

ZDOLNOŚĆ INFILTRACYJNA ZWIETRZELIN GNEJSOWYCH MASYWU WIELKIEJ SOWY (SUDETY ŚRODKOWE)

INFILTRATION CAPACITY OF WEATHERING RESIDUALS IN GNEISES OF WIELKA SOWA MASSIF (MIDDLE SUDETES)

HENRYK MARSZAŁEK¹, KRZYSZTOF CHUDY¹, BARTOSZ WYSOCKI²

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w Górach Sowich celem określenia zdolności infiltracyjnej zwietrzelin gnejsów sowiogórskich. Bezpośrednio w terenie określono wartości współczynnika wodoprzepuszczalności pionowej utworów przy powierzchniowych, wykształconych w postaci gliniastych zwietrzelin stokowych, zamykające się w przedziale 0,06–0,53 m/d. Stosując metodę oceny parametrów migracji zanieczyszczeń z wykorzystaniem jonu chlorkowego, określono średnią rzeczywistą prędkość migracji wód podziemnych w zwietrzelinach gnejsów wynoszącą 2,07 m/a.

Słowa kluczowe: zdolność infiltracyjna, zwietrzelina gnejsów, strefa aeracji, Góry Sowie.

Abstract. The paper presents the results of the hydrogeological investigations carried out in the Sowie Góry massif in order to estimate infiltration capacity of the weathering cover of gneisses. Based on fields works there were estimated hydraulic conductivity of clayey weathering residuals between 0,06–0,53 m/d. The contaminant transport velocity estimated in slope clayey weathering cover by fields method with the use of chloride ion amounts 2,07 m/year.

Key words: infiltration capacity, weathering residuals, unsaturated zone, Sowie Mts.

WSTĘP

Położony w Sudetach Środkowych masyw gnejsowy Gór Sowich, przez długi okres poddawany był oddziaływaniom pyłowo-gazowych zanieczyszczeń przemysłowych pochodzących z pobliskiego wałbrzysko-noworudzkiego zagłębia węglowego. Powodowało to przekształcenia w składzie chemicznym wód podziemnych pierwszego od powierzchni poziomu wodonośnego, które są silnie podatne na wpływy zewnętrzne, ponieważ pozbawione są naturalnej izolacji. Ich podatność silnie uzależniona jest od miąższości i wykształcenia strefy aeracji, którą tworzy warstwa utworów zwietrzelinowych.

Celem przeprowadzonych na wybranych stanowiskach badań była ocena zdolności infiltracyjnej, w tym parametrów migracji zanieczyszczeń w strefie aeracji masywu gnejsów sowiogórskich. Podstawą prac było rozpoznanie charakteru strefy aeracji, dotyczące cech granulometrycznych oraz naturalnych właściwości fizycznych zwietrzelin gnejsowych. Do oceny parametrów migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji gnejsowego zbiornika porowo-szczelinowego w warunkach polowych (*in situ*) zastosowano metodę sztucznego znacznika w postaci jonu chlorkowego. Czas migracji określony dla znacznika konserwatywnego, jakim jest

¹ Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: henryk.marszalek@ing.uni.wroc.pl; krzysztof.chudy@ing.uni.wroc.pl

² GEOGRUNT Usługi Geologiczne, ul. Klaczki 41/2, 51-151 Wrocław; e-mail: bartosz@geogrunt.com

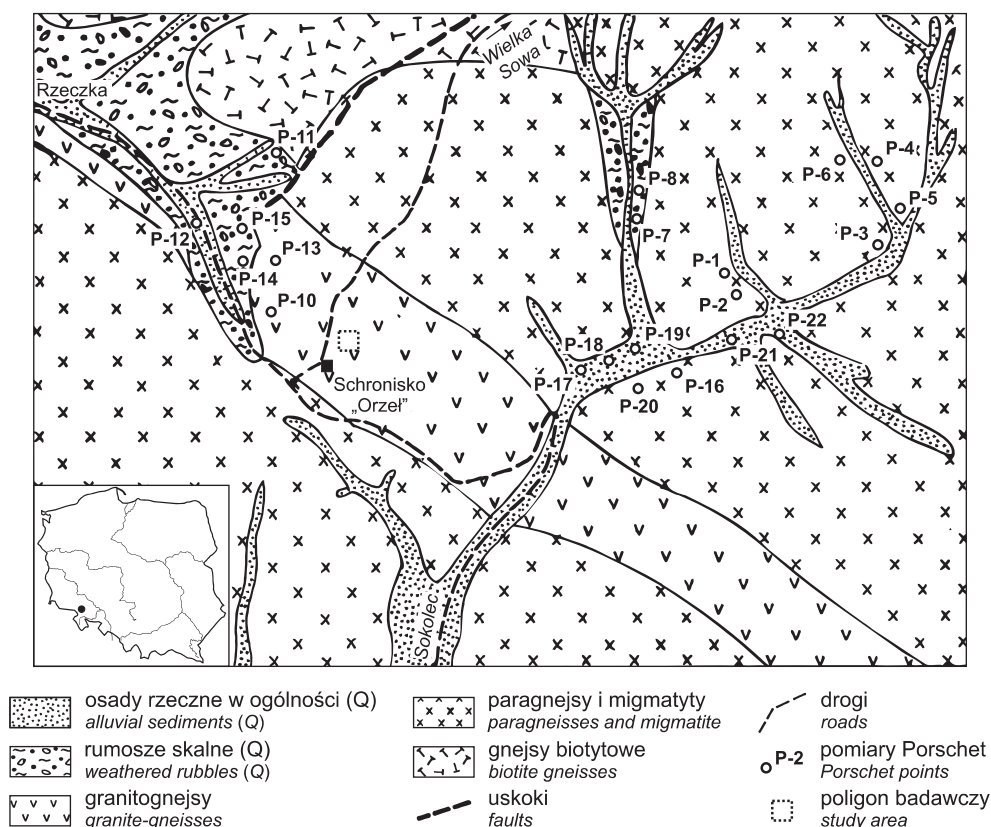


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle budowy geologicznej

Location of the study area on geological background

jon CI, pozwolił określić najwyższy stopień zagrożenia wód podziemnych, ponieważ migrujące zanieczyszczenia dotrą do strefy saturacji bez opóźnienia (m.in. Kleczkowski, red., 1991, 1999; Bury, 1995; Herzig, 1999; Nałęcki T, Nałęcki P, 1999; Marszałek, 2007).

Badania terenowe wykonano w rejonie Przełęczy Sokolej w Górach Sowich, w pobliżu miejscowości Sokolec. Poletko doświadczalne wyznaczono przy schronisku Orzeł, położonym na południowo-zachodnim zboczu Wielkiej Sowy, na wysokości około 875 m n.p.m. (fig. 1).

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Masyw gnejsów sowiogórskich stanowi jednostkę geologiczną w kształcie trójkąta, położoną w środkowej części Sudetów i ich przedpola. Granica pomiędzy częścią górską i przedgórską wyznaczona jest sudeckim uskokiem brzeżnym, który tworzy krawędź morfologiczną o wysokości 400–500 m n.p.m.

Budują go w większości różne odmiany teksturalne staropaleozoicznych gnejsów, granitognejsów i migmatytów (fig. 1), z dominującymi minerałami takimi jak: kwarc, oligoklaz i biotyt (Kryza, 1981; Żelaźniewicz, 1987, 2003). Oprócz nich podrzędnie występują również granulity, amfibolity, hiperyty i serpentynity. Wśród amfibolitów pochodzenia osadowego znajdowano niewielkie wkładki wapieni

krystalicznych oraz skał wapienno-krzemianowych (Kryza, 1981).

Gnejsy sowiogórskie charakteryzują się niską porowatością w granicach od 1,1 do 3,3% oraz wodochłonnością od 0,22 do 0,73% (Staśko, 1996), dlatego występowanie wód podziemnych w utworach krystalicznych Gór Sowich związane jest ze strefami o podwyższonym stopniu spękania masywu oraz istnieniu sieci drożnych uskóków. Duże zróżnicowanie morfologiczne w części górskiej masywu gnejsowego powoduje silne rozcięcie erozyjne i drenaż wód podziemnych. Na terenie Gór Sowich zinwentaryzowano ponad 500 źródeł i młak, przeważnie o niskiej wydajności (średnio 0,23 dm³/s), w większości wypływających w przedziale

wysokości 550–750 m n.p.m. Ich temperatury wahają się w granicach od 5,0 do 13,2°C, średnio wynoszą około 7,8°C (Staško, 1996).

Skały szczelinowate Gór Sowich stanowią ważny zbiornik wód podziemnych. Świadczy o tym wysoki wskaźnik krenologiczny, wynoszący 19 źródeł/km² oraz duża ilość drenowanych wód, sięgająca blisko 423 m³/h (Staško, 1996). Przewodność hydrauliczna omawianych utworów kształtuje się w przedziale 4,45–105,00 m²/d, co pozwala zaklasyfikować je do średnich wartości wodoprzewodności.

Poza wodami szczelinowymi kompleksu metamorficznego, stwierdzono także występowanie wód porowych w zwietrzelinach gnejsów i zwietrzelinowych utworach stokowych, o miąższości nie przekraczającej trzech metrów. Zwierciadło wód podziemnych w rejonie prowadzonych badań stwierdzono na głębokościach 2,5–3,5 m p.p.t.

Wody podziemne masywu gnejsowego Gór Sowich cechuje niska mineralizacja (125–250 mg/dm³). W ich składzie jonowym dominują siarczany, wodorowęglany, wapń i magnez (Staško, 1996).

METODYKA BADAŃ

Oceny zdolności infiltracyjnej zwietrzelin gnejsowych dokonano na podstawie przeprowadzonych pomiarów polowych współczynnika wodoprzepuszczalności pionowej, określonego metodą Porscheta, powszechnie stosowaną w utworach słaboprzepuszczalnych (Pleczyński, 1981) oraz ocenę parametrów migracji zanieczyszczeń z zastosowaniem metody sztucznego znacznika w postaci jonu chlorkowego (Bury, 1995; Kleczkowski, red., 1999).

Metoda Porscheta polega na wykonaniu i zalaniu wodą wkopu o średnicy 10–20 cm i głębokości 40–50 cm oraz pomiarze czasu opadania zwierciadła wody. Współczynnik wodoprzepuszczalności warstwy przypowierzchniowej obliczono, posługując się odpowiednimi wzorami zawartymi w pracy Pleczyńskiego (Pleczyński, 1981). Pomiary przepuszczalności metodą Porscheta skał budujących przypowierzchniową strefę gnejsów sowiogórskich wykonano w czerwcu 2008 roku w 21 punktach zlokalizowanych wokół miejscowości Rzeczką i Sokolec (fig. 1).

Do określenia parametrów migracji zanieczyszczeń wykorzystano metodę znaczników sztucznych z zastosowaniem jonu chlorkowego, który jest znacznikiem konserwatywnym, nieulegającym procesom fizykochemicznym takim jak sorpcja, reprodukcja, rozpad, czy biodegradacja (Kleczkowski, red., 1991; Kleczkowski, Nałeczki, 1999). Wyniki badań terenowych i laboratoryjnych poddano interpretacji za pomocą programu numerycznego CXTFIT, dzięki któremu uzyskano parametry średniej rzeczywistej prędkości migracji U , współczynnika dyspersji podłużnej D_L oraz stałej dyspersji podłużnej α_L .

Badania znacznikowe prowadzono na przełomie 2009 i 2010 roku. W listopadzie 2009 roku, po analizie warunków geologicznych, wybrano dwa poligony badawcze w okolicy Sokolca i Przełęcz Sokolej, cechujące się stosunkowo płaską powierzchnią, małym nachyleniem oraz brakiem szaty roślinnej.

W dalszej kolejności wykonano dwa otwory rozpoznawcze, których celem było określenie parametrów fizycznych i naturalnego stężenia jonu Cl^- w strefie aeracji gnejsów. Ostatecznie, z powodu zbyt małej miąższości utworów zwietrzelinowych, na pierwszym poletku (występowanie litej

skały na niewielkiej głębokości), dalsze badania prowadzono tylko na terenie drugiego poletka doświadczalnego (fig. 1).

Z odwierconego otworu o głębokości 2,2 m, w interwałach 20 cm, pobrano próby gruntu o wilgotności naturalnej NW z całego profilu głębokościowego. Następnym etapem było przygotowanie roztworu wodnego chlorku sodu, do którego zastosowano sól kuchenną, oraz jednorazowe, równomierne rozproszanie go na całej powierzchni poletka doświadczalnego. Stężenie jonu chlorkowego we wprowadzonym roztworze wodnym NaCl wynosiło 30 000 mg/dm³. Poiniekcji znacznika Cl^- prowadzono systematyczną obserwację w określonych odstępach czasowych oraz pomiar prędkości jego przemieszczania w profilu pionowym strefy aeracji. Posłużyło to do rejestracji krzywych przejścia znacznika na określonych głębokościach. W tym celu wykonano kolejne otwory badawcze oraz pobrano próby gruntu o wilgotności naturalnej NW.

Z powodu długo utrzymującej się pokrywy śnieżnej i zamarznięcia warstwy przypowierzchniowej gruntu, badania kontynuowano dopiero wiosną 2010 roku, czyli po około trzech miesiącach od wprowadzenia znacznika. W lutym, marcu, kwietniu i maju 2010 roku wywiercone zostały kolejne otwory, z których pobrano próby gruntu do analiz laboratoryjnych.

Do oznaczenia stężenia jonu Cl^- wykorzystano metodę wyciągu wodnego, pozwalającego w pośredni sposób określić skład chemiczny roztworu porowego.

Na podstawie analizy makroskopowej wstępnie określono rodzaj gruntu oraz jego barwę. Grunty zaklasyfikowano do glin piaszczystych i pylastych z przewagą tych pierwszych. W warstwie przypowierzchniowej były to grunty o barwie brunatnoszarej, natomiast w głębszych partiach występował jaśniejszy materiał, z widocznymi drobinami skaleni i łuszczaków. W trakcie badań laboratoryjnych wykonano również analizę pipetową i sitową, w celu określenia składu granulometrycznego utworów strefy aeracji. W tym celu przeprowadzono po 11 oznaczeń. Podczas wiercenia otworów udało się pobrać próby z maksymalnej głębokości 2,2 m p.p.t. Poniżej występowała zbita warstwa rumoszu gliniastego, trudnego do opróbowania zastosowanym sprzętem.

PROFIL ZWIETRZELIN GNEJSOWYCH

Poziom glebowy strefy aeracji tworzą pyły piaszczyste (0,0–0,2 m p.p.t.), poniżej których znajdują się gliny (0,2–2,0 m p.p.t.), miejscami przechodzące w gliny piaszczyste (0,6–1,0 m p.p.t.; fig. 2). Największą zawartość materiału ilastego (17,32%) i jednocześnie najmniejszą ilość materiału gruboziarnistego (1,07%) zawierają zwietrzeliny na głębokości 1,2–1,4 m p.p.t. Od tego poziomu zauważalny jest stały spadek ilości najdrobniejszych frakcji oraz wzrost

ziaren o średnicy powyżej 2 mm. W najgłębszej partii profilu (2,2 m p.p.t.) stwierdzono występowanie glin piaszczystych o zawartości 9,76% frakcji żwirowej (fig. 3). Do otrzymanych wyników należy doliczyć materiał frakcji kamienistej, który nie został uwzględniony w analizie granulometrycznej z powodu zbyt dużego rozproszenia oraz trudności z pobieraniem prób zawierających tak duże bloczki.

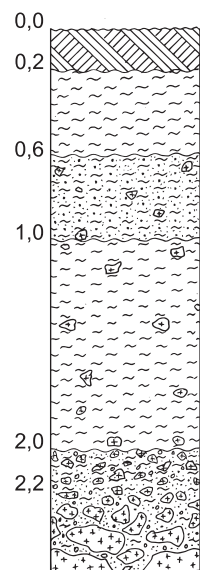


Fig. 2. Profil zwietrzelin gnejsów sowiogórskich w rejonie Przelęczy Sowiej (opis wydzielen w tekście)

Profile of gneisses weathering residuals in the Sokola Pass (description in text)

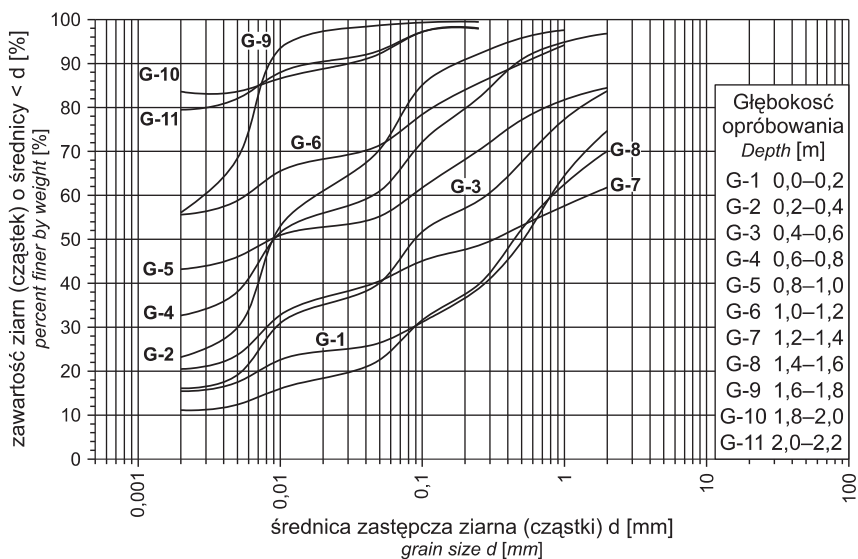


Fig. 3. Krzywe uziarnienia utworów zwietrzelinowych

Grain-size distribution curves of weathering residuals

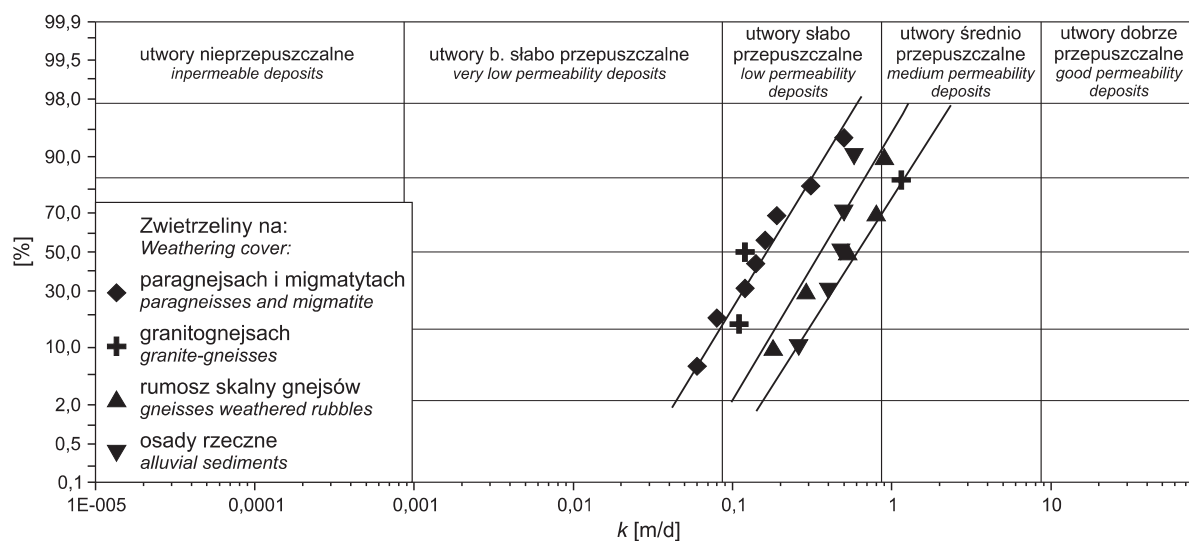


Fig. 4. Rozkład wartości współczynnika wodoprzepuszczalności pionowej k

Distribution of hydraulic conductivity k

ZDOLNOŚĆ INFILTRACYJNA UTWORÓW POKRYWOWYCH OZNACZONA METODĄ PORSCHETA

Wodoprzepuszczalność dla utworów pokrywowych oznaczono w 21 punktach badawczych (tab.1). Pięć z nich zlokalizowanych zostało w rumoszach skalnych różnych odmian gnejsów, a kolejne pięć w osadach rzecznych. Na zwietrzelinach skał budujących blok sowiogórski w rejonie Rzeczeki zlokalizowano 11 punktów pomiarowych, z czego 8 na zwietrzelinach paragnejsów i migmatytów, a 3 na zwietrzelinach granitognejsów.

W rumoszach skalnych wartości wodoprzepuszczalności wahają się w przedziale 0,18–0,9 m/d, natomiast w osadach rzecznych 0,26–0,58 m/d (fig. 4). Zwietrzeliny granitognejsów wykazują wyższe zróżnicowanie wartości wodoprzepuszczalności w zakresie 0,11–1,15 m/d. Zbyt mała

ilość punktów pomiarowych nie pozwala wysnuwać wniosków na temat przyczyn tak dużego zróżnicowania tych wartości. Pomierzone wartości dla zwietrzelin paragnejsów i migmatytów mają znacznie mniejsze wartości, wahające się w przedziale 0,06–0,5 m/d (fig. 4).

Dokonano również klasyfikacji wyników otrzymanych w badaniach metodą Porscheta, według właściwości filtracyjnych (Pazdro, Kozerski, 1990). Wszystkie pomierzone wartości plasują się w przedziale utworów od bardzo słabo przepuszczalnych do słabo przepuszczalnych. Najmniej przepuszczalne są zwietrzeliny paragnejsów i migmatytów, a najbardziej przepuszczalne osady czwartorzędowe – rumosze skalne oraz osady rzeczne.

Tabela 1

Wartości współczynnika wodoprzepuszczalności pionowej utworów pokrywowych określone metodą Porscheta

Hydraulic conductivity k of cover deposits estimated by Porscheta's method

Nr punktu	Wydzielenie litologiczne	Współczynnik k (m/d)
P-1	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,08
P-2	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,06
P-3	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,50
P-4	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,12
P-5	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,16
P-6	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,19
P-7	rumosz skalny gnejsów	0,90
P-8	rumosz skalny gnejsów	0,80
P-10	zwietrzelina granitognejsów	0,11
P-11	rumosz skalny gnejsów	0,18
P-12	zwietrzelina granitognejsów	1,15
P-13	zwietrzelina granitognejsów	0,12
P-14	rumosz skalny gnejsów	0,53
P-15	rumosz skalny gnejsów	0,29
P-16	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,14
P-17	osady rzeczne	0,48
P-18	osady rzeczne	0,26
P-19	osady rzeczne	0,50
P-20	zwietrzelina paragnejsów i migmatytów	0,31
P-21	osady rzeczne	0,58
P-22	osady rzeczne	0,40

PARAMETRY MIGRACJI ZANIECZYSZCZEŃ STREFY AERACJI GNEJSÓW GÓR SOWICH

Do wyznaczenia stężenia jonu Cl^- w roztworach porowych wykorzystano metodę wyciągu wodnego. W pierwszej kolejności określono naturalne tło chlorkowe utworów strefy aeracji gnejsów Gór Sowich, a następnie co pewien okres czasu dokonywano obserwacji pionowego przepływu znacznika Cl^- . Początkowe stężenie jonu chlorkowego w glinach stokowych Gór Sowich zawierało się w przedziale $0,66\text{--}1,35\text{ mg/dm}^3$. Tak mała zawartość zastosowanego znacznika w naturalnym środowisku umożliwia dokładną detekcję roztworu chlorkowego i pomiar jego migracji.

Najwyższe stężenie jonu Cl^- zarejestrowano około 90 dni od iniekcji znacznika na głębokości $0,2\text{ m p.p.t.}$, wynoszące $62,64\text{ mg/dm}^3$. Prędkość migracji w tym czasie była najniższa (około $1,2\text{ m/a}$) spośród wszystkich okresów pomiarowych, co widać na figurze 5. Niewątpliwie wiązało się to z zanikiem infiltracji wód opadowych, spowodowanym zamrożeniem strefy przypowierzchniowej gruntu oraz utrzymującą się przez długi okres pokrywą śnieżną. Analizując krzywe przejścia sztucznego znacznika Cl^- , można zauważyć, że najszybciej (do $4,8\text{ m/a}$) przemieszczał się on w okre-

sie od 90 do 120 dni od rozpoczęcia badań. Doszło wtedy do nagłego wzrostu zasilania, wynikającego z wiosennych roztopów oraz opadów deszczu. Wraz z upływem czasu maksymalne koncentracje jonu chlorkowego przemieszczają się pionowo w dół. Po okresie 6 miesięcy od momentu zraszania poletka najwyższe stężenie zanotowano na głębokości 1 m p.p.t. . Wynosiło ono $36,15\text{ mg/dm}^3$. Poniżej, do głębokości $1,8\text{ m p.p.t.}$, zawartość chlorków była znacznie mniejsza, od $5\text{ do }8\text{ mg/dm}^3$. Średnia prędkość przemieszczania się jonu Cl^- w profilu pionowym to około $2,0\text{--}2,4\text{ m/a}$.

Wyniki pomiarów stężenia znacznika w roztworach porowych poddano interpretacji, wykorzystując program numeryczny CXTFIT (Parker, van Genuchten, 1984; Witczak i in., 1987). Do obliczenia parametrów migracji zanieczyszczeń zastosowano model 1, typu Resident, opisany przez analityczne równanie migracji konwekcyjno-dyfuzyjnej, uwzględniające sorpcję zgodnie z izotermą liniową oraz reakcje z kinetyką zerowego rzędu i rozpad zgodny z kinetyką pierwszego rzędu (Witczak i in., 1987). Zastosowanie programu CXTFIT pozwoliło na wyznaczenie następujących parametrów:

- średnia rzeczywista prędkość migracji U ,
- współczynnik dyspersji podłużnej D_L ,
- stała dyspersji podłużnej α_L

Należy przyjąć ich wartości szacunkowe, aby dokonać identyfikacji parametrów D_L i U . Współczynnik dyspersji podłużnej ocenia się, porównując jego stosunek z prędkością migracji do przybliżonego rozmiaru niejednorodności badanego ośrodka. Za niejednorodność traktuje się średnicę ziaren d_{50} (Witczak i in., 1987). Wartość U przyjęto na podstawie analizy krzywych przejścia jonu Cl^- . Interpretując wyniki uzyskane za pomocą programu CXTFIT, można zauważyć dużą zbieżność z parametrami obliczonymi na podstawie obserwacji i pomiarów terenowych. Rzeczywista prędkość migracji U dla pierwszego okresu badań, kiedy infiltracja była utrudniona z powodu zamrożonej gleby, wynosi $0,249\text{ cm/d}$, to jest $0,90\text{ m/a}$. Współczynnik dyspersji podłużnej D_L ma wartość $0,031\text{ cm}^2/\text{d}$, a stała dyspersji podłużnej $\alpha_L = 0,124\text{ cm}$. Są to parametry zależne od budowy geologicznej ośrodka oraz wielkości i kierunku strumienia filtracyjnego (Pazdro, Kozerski, 1990). W późniejszym czasie zaobserwowano znaczny wzrost prędkości migracji zanieczyszczeń oraz współczynnika i stałej dyspersji podłużnej. Średnie wartości parametrów migracji zanieczyszczeń otrzymane za pomocą programu CXTFIT wynoszą: rzeczywista prędkość migracji wód podziemnych $U = 2,07\text{ m/a}$, współczynnik dyspersji podłużnej $D_L = 0,519\text{ cm}^2/\text{d}$ oraz stała dyspersji podłużnej $\alpha_L = 0,917\text{ cm}$.

Wartość rzeczywistej prędkości przepływu wód podziemnych U , otrzymana w niniejszej pracy, jest porównywalna z wynikami, jakie uzyskano w czasie analogicznych badań utworów zwietrzelinowych granitu Karkonoszy, gdzie prędkość migracji U wynosiła $2,19\text{ m/a}$ (Marszałek, 2007).

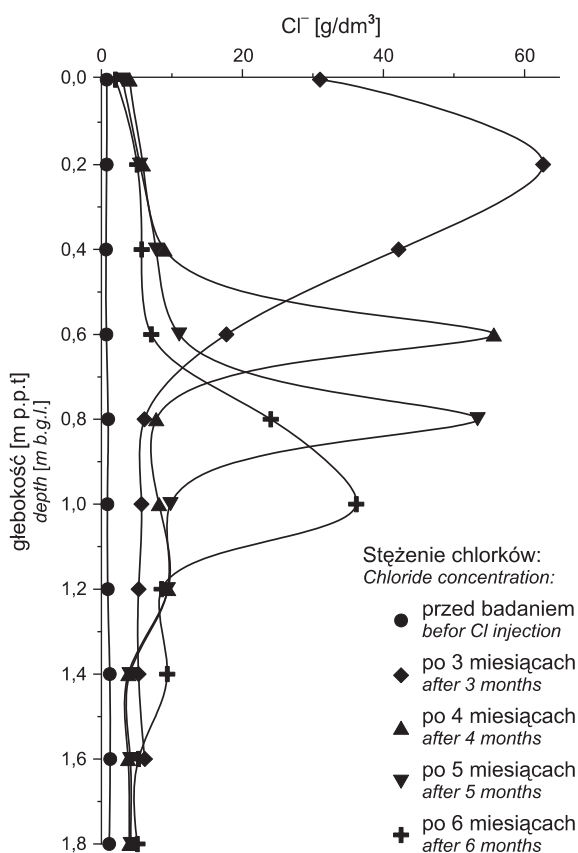


Fig. 5. Krzywe przejścia jonu chlorkowego w profilu zwietrzelin w rejonie Przełęczy Sokolej

Breakthrough curve of Cl^- ion in gneisses weathering cover in the Sokola Pass

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono wyniki oceny zdolności infiltracyjnej zwietrzelin gnejsów sowiogórskich. Dla oceny parametrów migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji gnejsowego zbiornika porowo-szczelinowego w warunkach polowych (*in situ*) wykorzystano metodę sztucznego znacznika w postaci jonu chlorkowego, natomiast do oceny polowego współczynnika wodoprzepuszczalności pionowej metodę Porscheta.

W profilu zwietrzelinowym w rejonie Przełęcz Sokolej występuje kilka stref o różnej zawartości poszczególnych frakcji skalnych. Poziom glebowy strefy aeracji tworzą pyły piaszczyste (0,0–0,2 m p.p.t.), poniżej których znajdują się gliny (0,2–2,0 m p.p.t.), miejscami przechodzące w gliny piaszczyste (0,6–1,0 m p.p.t.). Największą zawartość materiału ilastego (17,32%) i jednocześnie najmniejszą ilość materiału gruboziarnistego (1,07%) zawierają zwietrzeliny na głębokości 1,2–1,4 m p.p.t. Od tego poziomu zauważalny jest stały spadek ilości najdrobniejszych frakcji oraz wzrost

ziaren o średnicy powyżej 2 mm. W najgłębszej partii profilu (2,2 m p.p.t.) stwierdzono występowanie glin piaszczystych o zawartości ok. 10% frakcji żwirowej.

W rumoszach skalnych różnych odmian gnejsów wartości wodoprzepuszczalności wahają się w przedziale 0,18–0,9 m/d, natomiast w osadach rzecznych od 0,26 do 0,58 m/d. Zwietrzeliny granitognejsów wykazują wyższe zróżnicowanie wartości wodoprzepuszczalności w zakresie 0,11–1,15 m/d. Pomierzone wartości dla zwietrzelin paragnejsów i migmatytów wynoszą 0,06–0,50 m/d.

Na podstawie analizy krzywych przejścia sztucznego znacznika Cl^- przez strefę zwietrzelin gnejsowych określono prędkość przemieszczania się tego jonu w profilu pionowym strefy aeracji w przedziale 2,0–2,4 m/a. Wartości parametrów migracji zanieczyszczeń obliczone za pomocą programu CXTFIT wynoszą: rzeczywista prędkość migracji wód podziemnych $U = 2,07$ m/a, współczynnik dyspersji podłużnej $D_L = 0,519$ cm^2/d oraz stała dyspersji podłużnej $\alpha_L = 0,917$ cm.

LITERATURA

- BURY W., 1995 — Prognozowanie pionowej migracji zanieczyszczeń konserwatywnych przez utwory przepuszczalne i półprzepuszczalne przy wykorzystaniu znaczników naturalnych i sztucznych. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 7, 1: 57–68. Wyd. Profil, Kraków.
- HERZIG J., 1999 — Prędkość migracji zanieczyszczeń w strefie aeracji glin i ilów. *W: Prędkość migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji na podstawie badań polowych i laboratoryjnych* (red. A.S. Kleczkowski). Wyd. AGH, Kraków.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1991 — Ochrona wód podziemnych w Polsce. Stan i kierunki badań. Wyd. CPBP 04.10. Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego, z. 56.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1999 — Prędkość migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji na podstawie badań polowych i laboratoryjnych. Wyd. AGH, Kraków.
- KLECZKOWSKI A.S., NAŁĘCKI T., 1999 — Prędkość migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji na podstawie badań polowych i laboratoryjnych. Wyd. AGH, Kraków.
- KRYZA R., 1981 — Migmatyzacja w gnejsach północnej części Gór Sowich, Sudety. *Geol. Sudet.*, **14**: 7–100.
- MARSZAŁEK H., 2007 — Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. *Acta Univ. Wratisl. Hydrol.*, **2993**.
- NAŁĘCKI T., NAŁĘCKI P., 1999 — Prędkość migracji zanieczyszczeń w strefie aeracji utworów piaszczystych. *W: Prędkość migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji na podstawie badań polowych i laboratoryjnych* (red. A.S. Kleczkowski). Wyd. AGH, Kraków.
- PARKER J.C., VAN GENUCHTEN M.Th., 1984 — Determining Transport Parameters from Laboratory and Field Tracer Experiments. Bull. 843, Virginia Agric. Exp. Sta., Blacksburg.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PLECZYŃSKI J., 1981 — Odnowalność zasobów wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- STAŚKO S., 1996 — Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie wybranych obszarów Sudetów polskich. *Acta Univ. Wratisl. Pr. Geol.-Miner.*, **53**: 1–85.
- WITCZAK S., OSMĘDA-ERNSTE E., DUDA R., PILCH J., 1987 — Opis instrukcji użycia programu CXTFIT służące do identyfikacji parametrów migracji w warunkach migracji jednoosiowej. Arch. IHiGI AGH, Kraków.
- ŻELAŻNIEWICZ A., 1987 — Tektoniczna i metamorficzna ewolucja Gór Sowich. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **57**: 203–348.
- ŻELAŻNIEWICZ A., 2003 — Postęp wiedzy o geologii krystaliniku Sudetów w latach 1990–2003. *W: Sudety Zachodnie – od wendy do czwartorzędu* (red. A. Ciężkowski i in.). Wind, Wrocław.

SUMMARY

There is presented the results of infiltration capacity estimation in weathered gneisses of Sowie Mts. in the vicinity of the Sokola Pass. Migration parameters and hydraulic conductivity of unsaturated zone in porous-fissured gneiss aquifer have been determined using fields methods as chloride ion indicator and Porschet's technics respectively.

In vertical weathering profile occur a few zones varying with grain size distributions. Soils, up to 0,2 m b.g.l., have a character of sandy silts. Below – up to 2 m – occurs the layer of slope deposits, mainly sandy clays. The biggest amount of clayey material (17,3%) is observed in the depth interval

of 1,2–1,4 m b.g.l. In the deepest part of the profile (2,2 m b.g.l.) occurs sandy clays with 10% of gravels addition.

The value of hydraulic conductivity of gneiss weathering residuals ranges from 0,18 to 0,9 m/day, however for weathered covers of paragneisses and migmatites reaches 0,5 m/day. Upper parts of alluvial deposits have similar values of hydraulic conductivity ranges from 0,26 to 0,58 m/day.

The contaminant transport velocity estimated in slope clayey residuals by fields methods with the use of chloride ion amounts 2,07 m/year.