

EWA SŁOWIK-OPOKA, ANNA KLAMERUS-IWAN

Badanie zmian nasiąkliwości szkieletu glebowego w wybranych poziomach genetycznych przy zastosowaniu laboratoryjnej metody ścierania na przykładzie piaskowca magurskiego*

Study of absorption changes in soil skeleton at selected genetic horizons using the laboratory method of abrasive wear – Magura sandstone case study

ABSTRACT

Słowik-Opoka E., Klamerus-Iwan A. 2015. Badanie zmian nasiąkliwości szkieletu glebowego w wybranych poziomach genetycznych przy zastosowaniu laboratoryjnej metody ścierania na przykładzie piaskowca magurskiego. Sylwan 159 (6): 452-460.

The paper presents the results of the study of changes in the normal volume of absorption capacity of soil skeletons formed from the Magura sandstone in the Beskid Makowski area, and sampled from different genetic horizons. In the field of hydrology, the key issue in assessing the water storage capacity of the soil cover storage reservoir is the water storage capacity of the skeleton part. In the case of mountain soils, the issue of determining water storage capacity seems to be of importance due to the significant share of skeleton fraction in the soil cover. Moreover, the absorption capacity of the skeleton is related to the fraction volume. Soil test pits were executed in the area of Myślenice Forest District (southern Poland), in the habitat of Carpathian beech species *Dentario glandulosae-Fagetum*, in a stand of fir and spruce *Abieti Piceetum*. The scope of field work included sampling of 6 test profiles. In each profile, samples were taken from three identified genetic horizons. Sieve analysis method was used to determine the total content of skeleton and fine earth, and percentage share of each fraction. For each skeleton fractions, normal absorption capacity and bulk density were found. An important, supplementary part of the study was the isolation of fine-grained and coarse sandstone in each sample. After such processing, the collected material was compared with the material remaining after the successive stages of soil skeleton abrasion (weathering) in an aqueous medium, according to methodological assumptions. A device was used to perform this stage of the study. Changes in water storage capacity were mainly considered taking into account the fraction size and the location depth in a soil profile (without specifying the thickness changes). Differences were found between the absorption capacity of skeleton occurring naturally in the soil, and water absorption capacity of skeleton devoid of the outer layer of detritus as a result of the abrasion method. Water storage capacity values were decreasing after each successive step of the experimental run, along with increasing fraction size and the depth of their position in the profile. Preliminary results showed that the changes of absorption capacity are more strongly correlated with size of the fraction than with position in a genetic horizon.

*Projekt finansowany w ramach Programu Polsko-Norweska Współpraca Badawcza. Praca została zaprezentowana podczas II Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Leśnictwo w górach i regionach przemysłowych” zorganizowanej w dniach 22-23 września 2014 roku w 65. rocznicę powołania Wydziału Leśnego w Krakowie.

KEY WORDS

absorbability, abrasion, sandstones, forest habitat, soil properties, mountain soils, water resources

ADDRESSES

Ewa Słowik-Opoka – e-mail: e.opoka@ur.krakow.pl

Anna Klamerus-Iwan – e-mail: a.klamerus-iwan@ur.krakow.pl

Zakład Inżynierii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

Gleby obszarów górskich bez względu na położenie geograficzne wykazują cechy wspólne, odróżniające je od gleb obszarów nizinnych i równinnych [Birkeland 1999; Skiba 2006]. Rola procesów morfogenetycznych w kształtowaniu i funkcjonowaniu pokrywy glebowej w górach jest najbardziej widoczna powyżej górnej granicy lasu, gdzie występują najintensywniejsze i często gwałtowne procesy geomorfologiczne [Kotarba i in. 1987]. W pedogenezie obszarów górskich dużą rolę odgrywają również warunki klimatyczne i powiązana z nimi szata roślinna. Czynniki te warunkują charakterystyczną dla gór akumulację materii organicznej i stopień jej humifikacji [Komornicki, Skiba 1996; Drewnik 2006].

Górskie gleby leśne cechuje jednak duża zmienność w zakresie potencjalnej pojemności wodnej. Wynika to głównie z udziału frakcji szkieletowej i jej nasiąkliwości [Brożek, Chmielewski 1986; Brożek, Figura 1988a; Maciaszek, Furmański 1990]. Obliczanie zapasu wody w bezszkieletowych glebach leśnych jest zagadnieniem opracowanym w szerokim zakresie [Kucza, Suliński 1987; Rykała 2000; Kucza 2005a, b], brakuje jednak prac dotyczących obliczania zapasu wody w szkieletowych glebach leśnych. Zagadnienie to jest bardziej złożone, wymagające przeprowadzania badań związanych zarówno z udziałem szkieletu w profilu glebowym, jak i właściwościami wodnymi odłamków skalnych tworzących ten szkielet. Ponadto, oprócz zbadania ilości wody zawartej w odłamkach skalnych, istotne jest określenie jej dostępności, głównie dla systemów korzeniowych drzew. Przewidywanie skutków zmian walorów hydrologicznych gleb jest bardzo istotne, szczególnie dla zachowania siedlisk leśnych w terenach górskich, gdzie ich retencyjna rola jest szczególnie istotna.

Procesy glebotwórcze kształtujące powierzchnię Ziemi są silnie uzależnione od m.in. podatności skały macierzystej na wietrzenie (fizyczne, chemiczne, organiczne) oraz tempa erozji wodnej. Zwiertzeniu skał towarzyszą zmiany składu mechanicznego i chemicznego szkieletu oraz jego właściwości w warstwie zwietrzałej [Allen 2000; Trenhaile 2001; Lewin, Brewer 2002; Labus 2008]. Natężenie procesu wietrzenia jest silnie uzależnione od dostępności wody, która jest bardzo dobrym rozpuszczalnikiem. W wyniku procesów glebotwórczych, rozumianych jako całokształt zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w powierzchniowej warstwie skorupy ziemskiej [Puchalski, Prusinkiewicz 1975], powstaje siedlisko – naturalny i zasadniczy czynnik produkcji roślinnej i leśnej. Miąższość regolitu, tj. substratu, z którego tworzą się gleby, oraz jego warstwowe zróżnicowanie powodowane różnym stopniem zaawansowania procesów wietrzenia są trudne do określenia bezpośrednio, na podstawie zmian wyglądu zewnętrznego [Konecka-Betlej i in. 1994]. Wietrzenie oraz erozja występujące w warunkach naturalnych są procesami niezwykle złożonymi i długotrwałymi. W niniejszej pracy, w celu uzyskania powtarzalnych, dających się ze sobą porównywać wyników badań, do określenia zmian właściwości fizycznych szkieletu wykorzystano autorską metodykę badań ujętą w zgłoszeniu patentowym [Kucza i in. 2012a].

Material i metody

Materiał badawczy w postaci odkrywek glebowych został pobrany z terenu Nadleśnictwa Myslenice w Beskidzie Makowskim. Budowa geologiczna i tektonika podłoża skalnego w tym rejonie jest wynikiem długotrwałych procesów geologicznych, takich jak sedymentacja i fałdowanie na terenie Karpat Zewnętrznych. Na badanym terenie dominują kredowe i trzeciorzędowe utwory fliszu karpackiego oraz czwartorzędowe gliny zwietrzelinowe osadowe, aluwialne i koluwalne. Zakres prac terenowych obejmował wykonanie 6 profili badawczych, z których pobrano próbki z 3 wytypowanych poziomów genetycznych, tj. A, IB i IIB. Profile badawcze wykonano na terenie dwóch leśnictw: Trzebusia (LT) (nr profili: 1, 2 i 3) oraz Łętownia (LŁ) (nr profili: 1, 2 i 3). Badaniom ścieralności poddano szkielec uzyskany z odkrywek zbudowanych z gleby brunatnej właściwej wytworzonej z piaskowców magurskich na siedlisku buczyny karpackiej – *Dentario glandulosae-Fagetum* (LT) oraz z gleby brunatnej kwaśnej w drzewostanie jodłowo-świerkowym – *Abieti-Piceetum* (LŁ), również na siedlisku buczyny karpackiej. Próbkę glebową pobierano w postaci bryły o zbliżonej objętości, z powierzchni o wymiarach 25×25 cm. Z poziomu genetycznego A pobrano bryłę o wymiarach 25×25×5 cm, a z poziomów IB i IIB bryły o wymiarach 25×25×25 cm. Pobrany materiał przewieziono w szczelnie zamkniętych pojemnikach do laboratorium i zważono w stanie naturalnym (świeżym). Próbki w całości zostały wysuszone w temperaturze 105°C i zważone. Następnie, po usunięciu części ziemistych, wyodrębniono cząstki szkieletu, które oczyszczono pędzelkiem, wysuszone do masy stałej i ponownie zważono. Próbki szkieletu rozfrakcjonowano według podziału ujętego w Klasyfikacji... [2008]: $d=2\div 5$, $5\div 20$, $20\div 75$ i $75\div 100$ mm. Metodą przesiewu [PN-EN 933-1:2012] określono udział procentowy poszczególnych frakcji.

Badanie ścieralności wykonano według założeń metodycznych będących przedmiotem zgłoszenia patentowego [Kucza i in. 2012a], bez określania zmian miąższości szkieletu. Do badań wykorzystano specjalny aparat, którego podstawowym elementem jest walec wykonany ze stali nierdzewnej [Kucza i in. 2012b]. Wewnątrz walca umieszczone są prowadnice, zadaniem których jest wymuszanie zmian wzajemnego położenia ścieranych cząstek szkieletu. Do badań przyjęto 30-minutowy czas trwania jednego cyklu (etapu) ścierania, przy założonej prędkości obrotów walca wynoszącej 11 obr./min.

Przygotowane do badania próbki wkładano do aparatu, zalewano wodą redestylowaną i poddawano badaniu ścieralności. Każda z próbek w trakcie przebiegu doświadczenia pozbawiana była warstwy najbardziej zwietrzalej. Po zakończeniu badania ścieralności częściowo starte cząstki szkieletu delikatnie opłukiwano wodą, wyjmowano z aparatu i osuszano ręcznikiem papierowym oraz zważono. W dalszej kolejności oznaczano gęstość objętościową, suszono do masy stałej i ponownie zważono. Wysuszone próbki poddawano kolejnemu badaniu nasiąkliwości, następnie oznaczano gęstość objętościową i ponownie poddawano badaniu ścieralności. Czynności te powtarzano kilkakrotnie. Próbki materiału skalnego poddawane były oznaczeniom właściwości fizycznych, tj. nasiąkliwości oraz gęstości według określonych norm [PN-85 B-04101; PN-EN 1097-6: 2013-11]. Wyniki tych oznaczeń porównywano z wynikami oznaczeń wykonanych dla materiału „wejściowego”, dzięki czemu możliwe było uchwycenie zmian nasiąkliwości względem ścieralności po każdym kolejnym etapie ścierania materiału skalnego. Pozyskaną w wyniku badania zwietrzelinę suszono, zważono i określano procentowy udział w całości próbki w odniesieniu do masy „wejściowej”, tj. na danym etapie badania ścieralności. Z uwagi na obszerny zakres badań wyniki analiz zmian miąższości (szkieletu) oraz badań zwietrzeliny pod względem mineralogicznym, składu pierwiastków i zawartości metali ciężkich zostaną przedstawione w odrębnej publikacji.

Badanie ścieralności przeprowadzono w środowisku wodnym z uwagi na fakt, że woda z jednej strony zmniejsza tarcie między ocierającymi się o siebie odłamkami szkieletu, jednakże w przypadku piaskowców (oraz innych skał osadowych) wypłukuje cząstki lepiszcza (wapnistego, krzemionkowego i in.). Ścieralność jako cechę mechaniczną obliczono według poniższej formuły [Klamerus-Iwan 2004]:

$$S = \frac{M_s - M_s'}{M_s} \times 100$$

gdzie:

S – ścieralność szkieletu o średnicy d [% masy początkowej],

M_s – masa próbki szkieletu przed badaniem ścieralności [g],

M_s' – masa próbki szkieletu po badaniu ścieralności [g].

W programie Statistica wykonano analizę korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi. Dla próbek pobranych z terenu leśnictwa Trzebnia zbadano korelację nasiąkliwości względem ścieralności na tle takich parametrów jak etap badania ścieralności, głębokość położenia genetycznego w profilu oraz wielkość frakcji szkieletu i jego różnoziarnistość. W przypadku próbek szkieletu ($d=25-31,5$ mm) pobranych z leśnictwa Łętownia, które charakteryzowały się wyraźnym zróżnicowaniem konsystencji ziaren, wyselekcjonowano dwa rodzaje piaskowca, tj. drobno- i gruboziarnistego. Podjęto próbę określenia zmienności analizowanych cech fizyko-mechanicznych. W każdym z przypadków uzyskano wysokie współczynniki korelacji na założonym poziomie istotności ($p=0,05$).

Wyniki i dyskusja

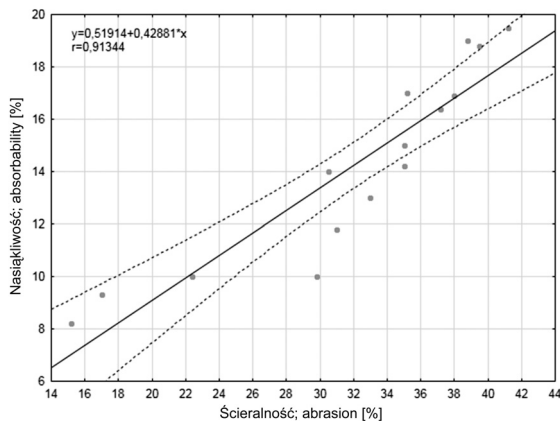
Procentowy udział poszczególnych frakcji w trzech poziomach genetycznych profili nr 1, 2 oraz 3 leśnictwa Trzebnia (LT) jest porównywalny. Podobnie jest w przypadku próbek z profili nr 1, 2, 3 (LŁ), z tą jednakże różnicą, że zaznacza się większy o około 10% udział frakcji $d>5$ mm. W oparciu o badania składu uziarnienia pobranych odkrywek stwierdzono, że próbki pobrane w obrębie tego samego leśnictwa wykazują duże podobieństwo petrograficzne. Można zaobserwować również pewną zbieżność między udziałem wielkości danej frakcji szkieletu a głębokością jego położenia w profilu glebowym – im głębszy poziom genetyczny, tym większy udział większych cząstek.

Wszystkie z wyodrębnionych frakcji szkieletu w badanych profilach są zbudowane z piaskowca, w którym w próbkach pobranych z terenu (LŁ) stwierdzono występowanie pojedynczych ziaren kwarcu. W profilach w obrębie badanej frakcji dokonano dodatkowego podziału na materiał drobno- i gruboziarnisty. Udział ziaren kwarcu w profilach 1, 2 i 3 (LŁ) oraz wyraźna gruboziarnistość materiału skalnego wskazują na podobieństwo do innego piaskowca fliszu karpackiego, mianowicie do istebniańskiego. Brożek i Chmielewski [1986] podają, że udział ziaren kwarcu w całej frakcji może stanowić od 48 do 70%. Kwarc (kwarzec) jest minerałem nieulegającym wietrzeniu w takim stopniu jak piaskowiec. W przypadku piaskowców drobnoziarnistych skała, wietrzejąc, przestaje być szkieletem i wchodzi w skład części ziemistych. W związku z powyższym do prognozowania procesów glebotwórczych i określania zmian właściwości fizyko-mechanicznych wskazana byłaby dodatkowo analiza składu mineralogicznego. Niewielkie zróżnicowanie ilościowe frakcji szkieletu w przypadku każdego z trzech badanych profili (zarówno w LT, jak i LŁ) wynika z podobnego podłoża skalnego. Jeśli chodzi o właściwości fizyczne szkieletu, można również dostrzec pewne podobieństwo, tj. gęstość właściwa kształtuje się w zakresie od 2,56 do 2,90 g/cm³, a gęstość objętościowa od 1,90 do 2,50 g/cm³.

Prowadzenie symulacji procesu ścierania w środowisku wodnym było podyktowane m.in. faktem, że okresowe zmiany wilgotności gruntu (wynikające zarówno z warunków klimatycznych, jak i związane z transpiracją szaty roślinnej) wywołują zmiany zapasu wody w częściach szkieletowych. Nowatorskim podejściem w niniejszej pracy było podjęcie próby weryfikacji, jak uzyskane zmiany właściwości fizyczno-mechanicznych szkieletu zmieniają się w wyniku badania ścieralności w warunkach kontrolowanych.

Wykonane analizy zależności zmian nasiąkliwości względem ścieralności rozpatrywano w 3 płaszczyznach: 1) jak zmieniają się cechy fizyczno-mechaniczne wraz ze zmianą wielkości frakcji szkieletu, 2) jak zmieniają się te cechy wraz z położeniem szkieletu w profilu genetycznym, 3) jak kształtuje się zmienność tych cech po ścieraniu kolejnych warstw dla jednej frakcji szkieletu piaskowca (drobno- i gruboziarnistego) oraz jego położenia w profilu. Stwierdzono, że po każdym etapie badania ścieralności właściwości fizyczne i mechaniczne badanych cząstek szkieletu ulegają zmianie. Dopasowane wykresy i równania regresji wskazują na istotne zależności. Na rycinie 1 zilustrowano zależność nasiąkliwości względem ścieralności próbek szkieletu z profili nr 1, 2 oraz 3 (LT) po kolejnych przebiegach ścierania materiału skalnego. Największe zmiany nasiąkliwości względem ścieralności zaobserwowano po pierwszym etapie badania ścieralności. Na podstawie danych uzyskano równania regresji liniowej – etap 1: $y=0,51914+0,42881x$; etap 2: $y=2,0617+0,99985x$; etap 3: $y=3,3673+1,0466x$. W ramach pracy zbadano zmiany właściwości fizycznych i mechanicznych cząstek skalnych określonych frakcji z leśnictwa Trzebnia w trzech poziomach genetycznych. Wykres zależności nasiąkliwości względem ścieralności na tle poziomów genetycznych dla poziomu A został zilustrowany na rycinie 2. W przypadku pozostałych dwóch poziomów genetycznych uzyskano równania regresji – poziom IB: $y=12,332+0,05193x$ ($r=0,5042$); poziom IIB: $y=10,692+0,05345x$ ($r=0,567$). Analizując wyniki badań zmian nasiąkliwości względem ścieralności zachodzących pomiędzy wszystkimi z badanych frakcji szkieletu (LT), stwierdzono silną korelację dodatnią ($r=0,95$). Wykresy zależności opisanych parametrów dla badanych frakcji szkieletu (najmniejszej i największej) ilustruje rycina 3. Zależności zachodzące pomiędzy frakcjami „pośrednimi”, tj. z zakresu $d=5-20$ mm oraz $d=20-75$ mm, zostały opisane równaniami, odpowiednio: $y=13,157+0,04831x$ oraz $y=10,354+0,04249x$. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zmiany nasiąkliwości względem ścieralności są silniej skorelowane z rozmiarem frakcji (średni współczynnik $r=0,858$) niż z położeniem genetycznym w profilu ($r=0,550$).

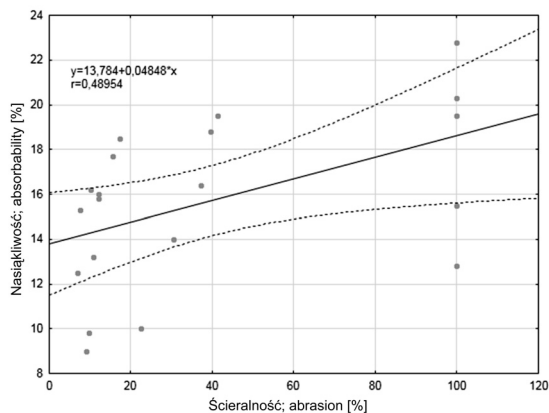
Analiza wyników badań przeprowadzonych na próbkach szkieletu pobranych z profili zlokalizowanych na terenie leśnictwa Łętownia wskazuje na istnienie związku między zmianą



Ryc. 1.

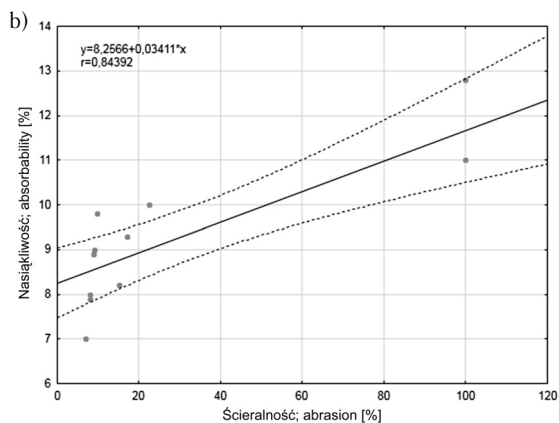
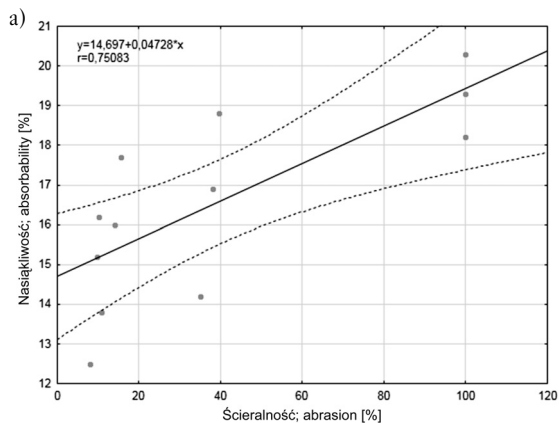
Zależność nasiąkliwości od ścieralności po pierwszej serii badania ścieralności (szkielet LT)

Relationship between absorbability and abrasion after first stage of abrasion (skeleton LT)



Ryc. 2.

Zależność nasiąkliwości od ścieralności w poziomie genetycznym A (szkielet LT)
Relationship between absorbability and abrasion in A soil horizon (skeleton LT)



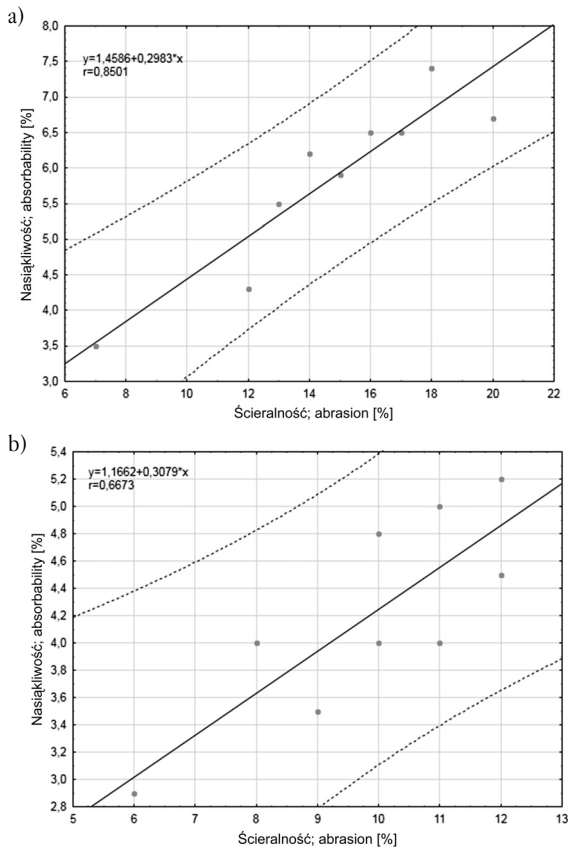
Ryc. 3.

Zależność nasiąkliwości od ścieralności dla frakcji $d < 5\text{ mm}$ (a) i $d > 75\text{ mm}$ (b) (szkielet LT)
Relationship between absorbability and abrasion for fractions $d < 5\text{ mm}$ (a) and $d > 75\text{ mm}$ (b) (skeleton LT)

nasiąkliwości a ścieralnością. Stwierdzono wyraźną siłę związku po każdym z wykonanych etapów badania ścieralności ($r=0,93$), zwłaszcza po pierwszym cyklu ścieralności ($r=0,97$). Podobnie jak miało to miejsce w przypadku próbek szkieletu pobranych z (LT), dla szkieletu pobranego z (LŁ) zbadano, czy istnieje związek pomiędzy nasiąkliwością szkieletu a jego ścieralnością w odniesieniu do trzech poziomów genetycznych. Stosując narzędzia statystyczne, uzyskano potwierdzenie tej zależności oraz uzyskano równania regresji – dla poziomu A: $y=0,6297+0,3649x$;

dla poziomu IB: $y=1,5151+0,278x$ oraz dla poziomu IIB: $y=0,8690+0,3532x$ (przy $r=0,83-0,96$). Zależności pomiędzy nasiąkliwością a ścieralnością próbek szkieletu w grupie piaskowca drobno- i gruboziarnistego w obrębie jednej frakcji ilustruje rycinia 4. Wykresy rozrzutu oraz dopasowane równania regresji wskazują na silną korelację dodatnią.

Zaobserwowano, że nasiąkliwość szkieletu w przypadku wszystkich badanych profili jest uzależniona od głębokości jego położenia w profilu glebowym, a w przypadku próbek z leśnictwa Trzebunia – dodatkowo od wielkości frakcji. Największe zmiany nasiąkliwości stwierdzono dla najmniejszych frakcji oraz w warstwie organicznej. Zmiany nasiąkliwości związane z położeniem szkieletu w profilu glebowym mogą wynikać z udziału poszczególnych frakcji, co zostało również potwierdzone i opisane w literaturze przedmiotu [Gruba i in. 2014]. Uchwycone zmiany wartości nasiąkliwości maleją wraz ze wzrostem frakcji szkieletu oraz w głąb profilu glebowego. Zarówno wartości nasiąkliwości, jak i ścieralności ulegały zmniejszeniu po każdym kolejnym cyklu doświadczenia. Ponadto stwierdzono, że zmiany fizyko-mechaniczne są silniej skorelowane z rozmiarem frakcji niż z położeniem w profilu genetycznym. Bezsposornie jednak zmiany wielkości uziarnienia zależą od położenia w profilu glebowym [Brożek i in. 2007; Lasota, Błońska 2014]. Przedstawione w pracy badania wykazały, że procesy wietrzenia w głąb profilu zachodzą mniej intensywnie, a odporność na ścieranie jest większa, co można powiązać z faktem, że w miarę przesuwania się w głąb profilu (od poziomu A, przez IB, do IIB) występował coraz większy udział procentowy odłamków skalnych znacznej wielkości, charakteryzujących się mniejszą nasiąkliwością.



Ryc. 4.

Zależność nasiąkliwości od ścieralności z podziałem na materiał drobno- (a) i gruboziarnisty (b) (szkielet LŁ)

Relationship between absorbability and abrasion small- (a) and large- (b) grained sandstone (skeleton LŁ)

Wnioski

- ✦ Nasiąkliwość objętościowa jest silnie skorelowana ze ścieralnością materiału skalnego. Obie te cechy maleją po kolejnych etapach badania ścieralności zarówno w miarę przesuwania się w głąb danego profilu, jak i wraz ze wzrostem wielkości frakcji szkieletu.
- ✦ We wszystkich badanych próbach szkieletu największe zmiany wszystkich analizowanych cech następowały po pierwszym przebiegu doświadczenia.
- ✦ Mniejsza odporność na procesy wietrzenia jest czynnikiem mającym wpływ na wzrost tempa procesów glebotwórczych. Najmniej odporne na erozję są warstwy zewnętrzne gleby (poziom organiczny), z uwagi m.in. na występowanie w nich najmniejszych, często najbardziej zwiętrzałych frakcji szkieletu.
- ✦ Uzyskane wstępne wyniki badań wskazują, że zmiany nasiąkliwości względem ścieralności mogą świadczyć o stopniu zwiętrzenia gleb wytworzonych z piaskowca magurskiego. W celu potwierdzenia tej tezy w odniesieniu do innych utworów wymagane jest wykonanie dodatkowych badań szkieletu oraz zwiętrzeliny (mineralogia, zawartość pierwiastków, udział materii organicznej i in.), a także sprawdzenie uzyskanych wyników na modelach erozyjnych.

Literatura

- Allen P. A. 2000. Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Birkeland P. W. 1999. Soils and Geomorphology. Oxford Univ. Press.
- Brożek S., Chmielewski L. 1986. Porowatość i nasiąkliwość wodna szkieletu glebowego wybranych górskich gleb leśnych. *Rocz. Gleb.* 37 (4): 23-34.
- Brożek S., Figura T. 1988. Porowatość i nasiąkliwość wodna szkieletu glebowego wytworzonego z tatrzytu i wapienia. *Rocz. Gleb.* 39 (3): 21-32.
- Brożek S., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Lasota J. 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylwan* 151 (2): 26-34.
- Drewnik M. 2006. The effect of environmental conditions on the decomposition rate of cellulose in mountain soils. *Geoderma* 132: 116-130.
- Gruba P., Socha J., Błońska E., Lasota J., Suchanek A., Gołąb P. 2014. Wpływ skały macierzystej na przestrzenne zróżnicowanie zasobów węgla organicznego w glebach leśnych. *Sylwan* 158 (6): 443-452.
- Klamerus-Iwan A. 2004. Badanie nasiąkliwości wodnej szkieletu gruntowego z uwzględnieniem stopnia jego zwiętrzenia w warunkach gleb górskich. Praca magisterska. Maszynopis AR.
- Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. 2008. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Warszawa.
- Komornicki T., Skiba S. 1996. Gleby. W: Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego. Kraków – Zakopane. 215-226.
- Konecka-Betlej K., Czempieńska-Kamińska D., Janowska E. 1994. Systematyka i kartografia gleb. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Kotarba A., Kaszowski L., Krzemień K. 1987. High-mountain denudationed system of the Polish Tatra Mountains. *Geographical Studies. Spec. Issue* 3: 1-106.
- Kucza J. 2005a. Laboratoryjne badania zatrzymywania wody w poziomach organicznych i mineralnych gleb wybranych dolnoeregłowych drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim. Część I: Wpływ długości czasu przesychnania próbki organicznej na jej zdolność zatrzymywania wody. *Acta Agr. Silv. Ser. Silvestria* 41: 39-58.
- Kucza J. 2005b. Teoretyczne i praktyczne aspekty metodyki badań nad zatrzymywaniem wody opadowej przez poziomy organiczne gleb leśnych w warunkach symulowanych opadów. *Acta Agr. Silv. Ser. Silvestria* 41: 25-37.
- Kucza J., Suliński J. 1987. The utilization of ground-soil water in selected pine-tree stands in the Niepołomic Forest. *Acta Agr. Silv. Ser. Silvestria* 26: 45-59.
- Kucza J., Słowik-Opoka E., Klamerus-Iwan A. 2012a. Sposób wyznaczania miar stopnia zwiętrzenia szkieletu glebowego w środowisku suchym i wodnym. Zgłoszenie patentowe P. 401540.
- Kucza J., Słowik-Opoka E., Klamerus-Iwan A. 2012b. Urządzenie do pozyskiwania materiału badawczego w celu wyznaczenia miar stopnia zwiętrzenia szkieletu glebowego. Zgłoszenie patentowe P. 401541.
- Labus M. 2008. Evaluation of weathering-resistance classes in plastic rocks on the example of Polish sandstones. *Environmental Geology* 54: 283-289.
- Lasota J., Błońska E. 2014. Wartość siedliskotwórcza leśnych gleb niecałkowitych. *Sylwan* 158 (1): 10-17.
- Lewin J., Brewer P. A. 2002. Laboratory simulation of clast abrasion. *Earth Surf. Process. Landforms* 27: 145-164. doi: 10.1002/esp.306.

- Maciaszek W., Furmański G. 1990.** Właściwości fizyczne wybranych kamienistych gleb leśnych wytworzonych ze skał warstw magurskich w Beskidzie Żywieckim. *Rocz. Gleb.* 41 (1-2): 23-33.
- PN-85 B-04101.** Materiały kamienne. Oznaczanie nasiąkliwości wodą.
- PN-EN 933-1:2012.** Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Część 1: Oznaczanie składu ziarnowego – metoda przesiewania.
- PN-EN 1097-6:2013-11.** Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1975.** Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. PWRiL, Warszawa.
- Rykała R. 2000.** Wpływ części szkieletowych na zapas wody w wybranych profilach glebowych zlewni doświadczalnej Potok Dupniański. MSK, ZIL, AR Kraków.
- Skiba S. 2006.** Pokrywa glebowa strefy wysokogórskiej Karpat i jej zagrożenia. *Roczniki Bieszczadzkie* 14: 201-214.
- Trenhaile A. S. 2001.** Modeling the effect of weathering on the evolution and morphology of shore platforms. *J. Coast. Res.* 17: 398-406.