniowa — kształt krzywej wypukły

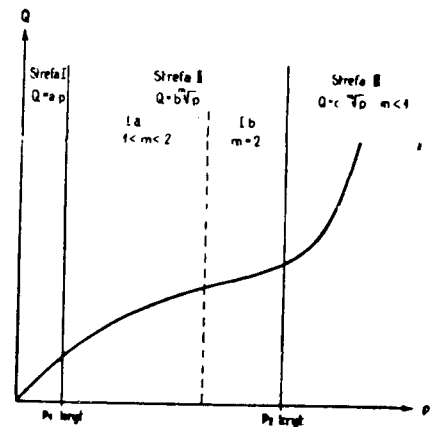
$$Q = b \sqrt[m]{p} \quad 1 < m \leq 2 \quad (6)$$

— w przypadku granicznym  $Q = b \sqrt{p}$  występuje ruch turbulentny;

3) zależność nieliniowa — kształt krzywej wklęsły

$$Q = c \sqrt[m]{p} \quad m < 1 \quad (7)$$

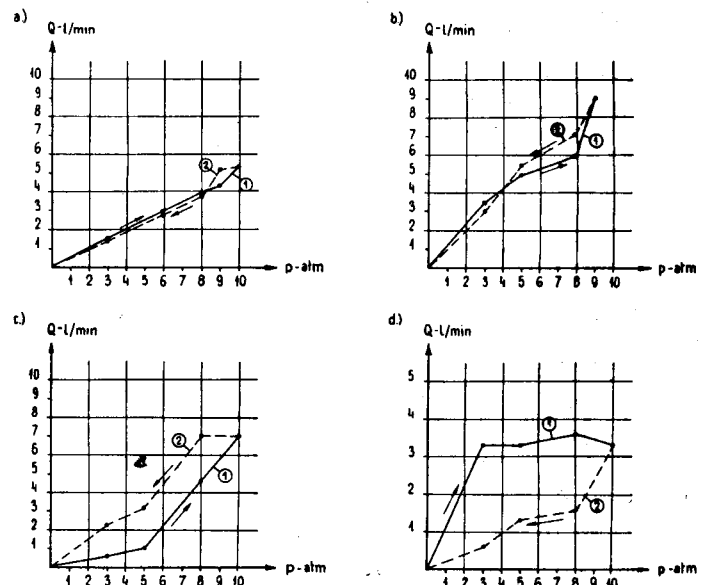
— taki kształt krzywej świadczy o naruszeniu struktury górotworu podczas prób wodochłonności (rozmywanie skały, suffozja wypełnienia szczelin).



Ryc. 5. Teoretyczny kształt krzywej zależności chłonności i ciśnienia badania.

Strefa I — zależność liniowa, strefa II — zależność nieliniowa, strefa III — krzywa zależności wklęsła — naruszenie struktury skał.

Fig. 5. Theoretical shape of curve of a relation between absorbing capacity and pressure in examination. Zone I linear dependence, zone II — nonlinear dependence, zone III — convex curve of dependence — disturbance of rock structure.

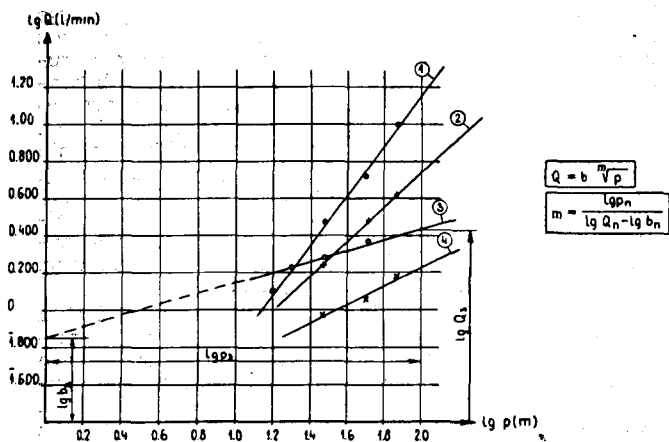


Ryc. 6. Charakterystyczne przykłady zmienności chłonności zależnie od ciśnienia przy ciśnieniach wzrastających (1) i opadających (2). Badania wykonano w gruboławicowej serii warstw istebniańskich.

a — badania nie wpływające na strukturę skały, b — naruszenie struktury skały o charakterze sprężystym, c — trwałe naruszenie struktury górotworu, d — zaburzenie przebiegu badań pod wpływem kolmatacji.

Fig. 6. Characteristic examples of changeability of absorbing capacity depending upon pressure: 1 — increasing pressures, 2 — decreasing pressures. The examinations were made on a thick-bedded series of Istebna beds.

a — examinations not influencing the rock structure, b — disturbance of rock structure of elastic character, c — irreversible disturbance of rock massif structure, d — disturbance in examinations, caused by colmatation.



Ryc. 7. Zależności chłonności od ciśnienia badania ( $p$ ) dla poszczególnych stref jednego otworu badawczego. Badania wykonane w średnioławicowej serii warstw godulskich.

1 — strefa 15–20 m —  $m = 1,2$  — zależność nieliniowa, 2 — strefa 20–25 m —  $m = 1,0$  — zależność liniowa, 3 — strefa 25–30 m —  $m > 2$  — kolmatacja, 4 — strefa 10–15 m —  $m \approx 2$  — zależność nieliniowa (ruch turbulentny).

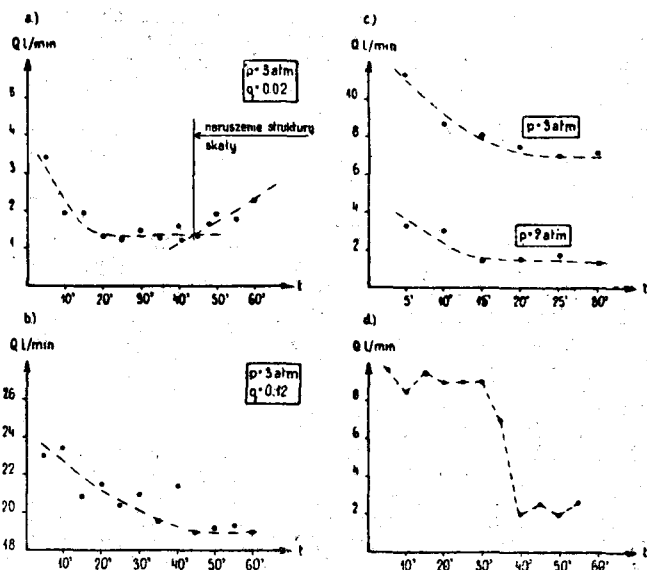
Fig. 7. Dependence of absorbing capacity upon pressure in examination ( $p$ ) for the individual zones of one test bore hole. The examinations were made on middle-bedded series of Godula beds.

1 — zone 15–20 m —  $m = 1,2$  — nonlinear dependence, 2 — zone 20–25 m —  $m = 1,0$  — linear dependence, 3 — zone 25–30 m —  $m > 2$  — colmatation, 4 — zone 10–15 m —  $m \approx 2$  — nonlinear dependence (turbulent movement).

Przykłady powyższych zależności przedstawia ryc. 4a, b, c. Dwa pierwsze z przedstawionych związków funkcyjnych odpowiadają znanym równaniom: Dupuit, Smrekera i Krasnopolskiego, określającym zależność wydajności studni artezyjskiej od depresji przy pompowaniu (9). W praktyce rzadko mamy do czynienia z regularną zmiennością  $Q$  i  $p$ . Podczas włączania wody w ośrodki skalny występują różnorodne procesy uboczne, jak: tworzenie filtrów z materiału wypełniającego szczeliny, ich przetykanie, lokalne rozmywanie wypełnienia itp., powodujące, że w rzeczywistości wykresy zależności chłonności i ciśnienia stanowią linie łamane (ryc. 4), a dopiero uśrednione krzywe wskazują na pewną tendencję zmienności i występowanie związków funkcyjnych. Określony kształt zależności  $Q$  i  $p$  nie charakteryzują, jak wykazują obserwacje w trakcie dotychczasowych prac badawczych, całych kompleksów skalnych. Może on być różnorodny nawet dla poszczególnych stref danego otworu badawczego (ryc. 7) i jest uzależniony od miejscowych właściwości skały takich, jak: gęstość, szerokość i przebieg szczelin lub ich wypełnienie. Biorąc pod uwagę teoretyczne aspekty należy wnioskować, iż związek  $Q$  i  $p$ , poza charakterystycznymi cechami górotworu musi zależeć również od przedziału zastosowanych ciśnień badania.

Dla każdej strefy występuje przypuszczalnie obszar zależności liniowej przy odpowiednio niskich ciśnieniach, przy ciśnieniach wyższych (po przekroczeniu pewnego granicznego gradientu lub prędkości) nastąpi przejście na zależność nieliniową. Wniosek ten wynika bezpośrednio z definicji liczby Reynoldsa, a także nasuwa się na podstawie wyników rosyjskich badań doświadczalnych nad filtracją w ośrodkach szczelinowatych (2, 8). Wzrost ciśnienia ponad pewną wielkość charakterystyczną dla badanej skały będzie powodował naruszenie jej struktury i wkleśły charakter krzywej zależności  $Q$  i  $p$ . Teoretyczny kształt krzywej, charakteryzujący się 3 obszarami różnej zależności  $Q$  i  $p$  obrazuje ryc. 5.

Służność powyższego rozumowania potwierdzają fragmentaryczne obserwacje z badań wodochłonności



Ryc. 8. Przykłady zależności chłonności  $Q$  od czasu badania  $t$ . Badania w serii gruboławicowej i średnioławicowej warstw godulskich pod poziomem zwierciadła wód gruntowych.

$p$  — ciśnienie,  $q$  — chłonność jednostkowa w l/min/m<sup>2</sup>/m, a — naruszenie struktury skały w czasie badania, a-b — zależność czasu stabilizacji przepływu od przepuszczalności ośrodka (miernik — wielkość  $q$ ) — c — wpływ ciśnienia badania na przebieg stabilizacji chłonności w czasie. Próby przy  $p = 2$  i  $3$  atm dla analogicznej strefy skały, d — wpływ kolmatacji na zmienność chłonności.

Fig. 8. Examples of dependence of  $Q$  upon time of examinations  $t$ . The examinations were made on thick-bedded and middle-bedded series of Godula beds, beneath the underground water level.

$p$  — pressure,  $q$  — unit absorbing capacity in l/min/m<sup>2</sup>. a — disturbance of rock structure during examination, b — influence of pressure in examination upon stabilization of absorbing capacity in time. Tests under  $p = 2$  and  $3$  atm for analogous zone of rock. c — influence of colmatation upon changeability of absorbing capacity.

na kilku obiektach, gdzie zaobserwowano przejście z zależności liniowej  $Q$  od  $p$  na krzywoliniową (przykład ryc. 4a). Znaczny wpływ na rezultaty badań wodochłonności w skałach typu filizowego, szczególnie w partiach słabo spękanych, mają niejednokrotnie procesy kolmatacji szczelin przez wymyty i wtórnie osadzone materiał skalny oraz pęcznienie skał ilastych. Występowanie tego rodzaju zjawisk (przypuszczalnie kolmatacja) stwierdzono m.in. w słabo spojonych mułowcach i zlepieńcach dolnych warstw istebniańskich, stanowiących podłoże jednej z zapór w Karpatach. Przejawiały się one nieznacznym wzrostem  $Q$  przy zwiększeniu ciśnienia tłoczenia (krzywa wypukła; „m” we wzorze  $Q = b \sqrt[m]{p}$  większe od 2), a nawet zmniejszeniem się chłonności przy wzroście ciśnienia (ryc. 6d).

Możliwość naruszenia struktury skały i wystąpienia kolmatacji, jak również znaczne nieraz nieregularności wyników prób przy poszczególnych ciśnieniach tłoczenia, decydują o skomplikowanym i trudnym w praktyce do ujęcia teoretycznego układzie zależności ciśnienia i chłonności podczas badań wodochłonności. Bardziej wszechstronne naświetlenie procesów zachodzących w podłożu umożliwi zastosowanie tzw. ciśnień zwrotnych, polegających na kilkakrotnym powtarzaniu prób przy tych samych ciśnieniach badawczych. Wyniki powyższych badań pozwalają na stwierdzenie stopnia naruszenia struktury skały przy zaobserwowanych krzywych wkleśłych (deformacja trwała, odkształcenia sprężyste), jak również wykrycie zjawisk kolmatacji, co w pewnych przypadkach ( $1,5 < m \leq 2$ ) może stwarzać znaczne trudności. Odpowiednie przykłady badań przedstawia ryc. 6.

Jak wskazują powyższe rozważania dobór ciśnienia badawczego może mieć główny wpływ na uzyskane wielkości chłonności jednostkowej. Przy odmiennych ciśnieniach badania i bez określenia zjawisk towarzyszących procesowi tłoczenia wodochłonności właściwa przestaje być porównywalna. Teoretycznie maksymalny błąd, jaki możemy popełnić, stosując ekstrapolację lub interpolację liniową przy ustalaniu miarodajnej wodochłonności jednostkowej, w granicach ciśnień 1–3 atm wynosi ok. 80%, a przy ciśnieniach 3–10 atm — 40%. Należy podkreślić, że w rzeczywistości może on być znacznie większy ze względu na procesy naruszania struktury i kolmatację.

Najwłaściwszym rozwiązaniem zagadnienia wpływu zmiennych ciśnień na rezultaty prób wydaje się być wprowadzenie określonego i stałego dla wszystkich badań ciśnienia porównawczego, które powinno być niższe od granicy wytrzymałości strukturalnej górotworu. Dla fliszu karpackiego można zaproponować dla badań porównywalnych ciśnienie 2–3 atm. Z dotychczasowych doświadczeń wynika, iż nie powoduje ono praktycznie naruszenia struktury skały i niemal zawsze można go osiągnąć za pomocą ogólnie dostępnego sprzętu (np. pompy WT 50). Pewne trudności w uzyskaniu takich ciśnień mogą wystąpić jedynie w ośrodkach bardzo silnie spękanych i wtedy można się posłużyć ewentualnie sposobem eksploatacji rezultatów.

Stałe uzupełnienie badań przy ciśnieniu porównawczym, szczególnie w przypadkach gdy wymagana jest większa dokładność, powinny stanowić próby przy kilku ciśnieniach (w tym jedno niższe od ciśnienia porównawczego np. 1–2 atm), ewentualnie badania przy ciśnieniach zwrotnych. Pozwalają one na ocenę wartości uzyskanych rezultatów (zjawiska naruszenia struktury i kolmatacji częściowo dyskwalifikują wynik badania porównawczego) oraz dostarczają szeregu cennych danych dla ogólnej charakterystyki badanego ośrodka skalnego (zwłaszcza szczelinowatość, odporność na rozmywanie i in.). Dla właściwego wykorzystania badań przy kilku ciśnieniach korzystne jest graficzne przedstawienie rezultatów w skali logarytmicznej, co dla otworu badawczego wykonanego w serii gruboławicowej warstw istebniańskich ilustruje ryc. 7.

Nawiązując do przedstawionych wniosków należy stwierdzić, iż analogiczne stanowisko reprezentuje Z. Verfel (1956), który zaleca wykonywanie badań wodochłonności przy ciśnieniu 3 atm. Wiele prac autorów zagranicznych uzależnia ciśnienia badania od wysokości zapory lub od ciśnienia dopuszczalnego cementacji (6, 9). Nie wydaje się to właściwe dla badań porównawczych ze względu na możliwość znacznego zanizania chłonności jednostkowych przy wysokich ciśnieniach badania, jak również na niebezpieczeństwo naruszenia struktury górotworu, szczególnie prawdopodobne w skałach typu fliszowego. Oczywiście, wyższe ciśnienia mogą być bardzo przydatne dla badań specjalnych (ciśnienia dopuszczalne, odporność skały na rozmywanie). W ZSRR stosuje się każdorazowo przeliczenie wyników badań wodochłonności przy różnych ciśnieniach na wielkości miarodajne dla ciśnienia badania 1 m, za pomocą określanych podczas prób zależności funkcyjnych  $Q$  i  $p$  (7). Opracowanie kameralne wyników jest w tym ostatnim przypadku bardzo pracochłonne, a osiągnięte wyniki niewspółmierne do nakładu pracy, tym bardziej że założenie jednego kształtu przy  $Q$  i  $p$  dla pełnego przedziału ciśnień badania trudno uznać za prawidłowe.

#### CZAS BADANIA

Ilość wody wtłaczanej w górotwór przy określonym ciśnieniu badania nie jest w czasie próby wodochłonności stała. Obserwuje się w większości przypadków spadek chłonności w pierwszym okresie badania, co wynika z ustalenia się równowagi hydrodynamicznej w badanym ośrodku, a w skałach nienawodnionych wiąże się również z wypełnieniem wodą próżni w otoczeniu strefy tłocznej. Pewien wpływ na obniżenie się chłonności podczas badań może wywierać również

kolmatacja i pęcznienie łupków ilastych. Występuje również zjawisko odwrotne, a mianowicie wzrost chłonności w trakcie prób, która towarzyszy naruszeniu struktury ośrodka (rozmywanie skał lub wypełnienia szczelin, odkształcenia górotworu spowodowane odpowiednio długim działaniem ciśnienia). Wzrost chłonności jest stwierdzony w praktyce często przy wyższych ciśnieniach badawczych ( $p > 5$  atm), a także niejednokrotnie przy wykonawstwie cementacji w otworach kontrolnych (przypuszczalnie miejscowe złe związanie materiału iniekcyjnego ze ściankami szczelin). Przykłady kształtowania się chłonności w czasie badania przedstawia ryc. 8.

Dla oceny przepuszczalności i szczelinowatości skał wyniki prób, charakteryzujących się narastaniem przepływu w czasie nie są w pełni miarodajne. Istotne znaczenie ma natomiast proces odwrotny, występujący niemal zawsze przy wtłaczaniu wody w górotwór. Na podstawie dotychczasowych obserwacji (badania w ośrodkach nawodnionych) można stwierdzić, że dla skał fliszu karpackiego czas stabilizacji przepływu jest stosunkowo krótki i kształtuje się w granicach 5–45 min (przeważnie 15–20 min). Jest on zależny od ciśnienia (ryc. 8c), szczelności skały (ryc. 8a,b) i jak należy przypuszczać również od nawodnienia ośrodka, rosnąc dla wyższych ciśnień oraz w skałach przepuszczalnych i ośrodkach suchych. Krótki czas stabilizacji można tłumaczyć niewielkim promieniem zasięgu oddziaływania ciśnienia przy próbach wodochłonności.

Miarodajny dla obliczenia wskaźnika wodochłonności jest wydatek ( $Q$ ) ustabilizowany po pewnym czasie badania. Może on różnić się od chłonności średniej w trakcie próby, w większości przypadków wykorzystywanej do obliczeń nawet o 30–40% (przeważnie 10–15%). Jak wynika z analizowanego materiału doświadczalnego czas badań wodochłonności 20–30 min (przy jednym ciśnieniu) jest w zasadzie we fliszu wystarczający, szczególnie w skałach mało spękanych. Badania przy ciśnieniu porównawczym jak również w ośrodkach nienawodnionych powinny być kontynuowane do osiągnięcia stabilizacji chłonności w czasie ok. 10–20 min. W skałach pęczniących i mało odpornych na wpływ ciśnienia czas próby nie powinien przekraczać według wskazań rosyjskich 10 min.

#### WNIOSKI

Pełna porównywalność wyników badań wodochłonności wykonywanych w różny sposób (odmienna długość strefy, promień otworu, ciśnienie itp.) mogłaby być uzyskana drogą wprowadzenia do wzoru na chłonność jednostkową odpowiednich współczynników, uwzględniających własności badanego górotworu. Tego rodzaju rozwiązanie jest teoretycznie możliwe, w praktyce jednak napotyka na znaczne trudności ze względu na wielką różnorodność możliwych warunków litologicznych i tektonicznych, zmienny układ spękań, a także skomplikowany charakter procesów wtórnych zachodzących podczas tłoczenia wody w skałę (kolmatacja, pęcznienie, naruszenie struktury). W tych warunkach prawidłowa ocena względnej przepuszczalności skały na podstawie wskaźnika chłonności jednostkowej może być dokonana przy zachowaniu zbliżonego sposobu wykonania (nieznaczne odchylenia długości stref i średnicy otworów, stałe ciśnienie badania ok. 2–3 atm, uzyskanie stabilizacji przepływu w czasie badania).

#### L I T E R A T U R A

1. Jähde H. — Injektionen zur Verbesserung der Baugrund und Bauwerk. VEB Verlag Technik-Berlin 1953.
2. Kratochvil S. — Vodni nadržé a přehradý. ČSAV, Praha 1961.
3. Lugeon M. — Barrages et géologie. Lozanna 1933.
4. Pich I. — Propustnost podloží vodních staveb a její určení. Vodni Hospodarství, 1956, nr 3.
5. Praca zbiorowa — Problemy inżyniernej geo-

- logii w stroitielstwie. Akad. Stroit. i Arch. SSRR. Moskwa 1961.
6. Praca zbiorowa — Protiwofiltracjonnyje zawiesy plotin. Ibidem 1963.
  7. Praca zbiorowa — Sprawocznik po gidrotiechniki. Gos. Izd. po Stroit. i Arch. Moskwa 1955.
  8. Silin-Biekczurin A. — Dinamika podziemnych wod. Izd. Moskowskiego Uniwersiteta. Moskwa 1958.

9. Skaballanowicz I. A. — Gidrogeologiczeskije razczety. Gosgortiechizdat. Moskwa 1960.
10. Techničeskije usłowija i normy projektirowanja gidrotiechničeskich sooruzenij — Cementacjonnyje protiwofiltracjonnyje zawiesy. Gose-nergoizdat. Moskwa 1949.
11. U.S. Department of Interior. Bureau of Reclamation. Earth Manual. Denver 1960.

### SUMMARY

Specific water absorbing capacity determined by means of pumping water under pressure into bore hole or into bore hole zones is a commonly used coefficient of relative water permeability and of cracking degree of rock substratum. A uniform way applied during the researches is a conditioning factor in proper interpretation of the results obtained, i.e. application of similar lengths of zones (4—6 m are proposed as to the Carpathian Flysch) and of similar bore hole diameters, as well as using of constant pressures (2—3 atm) and stabilization of flow during the examination. In addition to this the comparability of the results is also influenced by accessory processes connected with the effects of stress on a rock massif, as disturbance of structure and colmatation of fissures. The existence of these latter (studies under some increasing and decreasing pressures) suggests that the usefulness of the obtained results is doubtful as far as the water permeability of rock is concerned.

### РЕЗЮМЕ

Общепринятым показателем относительной водопроницаемости и степени трещиноватости пород является удельная водопоглощаемость, определяемая путем накачивания воды под напором в буровые скважины или системы скважин. Условием правильной интерпретации результатов исследований является одинаковый способ их проведения, а именно, соблюдение близких величин длины зон (для карпатского флиша предлагается 4—6 м) и диаметра скважин, применение одинакового давления (2—3 атм.) и стабилизация течения во время исследований. На сопоставимость результатов, кроме перечисленных параметров, оказывают влияние и другие факторы, связанные с воздействием давления на породы, как нарушение структуры, кольматаж трещин, причем выявление этих факторов (испытания при нескольких давлениях, возрастающих и падающих) ставит под сомнение пригодность результатов испытаний для оценки водопроницаемости пород.



XENA DERDZIŃSKA  
Instytut Geologiczny

### WYSTĘPOWANIE HORYZONTÓW GAZOWYCH W UTWORACH TORTOŃSKICH POŁUDNIOWO-ZACHODNIEJ CZĘŚCI GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

UKD 553.981:551.782.13(438.31)

Rejon Brzezówki-Kaczyce położony jest w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, na wschodnim zboczu karbońskiego garbu Ostrawy i Karwiny.

W budowie geologicznej rejonu biorą udział utwory karbońskie oraz przykrywające je utwory trzeciorzędowe i czwartorzędowe. Miąższość utworów trzeciorzędowych zaliczonych na podstawie badań mikrofaunistycznych i makrofaunistycznych przez S. Alexandrowicza i W. Kracha do opolu wynosi tu ok. 700 m. Wykształcone są one jako łąki margliste i piaszczyste z laminami i gniazdami pyłów i piasków. Pod nimi występują utwory karbonu wykształcone jako warstwy orzeskie, rudzkie i siódłowe.

W rejonie tym dla rozpoznania tektoniki karbonu, zalegania pokładów węgla oraz ich opróbowania założone zostało problemowe wiercenie Instytutu Geologicznego — Brzezówka. Po wykonaniu karotażu geofizycznego otworu obejmującego profilowanie elektryczne i promieniotwórcze, zauważono kilka charakterystycznych wychyleń krzywych, sugerujących możliwość wystąpienia horyzontów gazowych w utworach

tortońskich. Badania hydrogeologiczno-gazowe wykonywane w trakcie likwidacji otworu stwierdziły obecność gazu. Wykonano tu cztery dwumetrowe perforacje rur okładzinowych  $\varnothing 6''$ , mające na celu otworenie horyzontów gazowych.

Przy perforacji na głęb. 705—707 m, po sczerpaniu płynu przewodem syfonowym, otrzymano wypływ gazu rzędu 17 Nm<sup>3</sup>/min, przy ciśnieniu głowicowym 41 atm. Wypływowi gazu towarzyszyła solanka w ilości 79 l/min.

Przy perforacji na głęb. 640—642 m otrzymano wypływ gazu w ilości 12 Nm<sup>3</sup>/min, przy ciśnieniu głowicowym 40 atm. Gaz wypływał łącznie z solanką w ilości 67 l/min. Horyzont ten zaznaczył się dość wyraźnie na krzywych karotażowych. Amplituda krzywej PS wynosiła do 37,5 mV. Na krzywych oporów według sondy AO, 1M1, ON przy  $i = 6,9$  mA, opór maksymalny wynosił 18  $\Omega$ m; według sondy A1,OMO,1N przy  $i = 69,1$  mA opór maksymalny był rzędu 30  $\Omega$ m. Na krzywych gamma i neutron horyzont wyraźnie się nie zaznaczył.