

JOANNA MARIA GORECKA*, HENRYK MARSZAŁEK**

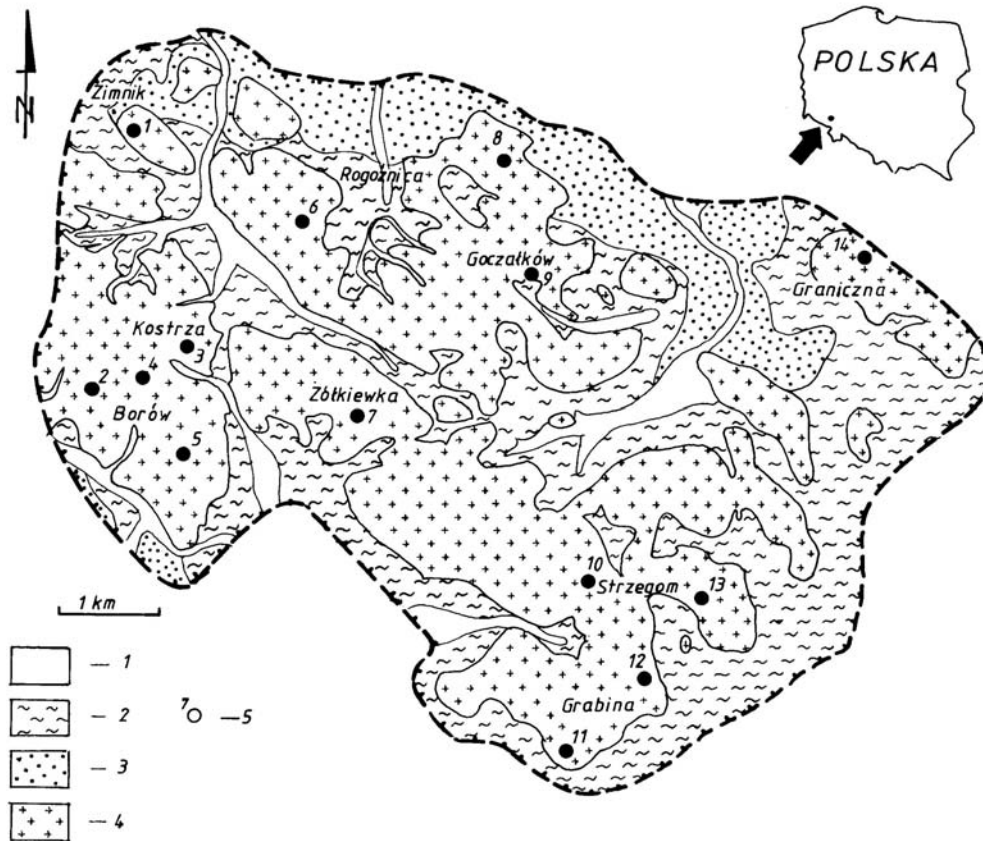
Ocena wybranych parametrów hydrogeologicznych zwietrzelin granitu strzegomskiego (Dolny Śląsk)

Wprowadzenie

Granity strzegomskie należą do eksploatowanych od stuleci i powszechnie stosowanych surowców skalnych. Doskonałe właściwości techniczne, chemiczne oraz walory estetyczne pozwalają na ich szerokie zastosowanie w budownictwie inżynieryjnym, drogowym i monumentalnym (Dziedzic i in. 1979). Dobra oddzielność blokowa umożliwia ich wydobycie w postaci dużych bloków i płyt. Skały granitoidowe okolic Strzegomia wychodzą na powierzchnię w obszarach elewacji morfologicznych oraz są odsłonięte w licznych kamieniołomach (rys. 1). Ich osłona metamorficzna jest przeważnie zakryta. Masyw granitowy również przykryty jest w wielu miejscach młodszą pokrywą osadów kenozoicznych, w tym zwietrzelinami ziarnistymi o charakterze residuum i gliniastych pokryw stokowych, typowych dla obszarów górskich. Zwietrzeliny skał krystalicznych mogą być w sprzyjających warunkach dobrym kolektorem wód podziemnych, w którym przepływ odbywa się w nienasyconym ośrodku skalnym, co powoduje powstanie nieciągłej powierzchni piezometrycznej (Kowalski 1987, 1992; Marszałek 1996). Znajomość wykształcenia zwietrzelin i ich właściwości hydrogeologicznych jest zatem pomocna przy pracach rozpoznawczych przed udostępnieniem kolejnych partii złoża do eksploatacji oraz w poznaniu ich roli w zasilaniu i krążeniu wód podziemnych w masywie granitoidowym. W niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę rozprzestrzenienia i wykształcenia litologicznego zwietrzelin pow-

* Mgr, Instytut Górnictwa, Politechnika Wrocławska, Wrocław; e-mail: joanna.palcyn@pwr.wroc.pl

** Dr hab., prof. UWr., Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław;
e-mail: henryk.marszalek@ing.uni.wroc.pl



Rys. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych zwietrzelin granitu na tle budowy geologicznej (wykorzystano: Kural, Teisseyre, 1975, 1978 – zmienione)

1 – aluwia rzeczne (Q), 2 – gliny deluwialne i zwałowe (Q), 3 – piaski i żwiry (Q), 4 – granity (P_1), 5 – punkty opróbowania zwietrzelin granitowych: 1 – Zimnik – nieczynny kamieniołom, 2 – Borów: Borowskie Kopalnie Granitu Sp. z o.o., 3 – Kostrza: Wekom II Sp. z o.o., 4, 5 Kostrza: Skalimex – Borów S.A., Piramida Sp. z o.o. PPHU, 6 – Rogoźnica – nieczynny kamieniołom w Gross-Rosen, 7 – Żółkiewka: Kopalnia Granitu Żółkiewka IV, 8 – Rogoźnica: Kopalnia Granitu Rogoźnica II, 9 – Goczałków – Gilde Sp. z o.o., 10 – Strzegom – Granit Strzegom S.A., 11, 12 – Grabina – Euro Granit sp. z o.o., Grabinex Sp. z o.o., 13 – Strzegom – Kopalnia Granitu Barcz I, 14 – Graniczna – Granit Wiatrak Sp. z o.o. – Graniczna III

Fig. 1. Location of granite weathered residuals study points on the background of geology (geology by Kural, Teisseyre, 1975, 1978 – changed)

1 – alluvial sediments (Q), 2 – deluvial clay and tills (Q), 3 – sands and gravels (Q), 4 – granites (P_1), 5 – sampling points of weathered granites residuals: 1 – Zimnik – closed quarry, 2 – Borów: Borowskie Kopalnie Granitu Sp. z o.o., 3 – Kostrza: Wekom II Sp. z o.o., 4, 5 Kostrza: Skalimex – Borów S.A., Piramida Sp. z o.o. PPHU, 6 – Rogoźnica closed quarry in Gross-Rosen, 7 – Żółkiewka: Kopalnia Granitu Żółkiewka IV, 8 – Rogoźnica: Kopalnia Granitu Rogoźnica II, 9 – Goczałków – Gilde Sp. z o.o., 10 – Strzegom – Granit Strzegom S.A., 11, 12 – Grabina – Euro Granit sp. z o.o., Grabinex Sp. z o.o., 13 – Strzegom – Kopalnia Granitu Barcz I, 14 – Graniczna – Granit Wiatrak Sp. z o.o. – Graniczna III

stałych w górnych partiach profilu skalnego granitów okolic Strzegomia oraz ich właściwości hydrogeologicznych, w tym filtracyjnych takich jak: porowatość, przepuszczalność i odsączalność.

1. Zarys budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych

Granity strzegomskie występują na przedpolu Sudetów Środkowych stanowiąc zachodni fragment masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka, rozciągającego się prawie równolegle do sudeckiego uskoku brzeżnego pomiędzy Jaworem i Męcinką na zachodzie a Strzeblowem i Wirkami na wschodzie. Wychodnie tych skał, rozciągające się na długości około 50 km w kierunku WNW-ESE, osiągają maksymalną szerokość 12 km (Puziewicz 1990). Granit ten w wielu miejscach tworzy elewacje morfologiczne w postaci Wzgórz Strzegomskich, osiągających wysokości około 300 m n.p.m. W niektórych miejscach poprzębijane są żyłami neogeńskich bazaltów.

Masyw granitoidowy Strzegom-Sobótka składa się z kilku małych plutonów o zróżnicowanym składzie mineralogicznym: od granitów hornblendowo-biotytowych, poprzez granity biotytowe i dwuływczykowe do granodiorytów biotytowych (Domańska-Siuda 2007; Mazur i in. 2007; Majerowicz 1972; Puziewicz 1990). Dominują trzy jego odmiany: biotytowy granodioryt strzeblowski, dwuływczykowy (monzonitowy z przejściami do alkalicznego) granit wierzbicki i biotytowy, monzonitowy granit strzegomski (Majerowicz 1972). Reprezentowane są one głównie przez odmiany średnioziarniste, często także gruboziarniste i na ogół nierównoziarniste (Kural 1982). Granity strzegomskie są odmianą najbardziej zhomogenizowaną pod względem chemicznym i mineralnym (Majerowicz 1972). W rejonie miejscowości Żółkiewka występują także partie wyraźnie porfirowate. Niewielki obszar w okolicach miejscowości Zimnik zajmują granity biotytowe drobnoziarniste, zwane „granitami zimnickimi” (Kural 1982). W okolicach Strzegomia w obrębie granitów biotytowych średnioziarnistych występują lokalne produkty dyferencjacji lub procesów późno- i pomagmowych w postaci wtrąceń aplitów (Kural 1982). W obrębie granitów występują także żyły kwarcowe, najczęściej o niewielkich rozmiarach i o przebiegu NW-SE, oraz zróżnicowane typy pegmatytów (Janeczek 2007).

Wiek granitów strzegomskich określono metodą K-Ar na 266 mln lat, co wskazuje na ich powstanie w dolnym permie (Depciuch 1971). Ich osłonę tworzą głównie łupki metamorficzne wieku proterozoicznego lub staropaleozoicznego (Kural 1982).

Granity strzegomskie cechują się dobrymi parametrami jakościowymi. Ich podstawowe właściwości fizyczne i techniczne, określone dla wybranych trzech rejonów występowania (kamieniołomy w Borowie, Granicznej i Strzegomiu), są do siebie zbliżone. Ciężar właściwy zmienia się od około 2,60 do 2,67 G/cm³, a porowatość od około 1,4 do 1,9%. Dla porównania porowatość otwarta piaskowców karpaccyckich wynosi od 2,9% (piaskowiec Krośnieński Górka-Mucharz) do 12,8% (piaskowiec Ciężkowicki Ostrusza) (Rembiś, Smoleńska 2010). Wynika z tego, że porowatość granitów strzegomskich jest niska. Najniższą nasiąkliwością

(0,20%) i jednocześnie największym rozrzutem wartości tego parametru, w przedziale od 0,20 do 0,56%, cechują się niektóre odmiany granitu monzonitowego Strzegomia (Majerowicz 1979; Kozłowski 1986; Orzeczenie... 2001a, b, 2005, 2006). Niemalże taką samą nasiąkliwością charakteryzują się różne odmiany teksturalne bazaltoidów ze złoża Targowica (Rembiś 2011). Omawiana właściwość fizyczno-mechaniczna tych skał wynosi od 0,18% (odmiana afanitowa) do 0,55% (odmiana porfirowo-gruzłowa). Granity strzegomskie charakteryzują się również najwyższą wytrzymałością na ściskanie w stanie powietrzno-suchym (140 MPa). Po nasyceniu wodą parametr ten może osiągać wyższe wartości. W przypadku granitu z Borowa zmienia się od 119 MPa w stanie powietrzno-suchym do 146 MPa po nasyceniu wodą. Ścieralność granitów strzegomskich na tarczy Böhme kształtuje się od 0,15 do 0,20 cm, natomiast w bębnie Devala osiąga wartości od 3,5 do 5,7% (Majerowicz 1979; Kozłowski 1986; Orzeczenie... 2001a, b, 2005, 2006).

Kenozoiczne utwory pokrywowe reprezentowane są głównie przez osady czwartorzędowe o różnej genezie i miąższości oraz paleogeneńsko-neogeneńskie gliny, ily i mułki z wkładkami węgla brunatnego. Utwory czwartorzędowe, pochodzenia lodowcowego, wodnolodowcowego, rzeczno, deluwialnego, eolicznego i fitogenicznego osiągają miąższości dochodzące maksymalnie do ponad 40 m (Kural 1982).

Pokrywy zwietrzelinowe skał krystalicznych, będące produktem ich dezintegracji mechanicznej lub chemicznej, tworzyły się również w kenozoiku. W paleogenie i neogenie tworzyły się w warunkach klimatu ciepłego i wilgotnego pokrywy kaolinowe, występujące w obrzeżeniu masywu strzegomskiego. Zwietrzeliny ziarniste są typowe dla klimatu umiarkowanego (Jahn i in. 2000), powstawały więc głównie w czwartorzędzie, w okresach interglacjalnych lub pod koniec neogenu (Jahn 1965; Borkowska, Czerwiński 1973).

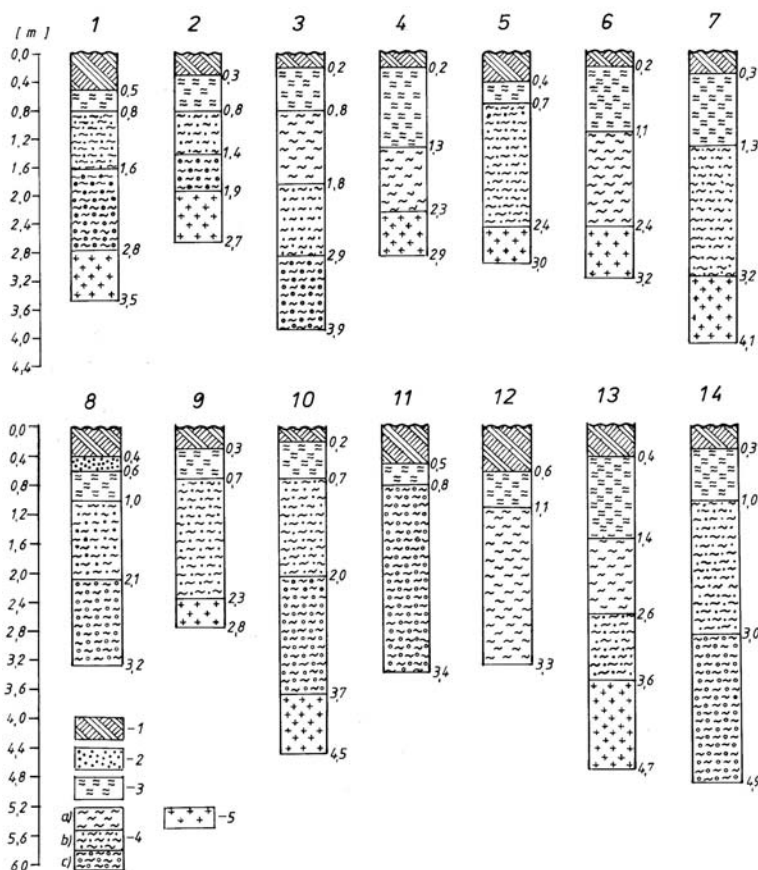
Procesy wietrzenia skał magmowych powodują powstanie nowych minerałów. W profilach zwietrzelinowych zróżnicowanie pionowe wietrzenia zależy od podatności skały na działanie procesów fizykochemicznych, zmieniających się z głębokością. Głównymi minerałami budującymi zwietrzeliny granitów strzegomskich w rejonie Borowa są: kwarc, kaolinit i mika. Kwarc stanowi 20–60%, kaolinit 20–70%, natomiast mika 5–30% składu mineralnego (Sikora, Stoch 1972).

W obszarze Wzgórz Strzegomskich występują dwa piętra wodonośne: czwartorzędowe w części wschodniej oraz paleozoiczne związane z wystąpieniami granitów (Wojtkowiak 1997). Wody podziemne piętra czwartorzędowego występują głównie w piaskach i żwirach wodnolodowcowych, tworząc najczęściej jedną warstwę wodonośną na głębokości od około 1 do 18 m (Wojtkowiak 1997). Miąższość warstwy waha się od 2 do prawie 15 m, a współczynnik filtracji zamyka się w przedziale 3,8–59,3 m/d.

Wody w utworach zwietrzelinowych i szczelinach granitu występują na głębokościach do 5 m, sporadycznie 5–15 m (Wojtkowiak 1997). Charakteryzują się one głównie zwierciadłem swobodnym, lecz ujmowane głębszymi otworami wody szczelinowe są pod ciśnieniem. Współczynnik filtracji ma szeroki zakres od 0,01 do 5 m/d, średnio wynosi 1 m/d. Są to wody lekko kwaśne o pH około 6, typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$ (Wojtkowiak 1997).

2. Charakterystyka litologiczna profili zwietrzelinowych

Górne partie granitów strzegomskich wykazują zróżnicowany stopień spękania i wykształcenia zwietrzelin. W większości obserwowanych odsłonień występują, podobnie jak w krystaliniku sudeckim (Marszałek 1996, 2007), dwa podstawowe rodzaje pokryw: zwietrzeliny ziarniste zalegające *in situ* na skale macierzystej oraz przykrywające je zwietrzeliny gliniaste (rys. 2). Te ostatnie, ze względu na znaczną niekiedy ilość frakcji pyłastej i ilastej, mają charakter stokowych glin zwietrzelinowych. Stwierdzano je we wszystkich stanowiskach badawczych. Całość profilu zamyka warstwa gleby. Zwietrzelina ziarnista odpowiada nieprzemieszczonemu na stoku saprolitowi, a górna przemieszczonym wskutek soliflukcji, deluwalnym utworom stokowym.



Rys. 2. Wykształcenie profili zwietrzelinowych w wybranych punktach badawczych (numeracja profili zgodna z rys. 1)

1 – gleba, 2 – piasek, 3 – zwietrzelina gliniasta, 4 – zwietrzelina ziarnista, 5 – granit

Fig. 2. Lithology of weathering profiles at selected points (profile numbers consistent with Fig. 1)

1 – soil, 2 – sand, 3 – slope clayey deposits, 4 – grus saprolite, 5 – granite

Miąższości zwietrzelin są zróżnicowane i wahają się od około 2 do prawie 5 metrów. Występujące w górnej partii profilu zwietrzelin gliniaste zalegają do głębokości 1,6 m. Obserwuje się nieznaczny wzrost miąższości utworów pokrywowych granitów strzegomskich z zachodu w kierunku wschodnim. Najniższe miąższości, w granicach 2,0–2,5 m, posiadały pokrywy zwietrzelinowe w rejonie m. Borów i Goczałków (punkty 2, 4 i 9), natomiast w kamieniołomie w Granicznej stwierdzono najwyższą miąższość dochodzącą do 4,9 m (punkt 14; rys. 1, 2). Stwierdzone miąższości pokryw zwietrzelinowych są niskie. Wartości te są bardziej zbliżone do miąższości pokryw sudeckich, rzadko przekraczających 5 metrów, niż pokryw na bloku przedsudeckim, gdzie osiągają nawet 123 m (Jahn i in. 2000). W obrzeżeniu Wzgórz Strzegomskich znane są miąższości zwietrzelin dochodzące do 71 m (Kural 1979).

W profilach zwietrzelinowych warstwa gleby ma miąższość od 0,2 do 0,5 metra. Zalegająca poniżej zwietrzelina gliniasta ma zróżnicowaną miąższość. Minimalna jej grubość wynosi 0,3 m (w kamieniołomie w północnej części Borowa oraz w Grabinie), a maksymalna 1,1 metra (w kamieniołomie w południowej części Borowa). Dużo większą miąższością odznacza się zwietrzelina ziarnista. Maksymalna miąższość tych utworów wynosi 3,9 m. Zwietrzeliny te charakteryzują się zmienną zawartością frakcji drobnej, kamienistej i żwirowej.

3. Opróbowanie i metodyka badań

W trakcie prac polowych wytypowano w obszarze wychodni granitów strzegomskich 14 stanowisk badawczych, w których opisano profile zwietrzelinowe tych skał oraz pobrano próby zwietrzelin o różnym stopniu wykształcenia (rys. 1). Dla dwóch podstawowych typów zwietrzelin (ziarnistej i gliniastej) (PN-EN ISO 14688-2, 2006) określono w warunkach laboratoryjnych ich skład granulometryczny metodą sitową (PKN-CEN ISO/TS 17892-4, 2009), porowatość metodą piknometru, współczynnik filtracji za pomocą przepuszczalnościomierza laboratoryjnego typu ICW firmy Eijkelkamp oraz współczynnik odsączalności metodą wysokich kolumn Kinga (Pazdro, Kozerski 1990). Ilość oznaczeń dla poszczególnych stanowisk była zróżnicowana.

Do wykonania analizy granulometrycznej pobrano 35 prób skał, w tym 21 prób zwietrzeliny ziarnistej i 14 prób zwietrzeliny gliniastej.

W warunkach laboratoryjnych oznaczono współczynnik porowatości definiowany jako stosunek objętości przestrzeni porowej do całkowitej objętości próbki skały (Dowgiałło i in., red. 2002). Współczynnik porowatości został oznaczony metodą piknometru dla 21 prób zwietrzeliny ziarnistej i 14 prób zwietrzeliny gliniastej.

Bezpośrednio w terenie w 10 stanowiskach badawczych wykonano pomiary przepuszczalności utworów przypowierzchniowych metodą Porscheta, polegającą na pomiarze prędkości infiltracji wody w wykonanym wkopie o głębokości kilkudziesięciu centymetrów (Pleczyński 1981). Efektem pomiarów są wartości współczynnika przepuszczalności pionowej.

W warunkach laboratoryjnych powszechnie wykonywany jest pomiar współczynnika filtracji za pomocą przepuszczalnościomierza laboratoryjnego firmy Eijkelkamp (metoda Giryńskiego; Wąsik 2003). Pomiar polega na umieszczeniu w metalowym pierścieniu próbki gruntu i całkowitym nasyceniu jej wodą w przyrządzie oraz na ustaleniu różnicy ciśnienia hydrostatycznego, która wymusza przepływ wody przez próbkę. Oznaczenia współczynnika filtracji wykonano tą metodą dla 12 prób zwietrzliny gliniastej.

Do określenia współczynnika odsączalności grawitacyjnej μ definiowanego jako stosunek objętości odsączonej wody ze skały do objętości skały (Dowgiałło i in., red. 2002) w warunkach laboratoryjnych wykorzystano metodę wysokich kolumn Kinga, w której zastosowano cylindry o wysokości około 60 cm i średnicy 10 cm. Odsączalność została wyznaczona dla 5 prób zwietrzliny ziarnistej. Cylindry napełniono próbkami zwietrzelin zagęszczając je do warunków zbliżonych do naturalnych. Od dołu doprowadzono wodę do całkowitego nasycenia gruntu i pomierzono objętość grawitacyjnie odsączonej wody. Iloraz tej objętości do objętości skały daje wynik odsączalności μ w procentach objętościowych lub w ułamku dziesiętnym (Pazdro, Kozerski 1990).

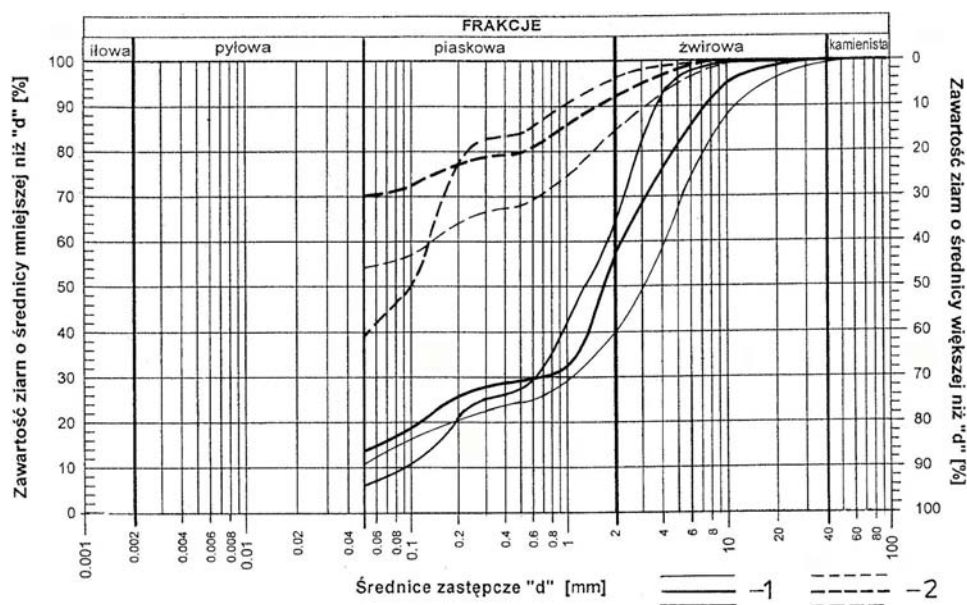
Wyniki prac terenowych i laboratoryjnych posłużyły do charakterystyki właściwości zbiornikowych zwietrzelin granitu.

4. Wyniki badań

Analiza granulometryczna prób zwietrzelin pobranych z 14 odsłoneń (rys. 1, 2) potwierdziła zróżnicowanie frakcjonalne dwóch wydzielonych rodzajów zwietrzelin granitowych (rys. 3). Zwietrzliny ziarniste, tworzące się w dolnej części profilu posiadają w swoim składzie znaczny udział (najczęściej 30–60%) frakcji żwirowej i kamienistej. Zawartość frakcji drobnej (poniżej 0,063 mm) jest zmienna, od 2–14% w części dolnej profilu wietrzeliowego do nawet 40% w górnych partiach, już na granicy z wyżej zalegającą zwietrzeliną gliniastą. Gliniaste utwory stokowe leżące nad warstwą zwietrzelin ziarnistych zawierają w większości tylko do 10% frakcji żwirowej i mają bardzo dużą zawartość frakcji drobnej, dochodzącą nawet do 70%. Pozwoliło to na zaklasyfikowanie ich jako zwietrzelin gliniastych lub nawet glin zwietrzelinowych (rys. 3).

Oznaczenia współczynnika porowatości wykonane zostały dla obu rodzajów zwietrzelin, przy czym zwietrzeliny ziarniste podzielono dodatkowo na dwie grupy: górną, leżącą bezpośrednio pod pokrywą gliniastą i dolną – zalegającą na spękanym granicie. Wartości porowatości zwietrzelin gliniastych są niższe niż zwietrzelin ziarnistych i mieszczą się w granicach 0,17–0,35 (średnio 0,26). Górna część profilu zwietrzelin ziarnistych cechuje się porowatością w przedziale od 0,3 do 0,44 (średnia z 13 pomiarów wynosi 0,38). W dolnej partii wzrasta zawartość frakcji grubszej, a spada udział najdrobniejszych ziarn, co wpływa na wyższe wartości współczynnika porowatości w granicach 0,37–0,46 (średnio 0,42).

O przepuszczalności pokryw zwietrzelinowych decyduje ich skład granulometryczny oraz ich stopień zwięzłości i tekstura (Tomaszewski 1979). Procesy glebowe oraz obecność



Rys. 3. Wykresy uziarnienia wybranych typów zwietrzelin
1 – zwietrzelina ziarnista, 2 – zwietrzelina gliniasta

Fig. 3. Grain-size distribution curves of selected weathered residuals types
1 – grus saprolite, 2 – slope clayey deposits

roślinności mogą wpływać na wzrost przepuszczalności zwietrzelin w strefie przypowierzchniowej, a duże zróżnicowanie frakcyjne na ich parametry filtracyjne. Najwyższą przepuszczalnością charakteryzują się rumowiska skalne (nie występujące w analizowanym obszarze) i rumosze z dużą zawartością frakcji kamienistej i żwirowej, mniejszą zwietrzliny piaszczysto-żwirowe i piaszczyste, a najniższą zwietrzliny gliniaste (Tomaszewski 1979). Przepuszczalność pokryw zwietrzelinowych zmienia się w profilu pionowym wraz z głębokością.

Największą wiarygodnością cechują się wyniki pomiarów uzyskane metodami polowymi, dlatego do określenia przepuszczalności zwietrzelin granitów strzegomskich w strefie przypowierzchniowej, w 10 wybranych stanowiskach, zastosowano metodę Porscheta (Pleczyński 1981). Uzyskano stosunkowo niskie wartości współczynnika przepuszczalności pionowej k_p , od 0,23 do 6,19 m/d (średnio 1,5 m/d), typowe dla występujących w górnych partiach profilu pokryw zwietrzelinowych o zmiennej zawartości frakcji drobnej (pyłastej i ilastej) oraz piaskowej. Z rozkładu przestrzennego przepuszczalności wynika, że najniższymi wartościami 0,5–1,5 m/d charakteryzują się przypowierzchniowe partie pokryw zwietrzelinowych w części wschodniej badanego obszaru, m.in. utwory występujące w rejonie kamieniołomów: Graniczna, Strzegom, Rogoźnica i Goczałków. W rejonie Kostrzy i Zimnika, leżących w zachodniej części badanego obszaru, wartości przepuszczalności oscylują w granicach od 1,5 do około 6 m/d.

Sposób wykonania oznaczeń przepuszczalności zwietrzelin za pomocą przepuszczalnościomierza laboratoryjnego firmy Eijkelkamp na próbach skalnych o niewielkich rozmiarach i naruszonej strukturze wpłynął na uzyskane wartości współczynnika filtracji k . Dla zwietrzelin ziarnistych uzyskano zdaniem autorów zbyt wysokie wartości, różniące się o rząd wielkości od podawanych w literaturze dla tego typu utworów (m.in. Marszałek 2007). Dlatego zostały one odrzucone, a do dalszej analizy jedynie rezultaty oznaczeń dla zwietrzelin gliniastych. Zbyt wysokie wartości przepuszczalności w przypadku zwietrzelin ziarnistych, charakteryzujących się dużym udziałem frakcji grubszych, mogą się wiązać z trudnościami w odwzorowaniu w pierścieniu aparatu Eijkelkamp warunków upakowania ziarn skalnych zbliżonych do naturalnych.

Dla gliniastych pokryw zwietrzelinowych wykształconych w górnej części profilu uzyskano duży rozrzut wartości k od 0,7 do 71,49 m/d, przy średniej dla 11 prób wynoszącej 12,2 m/d. Nie różnią się one jednak już tak znacznie od wyników uzyskanych dla gliniastych pokryw stokowych granitu karkonoskiego, mieszczących się w przedziale 0,4–27 m/d (Marszałek 2007).

Współczynnik odsączalności grawitacyjnej μ określono tylko dla zwietrzliny ziarnistej dla 5 prób pobranych z różnych stanowisk. Jej wartości wahają się od 0,17 do 0,24, przy średniej 0,21. Najniższe wartości odsączalności mają zwietrzliny występujące w rejonie Strzegomia oraz Kostrzy, natomiast najwyższe stwierdzono w rejonie Granicznej i Borowa.

5. Hydrogeologiczna rola zwietrzelin granitu strzegomskiego

Zróznicowanie frakcjonalne pokryw zwietrzelinowych, zmienna i najczęściej niewielka miąższość oraz ich nierównomierne rozmieszczenie sprawia, że wody podziemne mogą tworzyć w nich odrębne strefy wodonośne. W ujęciu regionalnym uznaje się jednak istnienie w nich nieciągłego poziomu wodonośnego będącego w kontakcie hydraulicznym z głównym, pierwszym od powierzchni terenu, poziomem wodonośnym, występującym w spękany masywie granitowym. Przykrycie zwietrzelin ziarnistych granitu gliniastymi utworami stokowymi, o zmiennej i często znacznie zredukowanej miąższości, oraz płatami glin deluwialnych i zwałowych, powoduje częściową izolację poziomu wodonośnego. Wpływa to korzystnie na ochronę pierwszego poziomu wodonośnego od wpływów zewnętrznych, zmniejszając jego podatność na zanieczyszczenie. Naturalna podatność pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia zależy bowiem od infiltracji efektywnej, parametrów filtracyjnych poziomu wodonośnego i strefy aeracji, polowej pojemności wodnej, wykształcenia strefy aeracji (Herbich i in. 2008).

Właściwości zbiornikowe zwietrzelin granitów strzegomskich są zróżnicowane. Zwietrzeliny gliniaste mają ograniczoną zdolność do gromadzenia i przewodzenia wód w przeciwieństwie do zwietrzelin ziarnistych, które ze względu na swoje właściwości filtracyjne są potencjalnie bardzo dobrym kolektorem wód podziemnych. Nie stanowią one jednak stabilnego kolektora ze względu na ich ograniczone rozmiary (rozprzestrzenienie i miąższość),

TABELA 1

Parametry hydrogeologiczne zwietrzelin granitu strzegomskiego w wybranych profilach

TABLE 1

Hydrogeological parameters of weathered Strzegom granite in the selected profiles

Nr stanowiska	Rodzaj zwietrzliny	Parametry hydrogeologiczne			
		n	k [m/d]	k_p [m/d]	μ
1	zp			4,29	
	zg	0,30	1,74		
	zzg	0,36			
	zzd	0,43			
2	zp			0,80	
	zg	0,28	9,48		
	zzg	0,43			0,24
	zzd	0,46			
3	zp			6,19	
	zg	0,30	23,07		
	zzg	0,38			0,19
	zzd	0,41			
4	zp			0,48	
	zg	0,29			
	zzg	0,42			
5	zg	0,34	7,47		
	zzg	0,44			0,23
6	zp			0,39	
	zg	0,17	1,69		
	zzg	0,34			
7	zg	0,28			
	zzg	0,38			
8	zp			0,29	
	zg	0,24	71,49		
	zzg	0,40			
	zzd	0,45			
9	zp			1,02	
	zg	0,29			
	zzg	0,39			
10	zg	0,30	8,57		
	zzg	0,31			0,17
	zzd	0,37			
11	zp			1,56	
	zg	0,21	0,70		
	zzd	0,44			

TABELA 1

TABLE 1

Nr stanowiska	Rodzaj zwierzeliny	Parametry hydrogeologiczne			
		n	k [m/d]	k_p [m/d]	μ
12	zg	0,31	6,14		
	zzg	0,37			0,23
13	zp			0,75	
	zg	0,28	0,63		
	zzg	0,30			
	zzd	0,41			
14	zp			0,23	
	zg	0,34	3,82		
	zzg	0,41			
	zzd	0,43			

zp – gleba i warstwa przypowierzchniowa zwierzeliny, zg – zwierzelina gliniasta, zz – zwierzelina ziarnista:
g – część górna, d – część dolna

determinowane morfologią stropu spękanego i szczelinowatego granitu. Stanowią one raczej strefą tranzytu wód infiltracyjnych do strefy saturacji. Przepływ odbywa się tu w nienasyconym ośrodku skalnym, co powoduje powstanie nieciągłej powierzchni piezometrycznej. Lokalnie, zalegające na powierzchni bardziej miększe pokrywy glin deluwialnych i płyty glin zwałowych, mogą sprzyjać powstawaniu warunków naporowych dla pierwszego od powierzchni terenu poziomu wód porowo-szczelinowych w spękanym granicie i zwierzelinach ziarnistych.

Zbliżone wartości parametrów filtracyjnych zwierzelin granitów strzegomskich i karkonoskich (Marszałek 1996, 2007) skłaniają do przypuszczenia, że podobne będą również ich parametry migracji zanieczyszczeń. Określona dla występujących w górnych partiach profilu skalnego gliniastych utworów stokowych granitu karkonoskiego prędkość migracji zanieczyszczeń jest niska i wynosi zaledwie 0,6 cm/dobę, czyli 2,19 m/rok (Marszałek 2007). Dla porównania, podobną wartość (2,07 m/rok) uzyskano również dla zwierzelin gliniastych gnejsów sowiogórskich, stosując metodę oceny parametrów migracji zanieczyszczeń z wykorzystaniem jonu chlorkowego (Marszałek i in. 2011). Można więc przyjąć, że prędkość migracji zanieczyszczeń przez przypowierzchniowe partie zwierzelin granitu strzegomskiego będzie bliska wartości 2 m/rok.

W warunkach naturalnych miąższość strefy aeracji jest zmienna (od około 1 do nawet kilkunastu metrów) i uzależniona m.in. od wielkości zasilania opadowego. W rejonie Wzgórz Strzegomskich, gdzie występują liczne kamieniołomy o głębokościach sięgających kilkudziesięciu metrów, naturalny układ hydrodynamiczny został naruszony. Drenaż wód do wyrobisk górniczych powoduje znaczne obniżenie zwierciadła wód pierwszego poziomu wodonośnego i osuszanie strefy aeracji, wykształconej w górnej partii profilu skalnego,

obejmującego strefę zwietrzelin i spękań wietrzeniowych. Wpływa to w istotnym stopniu na formowanie się strumienia wód podziemnych w pokrywie zwietrzelinowej.

Wykorzystując znajomość miąższości m i odsączalności grawitacyjnej μ dokonano próby oceny pojemności wodnej zwietrzelin granitów strzegomskich, rozumianej jako ich zdolność do magazynowania i oddawania wody wolnej (Dowgiało i in., red. 2002). Przyjmując oddzielnie dla obu wydzielonych typów zwietrzelin średnie wartości miąższości i współczynników odsączalności, odpowiednio dla zwietrzelin gliniastych: $m_{sr} = 0,60$ m, $\mu = 0,02$ oraz dla zwietrzelin ziarnistych $m_{sr} = 2,10$ m, $\mu = 0,20$, uzyskano wartości pojemności wodnej od 120 mm do 420 mm. Biorąc jednak pod uwagę łącznie cały profil zwietrzelin wartości te będą znacznie niższe. Przy przeciętnej odsączalności grawitacyjnej równej 0,11 i miąższości strefy wodonośnej osiągającej w warunkach naturalnych około 1 m, wynosić będzie 110 mm. Wartość ta jest zbliżona do wyników uzyskanych dla granitu karkonoskiego w rejonie Jakuszyce, gdzie średnią pojemność zwietrzelin oszacowano na 80 mm (Kryza H., Kryza J. 1983).

Podsumowanie

Zwietrzeliny granitu strzegomskiego tworzą niewielkiej miąższości 2–5 m, warstwę wykazującą w profilu pionowym zróżnicowanie frakcjonalne. W dolnej części występują lepiej przepuszczalne zwietrzeliny ziarniste, zalegające *in situ* na skale macierzystej, a w górnej gliniaste utwory stokowe. Dwudzielność w wykształceniu pokryw zwietrzelinowych odzwierciedla się w zmieniających się z głębokością ich właściwościach zbiornikowych, wynikających z różnych parametrów hydrogeologicznych. Niska przepuszczalność przypowierzchniowych partii pokryw zwietrzelinowych wpływa zarówno na ograniczenie infiltracji wód opadowych do zbiornika wód podziemnych, wykształconego w górnych spękanych partiach granitu strzegomskiego, jak i na zmniejszenie jego podatności na zanieczyszczenia. Pełni więc w stosunku do niego funkcję ochronną. Zwietrzeliny ziarniste, o większej miąższości i wyższych w porównaniu z gliniastymi utworami stokowymi, są bardziej predestynowane do gromadzenia i oddawania wody wolnej. Nie tworzą one jednak odrębnych zbiorników wodonośnych ze względu na ich nieregularne wykształcenie oraz niewielką i zmienną miąższość, determinującą niską pojemność wodną. Zwietrzeliny ziarniste stanowią raczej strefę tranzytu wód infiltracyjnych do strefy saturacji. Przepływ odbywa się tu w nienasyconym ośrodku skalnym, wskutek czego powstaje nieciągła powierzchnia piezometryczna. Wartości parametrów hydrogeologicznych badanych zwietrzelin są zbliżone do wartości uzyskanych dla zwietrzelin granitów karkonoskich. Z tego względu przypuszczalna prędkość migracji zanieczyszczeń przez górne partie zwietrzeliny będzie podobna i zbliżona do wartości 2 m/rok.

LITERATURA

- Borkowska M., Czerwiński J., 1973 – On some mineralogical and textural features of granite regoliths in the Karkonosze Massif. *Studia Geographica* 33.
- Depciuch T., 1971 – Wiek bezwzględny granitoidów strzegomskich określany metodą K-Ar. *Kwart. Geol.*, 15, 4, 863–870.
- Domańska-Siuda J., 2007 – The granitoid Variscan Strzegom-Sobótka massif. In: *Granitoids in Poland*, AM Monograph No. 1, Eds. A. Kozłowski, J. Wiszniewska, Publ. by KNM PAN-WG UW, Warszawa, 179–191.
- Dowgiałło i in., red. 2002 – Dowgiałło J., Kleczkowski A., Macioszczyk T., Różkowski A., red., 2002 – Słownik hydrogeologiczny. PIG Warszawa.
- Dziedzic i in. 1979 – Dziedzic K., Kozłowski S., Majerowicz A., Sawicki L. (red.), 1979 – Surowce mineralne Dolnego Śląska. Ossolineum Wrocław.
- Herbich i in. 2008 – Herbich P., Cwiertniewska Z., Fert M., i inni, 2008 – Wskazania metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1: 50 000 „Pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenia i jakość wód”. PIG Warszawa.
- Jahn A., 1965 – Formy i procesy stokowe w Karkonoszach. *Opera Corcontica* 2.
- Jahn i in. 2000 – Jahn A., Chodak T., Migoń P., August C., 2000 – Utwory zwietrzelinowe Dolnego Śląska. Nowe stanowiska, wiek i znaczenie geomorfologiczne. [W:] *Acta Univ. Wratisl.*, 2238, Stud. Geogr. LXXII, Wyd. Univ. Wrocław, Wrocław.
- Janczek J., 2007 – Intragranitic pegmatites of the Strzegom-Sobótka massif – an overview. In: *Granitoids in Poland*, AM Monograph No. 1, Eds. A. Kozłowski, J. Wiszniewska, Publ. by KNM PAN-WG UW, Warszawa, 191–201.
- Kowalski S., 1987 – Drenaż wody w warunkach laboratoryjnych na przykładzie wybranych utworów kenozoicznych Sudetów i ich przedpola. *Geologia Sudetica* 22, 1/2, 57–61, Ossolineum, Wrocław.
- Kowalski S., 1992 – Czynniki naturalne warunkujące występowanie wód podziemnych w regionie sudeckim. *Prace Geol.-Min.*, 25, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Kozłowski S., 1986 – Surowce skalne Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- Kryza H., Kryza J., 1983 – Hydrogeologiczna rola zwietrzelin granitu na przykładzie zlewni górnej Kamiennej (Karkonosze). *Mat. II Ogólnopolskiego Sympozjum „Współczesne Problemy hydrogeologii regionalnej”*. Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Kural S., 1979 – Geologiczne warunki występowania kaolinów w zachodniej części masywu strzegomskiego. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 313: 9–68.
- Kural S., 1982 – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1:25 000, arkusz Strzegom. Wyd. Geol., Warszawa.
- Kural S., Teisseyre H., 1975 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów w skali 1: 25 000, arkusz Roztoka. Wyd. Geol., Warszawa.
- Kural S., Teisseyre H., 1978 – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów w skali 1: 25 000, arkusz Roztoka. Wyd. Geol., Warszawa.
- Majerowicz A., 1972 – Masyw granitowy Strzegom-Sobótka. *Geologia Sudetica* 6: 7–96.
- Majerowicz A., 1979 – Granitoidy masywu Strzegom-Sobótka. [W:] Dziedzic K., Kozłowski S., Majerowicz A., Sawicki L., 1979. *Surowce mineralne Dolnego Śląska*. Ossolineum Wrocław.
- Marszałek H., 1996 – Hydrogeologia górnej części zlewni Kamiennej w Sudetach Zachodnich. *Prace Geol.-Min.*, 54, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Marszałek H., 2007 – Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej” *Acta Universitatis Wratislaviensis* No 2993, seria: Hydrogeologia. Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, pp. 234.
- Marszałek i in. 2011 – Marszałek H., Chudy K., Wysoki B., 2011 – Zdolność infiltracyjna zwietrzelin gnejsowych masywu Wielkiej Sowy (Sudety Środkowe). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* Nr 445 (2011), s. 383–390, Seria: Hydrogeologia, z. XII/1: *Współczesne Problemy Hydrogeologii*.
- Mazur i in. 2007 – Mazur S., Aleksandrowski P., Turniak K., Awdankiewicz M., 2007 – Geology, tectonic evolution and Late Palaeozoic magmatism of Sudetes – an overview. In: *Granitoids in Poland*, AM Monograph No. 1, Eds. A. Kozłowski, J. Wiszniewska, Publ. by KNM PAN-WG UW, Warszawa, 59–87.

- Orzeczenie o jakości surowca, 2001a – Złoże Borów, Kamieniołom nr 49a w Kostrzy. Mat. Arch. Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej.
- Orzeczenie o jakości surowca, 2001b – Złoże Żbik w Strzegomiu. Mat. Arch. Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej.
- Orzeczenie o jakości surowca, 2005 – Złoże granitu Graniczna II. Mat. Arch. Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej.
- Orzeczenie o jakości surowca, 2006 – Złoże granitu z wyrobiska Żółkiewka – Wiatrak Mat. Arch. Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PKN-CEN ISO/TS 17892-4, 2009, Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego. PKN, Warszawa.
- Pleczyński J., 1981 – Odnawialność zasobów wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- PN-EN ISO 14688-2, 2006, Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania. PKN, Warszawa.
- Puziewicz J., 1990 – Masyw granitowy Strzegom-Sobótka. Aktualny stan badań. Arch. Mineral., 45, 1/2, 135–154, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Rembiś M., 2011 – Mineralno-teksturalna zmienność wybranych skał bazaltowych Dolnego Śląska i jej rola w kształtowaniu fizyczno-mechanicznych właściwości produkowanych kruszyw. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 27, z. 3, s. 29–49.
- Rembiś M., Smoleńska A., 2010 – Odporność wybranych piaskowców karpaccich na krystalizację soli i zmiany ich mikrostruktur. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 26, z. 1, s. 37–59.
- Sikora W., Stoch L., 1972 – Mineral forming processes in weathering crusts of acid magmatic and metamorphic rocks of Lower Silesia. Mineral. Pol., 3, 39–51, Pol. Tow. Geol. Wyd. Geol. Warszawa.
- Tomaszewski J.T., 1979 – Przepuszczalność wodna karkonoskich gruntów. Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich z. 20.
- Wąsik M., 2003 – Zdolność infiltracyjna utworów przypowierzchniowych z zasilanie wód podziemnych. Acta Universitatis Wratislaviensis No 2591, seria: Hydrogeologia. Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, pp. 92.
- Wojtkowiak A., 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Świdnica (798) wraz z objaśnieniami. PIG Warszawa.

**OCENA WYBRANYCH PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH ZWIETRZELIN GRANITU STRZEGOMSKIEGO
(DOLNY ŚLĄSK)**

Słowa kluczowe

Parametry hydrogeologiczne, zwietrzliny, granit strzegomski, Dolny Śląsk

Streszczenie

W artykule przedstawiono wykształcenie litologiczne, miąższości oraz charakterystykę parametrów hydrogeologicznych zwietrzelin granitu strzegomskiego. Wyniki przeprowadzonych badań oprócz aspektu poznawczego mają również znaczenie użytkowe, m.in. przy pracach rozpoznawczych przed udostępnieniem kolejnych partii złóż granitów do eksploatacji. Badania parametrów filtracyjnych zwietrzelin przeprowadzono w rejonie kamieniołomów zlokalizowanych w obszarze Wzgórz Strzegomskich.

W profilu zwietrzelin wydzielono dwie ich odmiany różniące się składem granulometrycznym, miąższością i właściwościami filtracyjnymi. W górnej części występują gliniaste pokrywy stokowe o stwierdzonej maksymalnej miąższości 1,6 m, zawierające do 70% frakcji drobnej <0,063 mm. Poniżej występują zwietrzliny ziarniste zawierające 30–60% frakcji żwirowej i kamienistej.

Określone w warunkach polowych wartości współczynnika przepuszczalności pionowej k utworów przypowierzchniowych, odpowiadających w większości górnej, gliniastej warstwie zwietrzelin, są niskie i zawierają się w przedziale od 0,23 do 6,19 m/d (średnio 1,6 m/d). Najniższe wartości k wystąpiły w kamieniołomach w Granicznej, Strzegomiu, Rogoźnicy i Goczałkowie (0,5–1,5 m/d), a najwyższe w rejonie Kostrzy i Zimnika (1,5–6 m/d).

Wartości współczynnika porowatości dla pokryw gliniastych mieszczą się w granicach od 0,17 do 0,35 (średnio 0,28). Wartości współczynnika porowatości dla zwietrzelin ziarnistych są znacznie wyższe. W górnej części profilu wynoszą od 0,3 do 0,45 (średnio 0,38), a w dolnej wahają się od 0,38 do 0,46 (średnio 0,43).

Wartości współczynnika filtracji k od 0,7 do 71,5 m/d (średnio 13,02 m/d), określonego w warunkach laboratoryjnych dla gliniastych pokryw zwietrzelinowych, nie różnią się znacznie od wartości uzyskanych dla gliniastych pokryw stokowych granitu karkonoskiego.

Odsączalność grawitacyjna została wyznaczona jedynie dla zwietrzliny ziarnistej. Wynosi ona od 0,17 do 0,24 (średnio 0,22). Najniższymi wartościami cechują się zwietrzliny w rejonie Strzegomia i Kostrzy, a najwyższymi w rejonie Granicznej i Borowa.

Zwietrzliny ziarniste stanowią strefę tranzytu wód infiltracyjnych do strefy saturacji. Przepływ odbywa się tu w nienasyconym ośrodku skalnym, wskutek czego powstaje nieciągła powierzchnia piezometryczna. Pokrywy zwietrzelin gliniastych mogą tworzyć warunki naporowe dla pierwszego od powierzchni terenu poziomu wód porowo-szczelinowych, które występują w strefie spękanego granitu i w zwietrzelinach ziarnistych. Mogą one stanowić także barierę ochronną przeciw zanieczyszczeniom z terenu.

Wartości parametrów hydrogeologicznych zwietrzelin granitów strzegomskich są podobne do wartości zmierzonych na obszarze granitu karkonoskiego. Można więc przypuszczać, że prędkość migracji zanieczyszczeń będzie podobna (około 2 m/rok).

Na podstawie średnich wartości miąższości i odsączalności zwietrzelin gliniastych i ziarnistych, oceniono pojemność wodną zwietrzelin na około 110 mm.

EVALUATION OF SELECTED HYDROGEOLOGICAL PARAMETERS OF WEATHERED GRANITE IN THE STRZEGOM AREA (LOWER SILESIA)

Key words

Hydrogeological parameters, weathering residuals, Strzegom granite, Lower Silesia

Abstract

This paper presents the characteristics of lithology, thicknesses, and hydrogeological parameters of Strzegom weathered granites. Apart from the cognitive aspect, the study's results also have practical applications, e.g. during reconnaissance work conducted before making successive layers of granite deposits accessible for exploitation. The study of the filtration parameters was carried out in the vicinity of quarries located in the Strzegom Hills area.

The profile was divided into two types of weathering granite varying in granulometric composition, thickness, and filtration properties. In the upper part, clayey slope deposits occur with a maximum thickness of 1.6 m, of which 70% was composed of small fractions of <0.063 mm. Below this section occurs a layer of grus saprolite with a composition of 30–60% gravel and pebble fractions.

The values of vertical permeability coefficients of the sub-surface weathered clayey slope deposits, estimated in the field, are low, ranging from 0.23–6.19 m/d (1.6 m/d on average). The lowest values of k (0.5–1.5 m/d) are found in the slope deposits in the Graniczna, Strzegom, Rogoźnica, and Goczałków quarries, while the highest (1.5–6 m/d) are near Kostrza and Zimnik.

Values of porosity for the clayey cover range from 0.17 to 0.35 (0.28 on average). Porosity of the grus saprolite is higher in the upper part of the profile, having values in the range of 0.30–0.45 (0.38 on average) and in the bottom part between 0.38 and 0.46 (0.43 on average).

Hydraulic conductivity k , which was measured in a laboratory, has a considerable spread of values. Only the values of this parameter for the clayey layer (0.70–71.5 m/d, 13.02 m/d on average) do not differ from the clayey

slope cover of Karkonosze granite. Specific yield (gravitational drainage capacity) was determined only for the grus saprolite and was in the range of 0.17–0.24 (0.22 on average). The lowest values of the storage coefficient are found in weathered granite in the Strzegom and Kostrza area, and the highest in Graniczna and Borów.

The grus saprolite layer constitutes the zone of transit for infiltrating waters to the saturation zone. The flow of water takes place in unsaturated rocks constituting a discontinuous piezometric surface. Clayey, weathered covers can create confined conditions for the first layer of porous-fissure groundwater occurring in the cracked zones of granites and their grus saprolite zones. They can also form an isolating zone protecting groundwater from the transport of pollutants from the surface.

The values of the hydrogeological parameters for weathered Strzegom granites are similar to values obtained in the massif of Karkonosze granite. Thus the contaminant transport velocity will probably be similar (approximately 2 m/year).

The storage capacity of weathered granites was estimated at about 110 mm based on average values of thickness and specific yield of clayey cover and grus saprolite.