

## Rola uziarnienia gleb w ocenie jakości siedlisk górskich

The use of particle size distribution of soils in estimating quality of mountain forest sites

Jarosław Lasota\*, Ewa Błońska, Maciej Zwydak, Tomasz Wanic

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny, Katedra Gleboznawstwa Leśnego, Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

\*Tel. +48 12 6625031, rllasota@cyf-kr.edu.pl

**Abstract.** The physical and chemical properties of soil are the basic features that are used in the assessment of mountain sites. The aim of this study was to produce a simple key for classifying forest sites in mountain areas using soil particle size distribution. 200 plots (standard typological space) were selected for examination, most of which are typical of the Carpathians – being dominated by flysch rock. A few plots were located in the Sudety and Tatra Mountains, which have a different surface geology, mostly metamorphic rock and granite. The study proved that soil properties (reaction, base saturation, content of base cations, organic carbon and nitrogen) are helpful in distinguishing and assigning soils to particular site types. The particle size distribution of forest mountain sites separated into different categories in terms of productivity. These results can be used to improve the classification of forest mountain sites.

**Key words:** forest soil, particle size distribution, mountain forest sites

### 1. Wstęp

Uziarnienie gleby, pozostające w ścisłym związku z cechami podłoża skalnego, jest jedną z podstawowych właściwości, determinujących warunki rozwoju i wzrostu drzewostanów zasiedlających glebę w określonych warunkach klimatu. Zasobność zwietrzliny skalnej, zwłaszcza w silnie przetworzone minerały ilaste, wpływa na właściwości sorpcyjne, zapas dostępnych dla roślin składników pokarmowych, a także głębokość biologiczną powstałych z nich utworów glebowych.

W trakcie inwentaryzacji siedliskowych typów lasu w terenach górskich uziarnienie gleby jest jedną z cech, którą określa się na podstawowych i pomocniczych powierzchniach typologicznych (Instrukcja Urządzenia Lasu 2012). Jednocześnie brakuje instrukcji, która ułatwiałaby interpretację wyników wykonywanych analiz gleb oraz ich wykorzystanie do oceny żyzności i produktywności siedlisk leśnych.

Celem pracy jest ukazanie prawidłowości, jakie obserwuje się, analizując uziarnienie utworów glebowych

tworzących siedliska górskie o zróżnicowanej żyzności i produktywności. Podjęto próbę opracowania prostego klucza, który ułatwiałby diagnozowanie typu siedliskowego lasu w terenach górskich z wykorzystaniem uziarnienia gleby.

### 2. Materiał i metody

Do badań wybrano 200 powierzchni, które spełniają kryteria wzorcowych powierzchni typologicznych, gdzie związek szaty roślinnej z glebą nie budzi wątpliwości. Większość spośród wytypowanych powierzchni reprezentuje typowe siedliska i gleby Karpat zbudowane ze skał fliszowych. Niewielka część powierzchni została wybrana w Sudetach oraz Tatrach na odmiennym podłożu geologicznym, głównie skałach przeobrażonych i granitach (tab. 1).

W niniejszej pracy szerzej scharakteryzowano podtypy gleb, które tworzą zróżnicowane siedliska i są najtrudniejsze do diagnozy. Te podtypy, gleby brunatne

kwaśne i brunatne biellicowe, przedstawiono szczegółowo z uwzględnieniem ich położenia.

Na podstawie wyników zaproponowano prosty schemat ułatwiający diagnozowanie siedlisk w odpowiednich podstrefach reglowych z uwzględnieniem podtypu gleby i wybranych właściwości. Klucz dotyczy dominujących w obszarach górskich gleb i siedlisk świeżych, posiadających największe znaczenie dla hodowli drzewostanów w obszarach górskich. Zaprezentowane w tabeli 2 zależności nie dotyczą gleb i siedlisk rzadkich, związanych z wyjątkowymi, lokalnymi warunkami orograficznymi i wodnymi, glebami tzw. pozastrefowymi, jakimi są np. gleby gruntowoglejowe, deluwialne, torfowe czy mady rzeczne.

Metodyka prac na poszczególnych powierzchniach badawczych zgodna jest z metodyką prac glebowo-siedliskowych. Na każdej powierzchni badawczej, w jej części centralnej, wykonana została głęboka (1,0–1,2 m) odkrywka glebowa. Z poziomów akumulacji próchnicy pobierano zbiorczą próbę mieszaną. Próby gleb z głębszych poziomów pobierano z odkrywki głównej. Na każdej powierzchni pomierzono drzewostan (na powierzchni 0,25 ha) oraz wykonano spis roślinności runa, co pozwoliło na ustalenie diagnoz typów siedliskowych lasu według drzewostanu i runa.

W pobranych próbkach oznaczono podstawowe właściwości według metodyki stosowanej w badaniach gleboznawczych (Ostrowska et al. 1991). Określono:

– skład granulometryczny gleb metodą areometryczną Bouyoucosa-Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, podając grupy granulometryczne zgodnie z Klasyfikacją Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego (2008):

– pH w H<sub>2</sub>O i w 1M KCl potencjometrycznie przy zastosowaniu proporcji gleby do roztworu 1:5 w poziomach organicznych i 1:2,5 w poziomach mineralnych;

– kwasowość hydrolityczną (Y) i sumę zasadowych kationów wymiennych (Skp) metodami Kappena, na podstawie których obliczono pojemność sorpcyjną (T) i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi (V);

– kwasowość wymienną oraz zawartość glinu ruchomego metodą Sokołowa;

– węgiel organiczny metodą Tiurina w modyfikacji Oleksynowej;

– azot całkowity metodą Kjeldahla;

– zawartość wymiennego wapnia, magnezu, potasu i sodu w wyciągu 1M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> o pH 7 – metoda ASA z wylizaniem sumy kationów zasadowych.

Przyporządkowanie powierzchni badawczych do typów siedliskowych lasu przeprowadzono zgodnie z systemem klasyfikacyjnym Alexandrowicza (1972), wykorzystując cztery grupy elementów siedliskowo-rozpoznawczych (warunki klimatyczne, warunki glebowe, cechy drzewostanowe oraz roślinność runa). Posiadany materiał badawczy klasyfikowano odrębnie w poszczególnych piętrach klimatyczno-leśnych Alexandrowicza (1972) według trwałych cech glebowych, uwzględniając typ i podtyp gleby, rodzaj skały macierzystej i uziarnienie. Diagnozy typu i podtypu gleby określano według kryteriów zamieszczonych w „Klasyfikacji gleb leśnych Polski” (2000). Równoległe z diagnozą glebową siedliska określano typ siedliskowy lasu na podstawie cech drzewostanu. Obie diagnozy konfrontowano i ustalano ostateczny typ siedliska, potwierdzając słuszność diagnozy obecnością roślin siedliskowo-rozpoznawczych.

Wykorzystując program Statistica 10, wykonano statystyczną analizę danych. Do ustalenia poziomu istotności różnic pomiędzy średnimi właściwościami w poziomach genetycznych gleb tworzących zróżnicowane siedliska leśne zastosowano test nieparametryczny Tukeya (HSD).

**Tabela 1. Liczba powierzchni badawczych reprezentujących poszczególne strefy wysokościowe wraz z podtypami gleb i rodzajem podłoża skalnego**

Table 1. The number of research plots in the different top level in connection with soil subtype and parent material

Położenie Location	Pasma górskie Mountain ranges	Liczba powierzchni, podtyp gleby (rodzaj skały macierzystej) Number of research plots, soil subtype (type of parent material)
<b>Regiel górny</b> The top level	Beskidy	4 Bw (piaskowce), 2 BRk (piaskowce)
	Sudety	2 Bw (granit)
	Tatry	5 Bw (granit), 5 Rp (wapienie i dolomity)
<b>Wysoki regiel dolny</b> The upper part of the lower level	Beskidy	12 BRb (piaskowce), 15 BRk (piaskowce)
	Sudety	10 BRk, 6 BRb, 5Bw (granit i ubogie gnejsy), 4 BRwy (skały magmowe zasadowe)
	Tatry	7 Bw, 5 BRk (granit), 5 Rbr (wapienie i dolomity)
<b>Niski regiel dolny</b> The lower part of the lower level	Beskidy	48 BRk, 22 BRb, 13 BRwy (piaskowce i łupki)
	Sudety	8 BRwy, 2BRw, 2 BRs (piaskowce), 6 BRwy, 2 BRw (skały magmowe zasadowe)
	Tatry	3 PRbr, 3 BRw, 2 BRwy (piaskowce i łupki), 2Rbr (wapienie i dolomity)

**Oznaczenia:** Bw – biellicowa właściwa, BRb – brunatna biellicowa, BRk – brunatna kwaśna, BRwy – brunatna wylugowana, BRw – brunatna właściwa, BRs – szarobrunatna, PRbr – pararedzina brunatna, Rbr – rzędzina brunatna, Rp – rzędzina próchniczna

Notes: Bw – Haplic Podzol, BRb – Albic Cambisol, BRk – Hyperdystric Cambisol, BRwy – Epidystric Cambisol, BRw – Eutric Cambisol, BRs – Cambisol Humic Eutric, PRbr – Calcaric Cambisol Sceletic, Rbr – Cambic Rendzic, Rp – Mollic Rendzic

### 3. Wyniki

W ocenie jakości siedlisk górskich największe problemy istnieją w przypadku oceny produktywności gleb brunatnych kwaśnych oraz gleb brunatnych bielcowych (dawniej określanych mianem brunatnych bielcowanych). Gleby tych podtypów rozpowszechnione są na dużych powierzchniach w obszarach górskich, gdzie w podłożu występują piaskowce o spoiwie pozbawionym węglanów, bądź inne kwaśne skały magmowe czy przeobrażone. W pracy scharakteryzowano gleby brunatne bielcowe i brunatne kwaśne ponieważ przy ich

„wycenie” potrzebne są dodatkowe (poza podtypem gleby) kryteria (tab. 2). W przypadku gleb najuboższych – z dominującym procesem bielcowania – właściwych gleb bielcowych oraz bieliec, jak również w odniesieniu do bogatszych gleb brunatnych – brunatnych wyługowanych, brunatnych właściwych czy szarobrunatnych, podobne problemy przy ocenie siedlisk kształtujących się na tych glebach w terenach górskich nie powinny wystąpić. Szczegółowe właściwości gleb bielcowych, brunatnych wyługowanych i właściwych w terenach górskich zamieszczono w tabelach 3–10.

**Tabela 2. Związek typów i podtypów gleb górskich z typami siedlisk w poszczególnych strefach reglowych**

Table 2. Relationship of types and subtypes of mountain soils with types of sites in the zones

Typ, podtyp gleby (odmiana troficzna) Type and subtype of soil (form of trophic)	Niski regiel dolny <sup>1</sup> The lower part of the lower level	Wysoki regiel dolny <sup>2</sup> The upper part of the lower level	Regiel górny The top level
<b>R, PR,</b> <b>BRw, BRwy, BRs</b> (eutroficzne / eutrophic)	LGśw	LMGśw	BMWGśw
<b>BRk</b> (meztroficzne / mezotrophic)	LGśw LMGśw	LMGśw BMGśw	BWGśw
<b>BRb</b> (oligo-meztroficzne / oligo-mezotrophic)	LMGśw BMGśw	BMGśw LMGśw	BWGśw
<b>Bw, Blw</b> (oligotroficzne / oligotrophic)	BMGśw	BMGśw, BGśw	BWGśw

Symbole typów, podtypów gleb: R – rędzina, PR – pararendzina, BRw – gleba brunatna właściwa, BRwy – gleba brunatna wyługowana, BRs – gleba szarobrunatna (mogą tworzyć również siedliska wilgotne), BRk – gleba brunatna kwaśna, BRb – gleba brunatna bielcowa, Bw – gleba bielcowa właściwa, Blw – bielica właściwa

Symbole typów siedliskowych lasu: BWGśw – bór wysokogórski świeży, BGśw – bór górski świeży, BMWGśw – bór mieszany wysokogórski świeży, BMGśw – bór mieszany górski świeży, LMGśw – las mieszany górski świeży, LGśw – las górski świeży

<sup>1</sup> Niski regiel dolny – dolna strefa regła dolnego rozciągająca się w Karpatach fliszowych od 500 (550) – 850 (900) m n.p.m., w Tatrach od 600 (650) – 1000 (1050) m n.p.m., w Sudetach od 450 (500) – 750 (800) m n.p.m.,

<sup>2</sup> Wysoki regiel dolny (regiel środkowy w ujęciu Alexandrowicza (1972)) – górna strefa regła dolnego rozciągająca się w Karpatach fliszowych od 850 (900) – 1050 (1100) m n.p.m., w Tatrach od 1000 (1050) – 1200 (1250) m n.p.m., w Sudetach od 750 (800) – 950 (1000) m n.p.m.

**Uwaga! W przypadku, gdy w określonych warunkach położenia, danej glebie przypisano dwa typy siedliskowe (przedzielone ukośną linią) cechą przydatną do rozróżnienia typu siedliskowego lasu jest uziarnienie. W przypadku piasków gliniastych, glin piaszczystych oraz glin lekkich potencjalną produktywność należy obniżyć, a w przypadku glin piaszczysto-ilastych, glin zwykłych, glin ilastych, glin pylasto-ilastych, ilu – podwyższyć.**

Symbols of type and subtype of soil: R – Rendzic Soil, PR – Calcaric Regosol, BRw – Eutric Cambisol, BRwy – Epidystric Cambisol, BRs – Cambisol Humic Eutric, BRk – Hyperdystric Cambisol, BRb – Albic Cambisol, Bw – Haplic Podzol, Blw – Podzol.

Symbols of forest site types: BWGśw – high-mountain fresh coniferous forest site, BGśw – mountain fresh coniferous forest sites, BMWGśw – high-mountain fresh mixed coniferous forest site, BMGśw – mountain fresh mixed coniferous forest sites, LMGśw – mountain fresh mixed broadleaf forest sites, LGśw – mountain fresh broadleaf forest sites

<sup>1</sup> The lower part of the lower level – lower part of the lower level extending in the Outer Carpathian Mountains from 500 (550) – 850 (900) m asl, in the Tatra Mountains from 600 (650) – 1000 (1050) m asl, in the Sudety Mountains from 450 (500) – 750 (800) m asl,

<sup>2</sup> The upper part of the lower level – in terms of Alexandrowicz (1972)) – upper part of lower level extending in the Outer Carpathian Mountains from 850 (900) – 1050 (1100) m asl, in the Tatra Mountains from 1000 (1050) – 1200 (1250) m asl, in the Sudety Mountains from 750 (800) – 950 (1000) m asl.

Note. In the case of certain location specific soil was assigned by two forest sites (divided by a diagonal line) soli texture becomes a useful feature for distinguishing of forest site. In the case of loamy sand, sandy loam and light loam, potential productivity should be reduced, while sandy clay loam, loam, clay loam, silt clay loam and clay – should be increased.

**Tabela 3. Wybrane właściwości poziomów gleb brunatnych bielcowych tworzących siedlisko BMGśw w wysokich położeniach regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 3. Selected properties of Albic Cambisols creating BMGśw site in high position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V %	Frakcje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1–0,02	<0,02	<0,002		
Ofh	3,4±0,1	2,7±0,1	3,2±1,3	6,4±2,3	6,8±1,5	-	-	-	-	26,4±6,5	1,2±0,2
AEes	3,6±0,2	2,8±0,2	0,5±0,1	1,5±0,7	6,0±2,6	26,7±17,3	20,3±2,6	23,8±5,1	10,9±2,8	4,6±1,6	0,3±0,1
BfeBbr	4,2±0,2	3,6±0,3	0,4±0,1	2,2±0,6	11,6±5,3	46,7±19,5	18,4±4,2	23,1±5,4	7,3±1,9	2,1±0,8	0,1±0,0
BC-C	4,6±0,1	4,0±0,1	0,4±0,1	1,4±0,7	13,3±6,2	82,8±3,6	16,6±3,7	21,8±4,9	6,3±1,7	-	-

Oznaczenia: AEes – wierzchnie mineralne poziomy akumulacji próchnicy (poziomy próchniczno-eluwialne), BfeBbr – poziomy wzbogacenia, BC-C – poziomy najgłębiej leżące (skały macierzystej). pH w H<sub>2</sub>O, pH w KCl, Soct. – suma zasadowych kationów wymiennych oznaczona w 1 M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, Skp. – suma zasadowych kationów wymiennych oznaczonych metodą Kappena, V – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego kationami zasadowymi, frakcje glebowe: >2 mm (części szkieletowe), 0,1–0,02 mm, <0,02 mm – części spławialne, <0,002 mm – ii, Corg. – węgiel organiczny, Nog. – azot ogólny.

Notes: AEes – top layers of mineral humus accumulation (humus-alluvial horizon), BfeBbr – saturation horizons, BC-C – deepest horizons (parent rock). pH in H<sub>2</sub>O, pH in KCl; Soct. – sume of base cations detrimed in 1 M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, Skp. – sume of base cations determined by Kappen method, V – base saturation.

**Tabela 4. Wybrane właściwości poziomów gleb brunatnych bielcowych tworzących siedlisko LMGśw w wysokich położeniach regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 4. Selected properties of Albic Cambisols creating LMGśw site in high position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V %	Frakcje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1–0,02	<0,02	<0,002		
Ofh	3,4±0,1	2,7±0,1	4,0±0,6	8,2±2,0	9,3±2,9	-	-	-	-	25,7±5,1	1,3±0,2
AEes	3,6±0,2	2,8±0,2	0,7±0,2	3,0±0,7	9,3±1,6	22,5±16,7	25,1±1,7	35,9±10,5	16,5±6,7	4,9±1,7	0,3±0,1
BfeBbr	4,4±0,1	3,9±0,2	0,4±0,1	3,3±0,6	18,0±4,7	38,8±14,7	22,5±3,7	40,9±16,1	15,9±9,1	1,8±0,8	0,1±0,0
BC-C	4,7±0,2	4,1±0,2	0,5±0,1	2,9±0,3	22,5±8,5	77,0±16,2	17,3±2,8	40,5±16,0	14,9±8,8	-	-

Oznaczenia jak w tab. 2. / Symbols as in Table 2.

**Tabela 5. Wybrane właściwości poziomów gleb brunatnych kwaśnych tworzących siedlisko BMGśw w wysokich położeniach regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 5. Selected properties of Dystric Cambisols creating BMGśw site in high position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V %	Frakcje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1–0,02	<0,02	<0,002		
Ofh	3,6±0,1	2,9±0,1	2,3±0,9	6,5±2,4	7,5±1,3	-	-	-	-	23,9±6,8	1,2±0,2
A	3,7±0,3	2,9±0,2	0,5±0,2	2,1±0,7	8,7±3,8	25,0±21,2	19,0±4,2	20,0±3,5	8,5±2,0	4,8±0,6	0,3±0,1
Bbr	4,2±0,1	3,5±0,1	0,3±0,2	2,1±0,3	10,3±4,9	57,5±10,5	18,5±9,2	20,0±4,0	5,5±1,5	2,0±0,8	0,1±0,0
BC-C	4,7±0,2	4,0±0,1	0,3±0,1	1,3±0,4	10,4±5,8	80,0±10,0	16,5±4,9	25,5±3,5	5,5±1,6	-	-

Oznaczenia jak w tab. 2 / Symbols as in Table 2

W przypadku stwierdzenia gleb bielcowych właściwych bądź bieliec właściwych, diagnoza typu siedliskowego lasu winna uwzględnić warunki położenia i związane z nimi cechy klimatu. Jeżeli gleby bielcowe występują w niskich położeniach regla dolnego to potencjalnym typem siedliska jest bór mieszany górski. W

wyższych położeniach regla dolnego, określanym mianem wysokiego regla dolnego na glebach bielcowych współwystępują bory mieszane górskie oraz przy granicy z reglem górnym bory górskie (tab. 2). Ich rozdzielanie opiera się głównie na podstawie cech wzrostowych i produktywności świerka. Skrajnie odmienne

**Tabela 6. Wybrane właściwości poziomów gleb brunatnych kwaśnych tworzących siedlisko LMGśw w wysokich położeniach regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 6. Selected properties of Dystric Cambisols creating LMGśw site in high position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	V %	Frakcje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1-0,02	<0,02	<0,002		
Ofh	3,5±0,2	2,8±0,1	5,0±1,6	9,0±1,1	9,8±2,8	-	-	-	-	30,0±8,6	1,3±0,3
A	3,7±0,1	3,0±0,1	0,9±0,3	4,0±1,3	11,1±3,4	19,3±11,0	32,6±6,1	38,0±10,4	17,9±2,8	6,7±1,8	0,4±0,1
Bbr	4,5±0,3	3,9±0,4	0,4±0,1	3,6±0,7	23,9±9,0	40,0±12,9	22,7±1,4	48,1±9,4	19,0±3,2	1,5±0,4	0,1±0,0
BC-C	4,5±0,3	4,0±0,1	0,5±0,2	2,6±0,7	22,3±7,4	77,1±6,4	20,6±2,9	41,9±7,4	17,1±2,7	-	-

Oznaczenia jak w tab. 2 / Symbols as in Table 2

**Tabela 7. Wybrane właściwości poziomów gleb brunatnych kwaśnych tworzących siedlisko LMGśw w niskich położeniach regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 7. Selected properties of Dystric Cambisols creating LMGśw site in lower position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	V %	Frakcje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1-0,02	<0,02	<0,002		
Ofh	3,6±0,2	2,8±0,2	4,9±2,3	10,4±2,9	9,6±2,5	-	-	-	-	31,1±6,3	1,4±0,3
A	3,6±0,1	2,8±0,1	0,6±0,2	3,1±1,6	9,9±3,6	26,0±20,0	26,6±6,3	28,5±4,4	11,4±2,6	4,7±2,0	0,2±0,1
Bbr	4,3±0,3	3,9±0,2	0,3±0,1	3,3±1,0	20,8±8,9	41,5±12,3	22,5±5,0	32,7±6,7	9,9±1,9	1,7±0,8	0,1±0,0
BC-C	4,6±0,2	4,1±0,2	0,3±0,2	2,3±0,7	23,4±7,1	77,0±15,1	21,2±4,5	30,6±17,3	10,4±7,5	-	-

Oznaczenia jak w tab. 2 / Symbols as in Table 2

**Tabela 8. Podstawowe właściwości poziomów gleb brunatnych kwaśnych tworzących siedlisko LGśw w niskich położeniach regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 8. Selected properties of Dystric Cambisols creating LGśw site in lower position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	V %	Frakcje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1-0,02	<0,02	<0,002		
A	4,0±0,2	3,2±0,2	1,4±0,7	6,5±2,7	17,4±3,0	15,8±12,7	31,0±5,1	41,8±9,8	17,2±4,4	6,1±2,1	0,4±0,1
Bbr	4,5±0,2	3,9±0,2	0,7±0,5	4,1±1,0	27,6±5,4	38,1±19,8	22,5±4,3	51,9±11,4	18,7±5,7	1,1±0,3	0,1±0,0
BC-C	4,9±0,3	3,9±0,2	2,4±2,0	5,1±2,0	36,0±10,9	76,2±18,4	19,2±4,9	50,9±12,7	20,7±7,9	-	-

Oznaczenia jak w tab. 2 / Symbols as in Table 2

**Tabela 9. Wybrane właściwości poziomów gleb bielcowych tworzących siedlisko BMGśw oraz BGśw w wysokich położeniach regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 9. Selected properties of Podzols creating BMGśw and BGśw site in high position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	V %	Frakcje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1-0,02	<0,02	<0,002		
Ofh	3,7±0,2	2,9±0,2	3,1±2,0	6,4±1,6	4,1±2,4	-	-	-	-	37,8±12,1	1,4±0,4
AEes	3,8±0,2	3,1±0,2	0,4±0,4	1,5±1,6	1,4±0,7	18,0±21,9	29,7±15,6	25,9±7,1	6,5±3,2	4,7±4,7	0,2±0,2
Bhfe	4,3±0,2	3,8±0,2	0,2±0,1	1,0±0,7	1,3±0,6	36,5±22,2	25,8±7,9	19,4±7,2	4,6±3,0	4,5±2,8	0,2±0,1
BC-C	4,6±0,3	4,2±0,3	0,1±0,1	0,5±0,2	2,2±1,1	72,5±18,7	24,3±7,8	20,1±8,5	5,2±2,9	1,31±1,29	0,1±0,1

Oznaczenia jak w tab. 2 / Symbols as in Table 2

**Tabela 10. Wybrane właściwości poziomów gleb brunatnych wylugowanych oraz brunatnych właściwych tworzących siedlisko LGśw w niskich położeniach o regla dolnego (wartości średnie i odchylenia standardowe)**

Table 10. Selected properties of Meso-eutric Cambisols creating LGśw site in lower position of lower level (mean values and standard deviations)

Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	V %	Fracje, % Fractions, %				Corg. Organic C %	Nog. Total N %
						>2 mm	0,1-0,02	<0,02	<0,002		
A	4,3±0,3	3,4±0,3	2,0±1,8	4,0±2,4	9,7±7,9	26,6±32,4	28,7±12,0	33,7±13,4	8,4±6,6	2,8±2,0	0,2±0,2
Bbr	4,7±0,4	3,8±0,2	2,7±3,8	4,9±5,2	19,9±23,6	43,6±25,5	26,9±11,1	36,8±14,2	9,2±6,8	1,4±1,1	0,1±0,1
BC-C	5,4±0,6	4,1±0,5	7,8±6,6	12,9±9,1	53,6±27,6	67,0±29,4	25,0±11,2	36,0±15,4	10,6±9,4	0,7±0,6	0,1±0,1

Oznaczenia jak w tab. 2 / Symbols as in Table 2

warunki siedliskowe kształtują się na korzystnych pod względem troficzności glebach brunatnych wylugowanych, właściwych i szarobrunatnych. W najniższym pasie reglowym stanowią one podłoże lasu górskiego świeżego, w wysokim reglu dolnym, ze względu na obniżenie produktywności przez niekorzystne warunki klimatyczne, gleby te tworzą siedlisko lasu mieszanego górskiego świeżego (tab. 2).

Nieporównywalnie trudniejsza jest ocena produktywności gleb brunatnych bielcowych. Jest to ważny podtyp gleb brunatnych, rozpowszechniony zwłaszcza w wyższych położeniach regla dolnego. W tabelach 3 i 4 zestawiono właściwości kolejnych poziomów genetycznych gleb brunatnych bielcowych tworzących siedliska boru mieszanego górskiego oraz lasu mieszanego górskiego w wysokich położeniach regla dolnego. Pomimo podobnej morfologii i układu poziomów genetycznych gleby brunatne bielcowe obydwu typów siedliskowych różnią się podstawowymi parametrami decydującymi o jakości siedliska. Tabela 11 zawiera wyniki oceny istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami wybranych parametrów w odpowiadających sobie poziomach genetycznych gleb tego samego podtypu, tworzących zróżnicowane siedliska leśne w wysokich położeniach regla dolnego. Wyniki tej analizy potwierdzają, że najsilniej różnicują gleby brunatne bielcowe borów i lasów mieszanych górskich takie właściwości jak zawartość łu (frakcji <0,002 mm) oraz zawartość części spławialnych (cząstek <0,02 mm). W glebach brunatnych bielcowych borów mieszanych górskich średnie zawartości frakcji łu w zwietrzelinie glebowej są o 6–8% niższe niż zawartość tych frakcji w odpowiednich poziomach genetycznych gleb lasów mieszanych górskich, odpowiednio różnice zawartości frakcji spławialnej sięgają 12–18% w kolejnych poziomach glebowych (tab. 3, 4). Różnice zawartości frakcji spławialnych (<0,02 mm) w kolejnych poziomach gleb brunatnych bielcowych borów i lasów mieszanych górskich wysokiego regla dolnego ilustrują ryciny 1a–1c. Wraz z różną zawartością drobnych frakcji w badanych glebach obserwuje się różną zawartość wymiennych ka-

tionów zasadowych oraz stopień wysycenia tymi kationami (tab. 3, 4).

Gleby brunatne bielcowe w niższej strefie regla dolnego (tzw. niskim reglu dolnym) są glebami rzadko spotykanymi. W panującym w tej strefie stosunkowo łagodnym klimacie, gleby brunatne bielcowe tworzą głównie siedlisko lasu mieszanego górskiego świeżego, sporadycznie zaś są to gleby boru mieszanego górskiego świeżego. Gleby boru mieszanego górskiego, podobnie jak w wyższej strefie, odróżniają się bardziej gruboziarnistym uziarnieniem, które w częściach ziemistych stanowią piaski gliniaste, gliny piaszczyste bądź gliny lekkie. Zwietrzeliny o uziarnieniu glin zwykłych, piaszczysto-ilastych, ilastych lub pylasto-ilastych charakteryzują się wyższą produktywnością siedlisk lasów mieszanych górskich (tab. 2)

Kolejnym, bardzo rozpowszechnionym w reglu dolnym, podtypem gleb brunatnych są gleby brunatne kwaśne. Gleby takie mogą wytworzyć się ze zwietrzelin wszystkich bezwęglanowych skał masywnych – piaskowców, granitu, gnejsów, szarogłazów, łupków krystalicznych, porfirów kwarcowych a nawet amfibolitów, zieleńców czy bazaltu. Analiza posiadanego materiału świadczy, że gleby brunatne kwaśne w niskich położeniach regla dolnego tworzą siedliska lasu górskiego świeżego lub lasu mieszanego górskiego świeżego. W wysokim reglu dolnym klimat wpływa ograniczająco na produktywność siedlisk. Na tym samym typie gleb współwystępują lasy mieszane górskie świeże oraz bór mieszany górski świeży (tab. 2). Uśrednione właściwości gleb brunatnych kwaśnych (z podziałem na poszczególne poziomy genetyczne), tworzących siedliska borów mieszanych górskich i lasów mieszanych górskich w wysokim reglu dolnym, zamieszczono w tabelach 5 i 6. Właściwości gleb brunatnych kwaśnych tworzących siedliska lasów mieszanych górskich oraz lasów górskich w niskim reglu dolnym zawierają tabele 7 i 8.

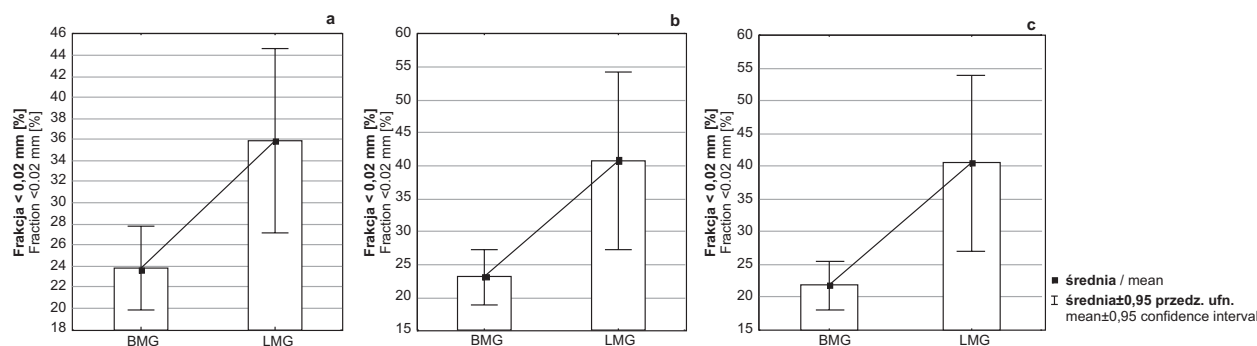
Gleby brunatne kwaśne lasów mieszanych górskich i borów mieszanych górskich w wysokich położeniach regla dolnego różnią się przede wszystkim uziarnieniem. Różnice te uwidaczniają się zwłaszcza w procentowej

**Tabela 11. Poziom istotności różnic pomiędzy średnimi właściwościami w poziomach genetycznych gleb tworzących zróżnicowane siedliska leśne (podkreślono wartości  $p < 0,05$ , na podstawie testu nieparametrycznego HSD)**Table 11. The level of significance differences between the properties in genetic horizons of soils creating diverse forest sites ( $p < 0,05$ , nonparametric test HSD)

TSL	Gleba Soil	Poziom Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Skp. cmol(+)kg <sup>-1</sup>	V %	Fracje / Fractions				Corg. Organic C %	Nog. Total N %	C/N
							>2 mm	0,1–0,02	<0,02	<0,002			
BMG-LMG (WRD)	BRb	AEes	0,4682	0,7081	<u>0,0005</u>	<u>0,0081</u>	0,5614	<u>0,0008</u>	<u>0,0093</u>	<u>0,0418</u>	0,7156	0,3307	0,4887
		BfrBbr	<u>0,0213</u>	0,0546	<u>0,0027</u>	<u>0,0222</u>	0,4364	0,0572	<u>0,0085</u>	<u>0,0175</u>	0,6112	0,3792	<u>0,0051</u>
		BC-C	0,6948	0,7127	<u>0,0002</u>	<u>0,0247</u>	0,5596	0,6821	<u>0,0055</u>	<u>0,0142</u>	-	-	-
BMG-LMG (WRD)	BRk	A	0,7810	0,9238	<u>0,0011</u>	0,1698	0,4595	<u>0,0002</u>	<u>0,0003</u>	<u>0,0002</u>	<u>0,0103</u>	<u>0,0052</u>	0,1999
		Bbr	<u>0,0100</u>	<u>0,0091</u>	<u>0,0002</u>	<u>0,0006</u>	<u>0,0016</u>	0,1695	<u>0,0002</u>	<u>0,0002</u>	0,1424	0,0524	<u>0,0002</u>
		BC-C	0,3027	1,0000	<u>0,0004</u>	<u>0,0004</u>	0,2040	<u>0,0402</u>	<u>0,0002</u>	<u>0,0002</u>	-	-	-
LMG-LG (NRD)	BRk	A	<u>0,0002</u>	<u>0,0002</u>	<u>0,0032</u>	<u>0,0002</u>	0,1951	0,0973	<u>0,0014</u>	<u>0,0023</u>	0,1409	0,0276	<u>0,0023</u>
		Bbr	0,0855	0,8992	0,0906	<u>0,0439</u>	0,6883	0,9854	<u>0,0004</u>	<u>0,0004</u>	<u>0,0201</u>	0,9016	<u>0,0002</u>
		BC-C	<u>0,0038</u>	0,1151	<u>0,0009</u>	<u>0,0071</u>	0,9198	0,3617	<u>0,0060</u>	<u>0,0075</u>	-	-	-

Oznaczenia: TSL – oznaczenie par typów siedliskowych, pomiędzy którymi określano różnice średniej wartości wybranych parametrów glebowych. WRD – wysoki pas regla dolnego, NRD – niski regiel dolny; pozostałe jak w tab. 3

Notes: TSL – compared forest site types, WRD – high position of lower level, NRD – lower position of lower level; other as in Table 3



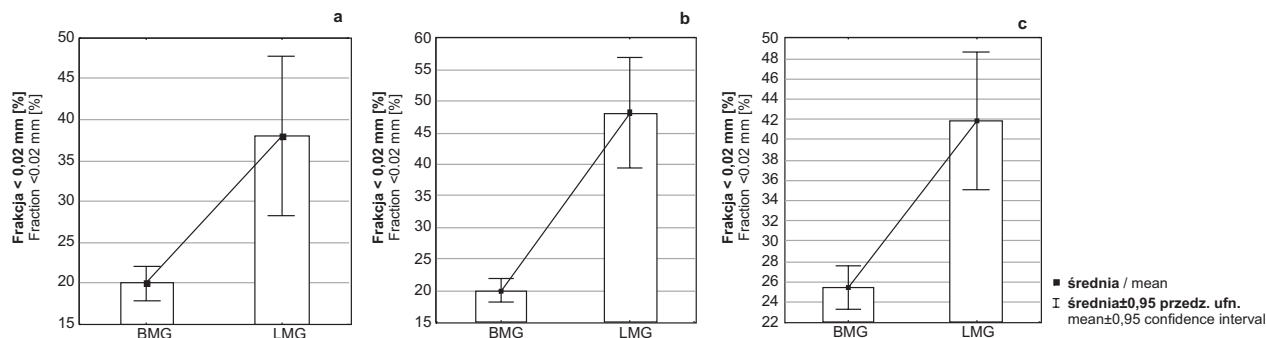
**Rycina 1. Średnia zawartość frakcji <0,02 mm w poziomach gleb brunatnych bielcowych siedliska BMGśw i LMGśw wysokich położen regla dolnego a) poziom próchniczo eluwalny (AEes), b) poziom wzbogacenia (BfrBbr), c) poziom skały macierzystej (C)**

Figure 1. Average content of fraction <0.02 mm in horizon of Albic Cambisols of BMGśw and LMGśw sites in upper position of lower level a) humus-mineral horizon (AEes), b) cambic horizon (BfrBbr), c) parent rock horizon (C)

zawartości frakcji drobnych – części spławialnych (<0,02 mm) oraz najdrobniejszej frakcji łu (<0,002 mm) i są istotne we wszystkich poziomach genetycznych (tab. 11). Zwietrzliny gleb brunatnych kwaśnych tworzących siedliska lasów mieszanych górskich zawierają średnio o 12–28% więcej cząstek spławialnych i o 9–14% łu, aniżeli gleby brunatne kwaśne borów mieszanych górskich (tab. 5 i 6). Różnice zawartości frakcji spławialnych we wspomnianych glebach zostały zobrazowane także na rycinach 2a–c. Różnice zawartości frakcji pyłu istotne są w poziomach mineralno-próchnicznych oraz poziomach skały macierzystej omawianych gleb. Konsekwencją różnej zasobności zwietrzelin badanych gleb brunatnych kwaśnych we frakcję łu są także różne zawartości zasadowych kationów wymienionych, jak również stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego tymi kationami, widoczne we wszystkich

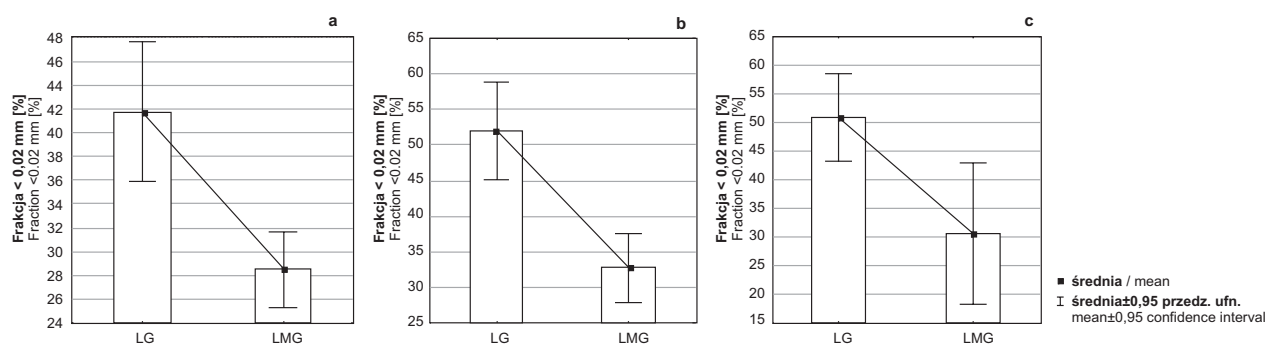
poziomach genetycznych (tab. 11). Poziomy akumulacji próchnicy gleb brunatnych kwaśnych lasu mieszanego górskiego oraz boru mieszanego górskiego różnią się także zawartością węgla organicznego oraz azotu ogólnego.

Gleby brunatne kwaśne niskich położen regla dolnego, tworzące siedliska lasu mieszanego górskiego oraz lasu górskiego różnią się między sobą podobnymi właściwościami jak wyżej wspomniane gleby brunatne kwaśne siedlisk w wyższych położeniach regla dolnego (tab. 7 i 8). Różnica w zawartości frakcji spławialnych w poziomach genetycznych tych gleb średnio wynosi 14–20% (zawartość tych frakcji w glebach lasu górskiego jest wyższa) (ryc. 3a, b, c). Odpowiednio, gleby brunatne kwaśne lasu górskiego zawierają w częściach ziemistych przeciętnie 6–10% łu więcej aniżeli gleby tego samego podtypu, tworzące siedlisko lasu



Rycina 2. Średnia zawartość frakcji <0,02 mm w poziomach gleb brunatnych kwaśnych siedliska BMGów i LMGów wysokich położenia regła dolnego a) poziom próchniczo eluwalny (A), b) poziom wzbogacenia (Bbr), c) poziom skały macierzystej (C)

Figure 2. Average content of fraction <0,02 mm in horizon of Dystric Cambisols of BMGów and LMGów sites in upper position of lower level a) humus-mineral horizon (A), b) cambic horizon (Br), c) parent rock horizon (C)



Rycina 3. Średnia zawartość frakcji <0,02 mm w poziomach gleb brunatnych kwaśnych siedliska LGów i LMGów w niskim reglu dolnym poziom próchniczo mineralnych (A), b) poziom wzbogacenia (Bbr), c) poziom skały macierzystej (C)

Figure 3. Average content of fraction <0,02 mm in horizon of Dystric Cambisols of LGów and LMGów sites in lower position of lower level a) humus-mineral horizon (A), b) cambic horizon (Br), c) parent rock horizon (C)

mieszanego górskiego. Pozostałe cechy – pH, zawartość wymiennych kationów zasadowych, wysycenie tymi kationami oraz zawartość azotu i proporcja C/N w poziomach mineralno-próchnicznych – różnią się we wspomnianych glebach w poziomach akumulacji próchnicy oraz w poziomach najgłębszych (tab. 11).

#### 4. Dyskusja

Przedstawione badania są kontynuacją a zarazem uzupełnieniem badań siedlisk górskich, prowadzonych przez typologów tzw. szkoły krakowskiej. Pionierskie prace na temat waloryzacji siedlisk górskich wykonał Alexandrowicz (1960, 1962) w Beskidzie Śląskim i Żywieckim. Autor ten jako pierwszy zaproponował wydzielenie strefy wysokiego regła dolnego (tzw. regła środkowego) jako strefy o obniżonych zdolnościach leśno-produkcyjnych. Alexandrowicz zdefiniował podstawowe związki zachodzące pomiędzy wyróżnionymi przez siebie typami siedlisk a rodzajem podłoża geolo-

gicznego występującego w określonej strefie regłowej. W niniejszych badaniach przyjęto koncepcję Alexandrowicza o potrzebie podziału regła dolnego na dwie strefy różniące się warunkami klimatycznymi a zarazem leśno-produkcyjnymi. Autorzy opracowania uzyskanymi wynikami potwierdzają odrębność siedlisk zarówno niskiego, jak i wysokiego regła dolnego i potrzebę odrębnej waloryzacji siedliskowej gleb wykształconych w tych podstrefach. Konieczność odrębnej waloryzacji siedlisk górskich w podstrefach regłowych zauważali i stosowali w badaniach typologzy szkoły krakowskiej, zajmujący się oceną siedlisk górskich (Baran 1968, 1996; Sikorska 1997, 1999).

W starszych opracowaniach, przy braku szczegółowych danych analitycznych gleb, większą wagę przy ocenie warunków siedliskowych przykładano do rodzaju podłoża geologicznego. Przykładowo Alexandrowicz (1960) w Beskidzie Śląskim połączył utwory skalne warstw istebniańskich w niskim reglu dolnym z siedliskiem LMG. Nie określił cech odróżniających siedliska BMG i LMG w wysokim reglu dolnym, traktując je jako

swoisty „kompleks siedlisk”. W rejonie występowania utworów warstw magurskich Alexandrowicz (1962) określił siedliska jako „monolit trofizmu” i wydzielił w niskich położeniach regła dolnego jeden typ siedliska – LG. Autorzy opracowania nie umniejszają znaczenia podłoża skalnego w kształtowaniu jakości siedlisk górskich. Pragną jedynie zauważyć, że podłoże to może charakteryzować się pewną zmiennością, która utrudnia bezpośrednio wnioskowanie o jakości siedlisk na podstawie samego rodzaju podłoża skalnego. Prezentowane badania wskazują, że na podłożu różnorodnych skał bezwęglanowych, w niskich położeniach, jak i wysokich regła dolnego, tworzą się zróżnicowane siedliska na tym samym podtypie gleby i rodzaju skały macierzystej. To zjawisko dotyczy zwłaszcza silnie rozpowszechnionych gleb brunatnych bielcowych oraz brunatnych kwaśnych. Rozróżnianie siedlisk powinno opierać się w takim przypadku na szczegółowych kryteriach glebowych, zwłaszcza na uziarnieniu zwietrzliny skalnej. Gleby należące do tego samego podtypu, ale zasobniejsze we frakcje drobne ( $<0,02$  mm) wykazują wyższą produktywność w określonych warunkach klimatycznych (w tej samej podstrefie regłowej) aniżeli gleby mniej zasobne we wspomniane frakcje. Większa zawartość frakcji o średnicy  $<0,02$  mm wiąże się z jednoczesną wyższą zasobnością zwietrzliny w składniki pokarmowe, jak również z lepszymi właściwościami do retencjonowania wody. Iły obok materii organicznej stanowią podstawowy składnik zdolny do sorpcji fizykochemicznej, odpowiedzialny za efektywną pojemność sorpcyjną kationów w glebie (Gruba 2012). Przyczyniają się one ponadto do poprawy strukturalności gleby (Paluszek 2011), przez co wpływają na właściwości biochemiczne i wzrost żywności gleby (Chakrabarti et al. 2004; Gianfreda et al. 2005). If tworzy ponadto trwałe połączenia z substancją organiczną gleby, przez co wzrasta ich stabilność i odporność na rozkład biochemiczny (Pastuszko 2007).

Uziarnienie gleb jest cechą, którą wcześniej wykorzystano do oceny żywności gleb leśnych obszarów niżowych i wyżynnych w Polsce. Brożek i in. (2007, 2011) sformułowali liczbowy wskaźnik żywności gleb leśnych – siedliskowy indeks glebowy, uwzględniający całkowity zasób frakcji  $<0,02$  mm w pedonie gleby  $1,5$  m<sup>3</sup>. Autorzy opracowania udowodnili, że wzrost zasobności części spławialnych w glebie wiąże się ze wzrostem żywności gleb i siedlisk leśnych. Niniejsza praca jest próbą wykorzystania uziarnienia gleby także do oceny jakości gleb górskich. Autorzy nie proponują ujmowania jakości gleby za pomocą wskaźnika liczbowego, proponują natomiast do tradycyjnego podejścia bazującego na ocenie typu i podtypu gleby dołączyć wycenę wybranych jej mierzalnych cech. Przedstawione, dokładniejsze kryteria służące określeniu potencjalnej produkcyj-

ności gleb, mają tu zastosowanie w przypadkach, kiedy diagnoza typu lub podtypu gleby jest niewystarczająca do oceny jej produktywności. Praca może zostać wykorzystana do uszczegółowienia kryteriów glebowych służących rozpoznaniu typów siedlisk górskich, zamieszczonych w obowiązujących instrukcjach siedliskowych (Siedliskowe podstawy hodowli lasu 2004; Instrukcja urządzania lasu 2012).

Odniesienie uzyskanych w opracowaniu charakterystyk typów siedliskowych lasów górskich do jednostek klasyfikacji siedlisk wyróżnianych w krajach ościenych jest utrudnione ze względu na różnice stosowanych systemów klasyfikacji. W najbardziej zbliżonych pod względem warunków przyrodniczych regionach Karpat Słowackich czy Ukraińskich stosuje się florystyczne systemy klasyfikacji siedlisk (Randuška 1977; Gieruszynski 1988), które w rejonach występowania kompleksów gleb brunatnoziemnych, w podobnych położeniach górskich, wyróżniają głównie typy lasów bukowych, bukowo-jodłowych bądź świerkowo-bukowo-jodłowych.

## 5. Podsumowanie i wnioski

W obszarach górskich nadrzędnym czynnikiem warunkującym produktywność siedlisk leśnych jest klimat. Szczegółowa wycena jakości gleb i ich wpływu na jakość siedlisk leśnych winna być uwzględniana w odrębnych pod względem cech klimatu strefach regłowych. Prezentowane badania potwierdzają potrzebę wyodrębnienia wyższej strefy regła dolnego o charakterze przejściowym pomiędzy niską strefą regła dolnego a właściwym regłem górnym. Można przyjąć, że w położeniach wysokiego regła dolnego gleby zbliżone pod względem właściwości fizyko-chemicznych posiadają niższą produktywność o około jedną klasę siedliska w stosunku do podobnych gleb, wykształconych w niskim reglu dolnym. Przykładowo gleba, która w niskich położeniach regła dolnego stanowi podłoże siedliska lasu górskiego świeżego, w wysokich położeniach regła dolnego będzie tworzyła siedlisko lasu mieszanego górskiego świeżego, w reglu górnym zaś boru wysokogórskiego.

Wykorzystanie uziarnienia zwietrzliny do oceny jakości gleb i siedlisk górskich znajduje szczególne zastosowanie w odniesieniu do gleb dominujących – gleb brunatnych kwaśnych oraz brunatnych bielcowych. Należy do tych podtypów gleb przyjąć zasadę, że zwietrzliny bardziej drobnoziarniste – gliny piaszczysto-ilaste, gliny zwykłe, gliny pylasto-ilaste, gliny ilaste oraz iły, odznaczają się wyższą zasobnością w składniki odżywcze, a zatem i większą produktywnością powstających na takim podłożu siedlisk. Zwietrzliny uboższe w drobne

frakcje o uziarnieniu piasków gliniastych, glin piaszczystych oraz glin lekkich łączą się z siedliskami o niższej urodzajności. W przypadku występowania w profilu poziomów o różnym uziarnieniu należy kierować się uziarnieniem poziomów o największej miąższości. W odniesieniu do podtypów gleb zarówno mniej, jak i bardziej żyznych znaczenie uziarnienia w ocenie jakości siedlisk jest mniejsze. Gleby bielcowe oraz bielice powstają w górach na silnie przepuszczalnych zwietrzelinach kamienisto-piaszczystych, zaś gleby brunatne wylugowane czy brunatne właściwe wyróżniają się korzystnymi cechami chemicznymi, a uziarnienie w tych glebach jest mniej istotne.

Do oceny produkcyjności gleb górskich sformułowano prosty klucz, który wykorzystuje piętrowość stref klimatycznych, typ i podtyp gleby wraz z uziarnieniem zwietrzelinek skalnej.

## Podziękowania

Niniejsza praca powstała dzięki dofinansowaniu Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Warszawie.

## Literatura

- Alexandrowicz B.W. 1960. Typy lasu u źródeł Wisły. *Sylwan*, 7: 21–34.
- Alexandrowicz B.W. 1962. Przyrodnicze podstawy przebudowy lasów Beskidu Żywieckiego. *Sylwan*, 2: 13–21.
- Alexandrowicz B.W. 1972. Typologiczna analiza lasu. Warszawa, PWN.
- Baran S. 1968. Gleby świerczyn Żywiecczyzny. *Sylwan*, 6: 45–58.
- Baran S. 1996. Zróżnicowanie warunków siedliskowych w Nadleśnictwie Wiśla. *Sylwan*, 7: 77–92.
- Brożek S., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Lasota J., 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylwan*, 2: 26–34.
- Brożek S., Lasota J., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Błońska E. 2011. Zastosowanie siedliskowego indeksu glebowego (SIG) w diagnozie typów siedlisk leśnych. *Roczniki Gleboznawcze*, 62(4): 133–149.
- Chakrabarti K., Sinha N., Chakraborty A., Bhattacharyya P. 2004. Influence of soil properties on urease activity under different agro-ecosystems. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 50, 4–5: 477–483.
- Gianfreda L., Rao A.M., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C. 2005. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *The Science of the total environment*, 341(1–3): 265–79.
- Gieruszyński Z. J. 1988. Opredelitel tipov lesa Ukrainских Karpat. L'vovskij lesotekhnicheskij institut. L'vov.
- Gruba P. 2012. Zależności pomiędzy wybranymi właściwościami jonowymiennymi gleb leśnych oraz ich zmiany pod wpływem drzewostanów. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie nr 489, seria Rozprawy, Zeszyt nr 366, 70 s.
- Instrukcja urządzania lasu. 2012. Instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych. Warszawa, CILP.
- Klasyfikacja gleb leśnych Polski. 2000. Warszawa, CILP.
- Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. 2008. Warszawa, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubińska Z. 1991. Metody analizy właściwości gleb i roślin. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska.
- Paluszek J. 2011. Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. *Acta Agrophysica*, 191(2): 1–139.
- Pastuszko A. 2007. Substancja organiczna w glebach. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 30: 83–98.
- Randuška D. 1977. Fitocenologia a lesnicka typologia. Učebne texty. Zvolen, VSLD.
- Siedliskowe Podstawy Hodowli Lasu. 2004. Warszawa, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu.
- Sikorska E. 1997. Studium nad systematyką gorceńskich siedlisk leśnych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Ser. Rozpr. 229.
- Sikorska E. 1999. Aktualne problemy typologii leśnej na terenach wyżynnych i górskich. *Sylwan*, 11: 89–97.

## Wkład autorów

J.L., E.B. – koncepcja, założenia, interpretacja wyników i opracowanie tekstu artykułu, M.Z., T.W. prace terenowe i pobór prób do badań.

## The use of the particle size distribution of soils in estimating quality of mountain forest sites

Jarosław Lasota\*, Ewa Błońska, Maciej Zwydak, Tomasz Wanic

University of Agriculture in Kraków, Faculty of Forestry, Department of Forest Soil Science,  
Al. 29 Listopada 46, 31–425 Kraków, Poland.

\*Tel. +48 12 662 50 31; rllasota@cyf-kr.edu.pl

**Abstract.** The physical and chemical properties of soil are the basic features that are used in the assessment of mountain sites. The aim of this study was to produce a simple key for classifying forest sites in mountain areas using soil particle size distribution. 200 plots (standard typological space) were selected for examination, most of which are typical of the Carpathians – being dominated by flysch rock. A few plots were located in the Sudety and Tatra Mountains, which have a different surface geology, mostly metamorphic rock and granite. The study proved that soil properties (reaction, base saturation, content of base cations, organic carbon and nitrogen) are helpful in distinguishing and assigning soils to particular site types. The particle size distribution of forest mountain sites separated into different categories in terms of productivity. These results can be used to improve the classification of forest mountain sites.

**Key words:** forest soil, particle size distribution, mountain forest sites

### 1. Introduction

The particle size distribution of a soil is closely related to the properties of the parent rock. It is one of the basic factors determining the growth conditions of the forests developing on that soil under certain climatic conditions. The abundance of rock weathering in, especially, highly transformed clay minerals affects sorption properties, nutrient availability to plants as well as the biological depth of the soils derived from them.

The particle size distribution of a soil is one of the characteristics to be determined on the main and auxiliary typological sites during forest inventory in the mountain regions (Instruction on Forest Management Planning (Instrukcja Urządzania Lasu, 2012)). At the same time, there is no instruction that could improve the interpretation of the results of soil analysis and their use for the assessment of the fertility and productivity of forest sites.

The aim of this study is to show the regularities observed in the particle size analysis of soils of the moun-

tain sites of different fertility and productivity. The authors attempted to develop a simple tool to improve the process of diagnosing the types of forest sites in the mountain regions based on soil particle size distribution.

### 2. Materials and methods

Two hundred sample plots meeting the criteria of a model typological site, where the relationship between vegetation cover and soil is evident, were selected for the research. Most of the plots represented sites and soils typical of the Carpathians built of flysch rocks. Some of the plots were located in the Sudetes and Tatra on a different parent material, mainly metamorphic rocks and granites (Table 1).

The paper broadly describes soil subtypes, which form diverse sites and are the most difficult to diagnose. These soil subtypes, Hyperdystric Cambisols and Albic Cambisol, are described in detail taking into consideration their location.

On the basis of the results, a simple tool (chart) was proposed to facilitate the process of diagnosing sites in respective montane sub-zones, taking into account soil subtypes and their selected properties. The tool applies to soils and sites prevailing in the mountains having the greatest impact on forest management in the mountain regions. The relationships presented in Table 2 do not apply to valuable soils and sites associated with local orography and water relations as well as to the out-of-zone soils such as Histic Gleysols, Histosols and Fluvisols.

The research method applied to sample plots was consistent with the method used in the soil-site studies. Deep soil pits (1.0–1.2 m) were dug in the central part of each plot. A mixed bulk sample was taken from the horizons of humus accumulation. Soil samples from deeper horizons were taken from the main pit. Stands were measured on each plot (with an area of 0.25 ha) and a list of herb layer species was made to diagnose the types of forest sites by stand and herb layer vegetation.

The collected samples were subjected to analysis for basic soil properties according to the methods used in soil studies (Ostrowska et al. 1991), specifically to determine:

- Particle-size of soils using Bouyoucos-Casagrande's areometric method modified by Prószyński, grouping the particles into classes according to the Classification of the Polish Society of Soil Science (2008).
- pH in H<sub>2</sub>O and in 1M KCl by potentiometry, using the soil to solution ratio 1:5 in organic horizons and 1:2.5 in mineral horizons.
- Hydrolytic acidity (Y) and the sum of exchangeable base cations (Skp) by Kappen's method, being the

basis for the calculation of soil sorption capacity (T) and degree of saturation of the sorption complex with base cations (V).

- Exchangeable acidity and the content of mobile aluminium by Sokołow's method.
- Organic carbon using Tiurin method
- Total nitrogen using the Kjeldahl method.
- Content of calcium, magnesium, potassium and sodium in the 1M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> extract with pH 7 using the ASA method, including the calculated sum of base cations.

The assignment of the plots to forest site types was done according to the classification system by Alexandrowicz (1972) using four site attributes (climatic conditions, soil conditions, stand characteristics and herb layer vegetation). The obtained research material was classified separately for each of the climatic-forest zones established by Alexandrowicz (1972) on the basis of stable soil properties, soil type and subtype, kind of bedrock and soil particle size distribution. The types and subtypes of soils were determined according to the criteria set in the Classification of Polish Forest Soils (2000). Along with the soil diagnosis, the type of forest sites was determined on the basis of stand characteristics. The comparison of both diagnoses allowed to ultimately determine the type of forest site, which was additionally confirmed by the identification of plant species in the herb layer.

Statistical analysis of the data was performed using Statistica 10. The nonparametric Tukey's HSD test was used to determine the level of significance of differences between the mean properties in the genetic horizons of soils forming different forest sites.

**Table 1.** The number of research plots in the different elevation zones in connections with soil subtype and parent material

Location	Mountain ranges	Number of research plots soil subtype (type of parental material)
Upper montane zone	Beskids	4 Bw (sandstones), 2 BRk (sandstones)
	Sudetes	2 Bw (granites)
	Tatras	5 Bw (granites), 5 Rp (limestones and dolomites)
Upper sub-zone of the lower montane zone	Beskids	12 BRb (sandstones), 15 BRk (sandstones)
	Sudetes	10 BRk, 6 BRb, 5Bw (granites and nutrient-poor gneisses), 4 BRwy (alkaline igneous rocks)
	Tatras	7 Bw, 5 BRk (granites), 5 Rbr (limestones and dolomites)
Lower sub-zone of the lower montane zone	Beskids	48 BRk, 22 BRb, 13 BRwy (sandstones and schists)
	Sudetes	8 BRwy, 2BRw, 2 BRs (sandstones), 6 BRwy, 2 BRw (alkaline igneous rocks)
	Tatras	3 PRbr, 3 BRw, 2 BRwy (sandstones and schists), 2Rbr (limestones and dolomites)

Notes: Bw – Haplic Podzol, BRb – Albic Cambisol, BRk – Hyperdystric Cambisol, BRwy – Epidystric Cambisol, BRw – Eutric Cambisol, BRs – Cambisol Humic Eutric, PRbr – Calcaric Cambisol Sceletic, Rbr – Cambic Rendzic, Rp – Mollic Rendzic

### 3. Results

The biggest problem in estimating the quality of mountain sites is the assessment of the productivity of Hyperdystric Cambisols and Albic Cambisols (formerly known as brown podzolized soils). The soils of these subtypes dominate over large areas in the mountain regions where parent material is composed of sandstone devoid of carbonates and other acid igneous or transformed rocks.

The paper describes Albic Cambisols and Hyperdystric Cambisols because, in addition to soil subtype, other criteria are required for their assessment. In the case of the least fertile soils, such as Haplic Podzols with an advanced podzolization process, and in the case of more fertile Cambisols, such as Epidystric Cambisols, Eutric Cambisols or Humic Cambisols (Eutric), the problems with diagnosing the quality of sites developed on such soils in the mountain regions should not occur. The detailed properties of Epidystric Cambisols and Eutric Cambisols in the mountain regions are given in Tables 9 and 10.

In the case of Haplic Podzols, a diagnosis of forest site types should contain the conditions of their location and associated climate characteristics. If Haplic Podzols occur at low elevations of the lower montane zone, the mountain mixed coniferous forest is a potential site type. On Haplic Podzols at higher elevations of the lower montane zone, known as upper sub-zone of the lower montane zone, the mountain mixed coniferous forests co-occur with the mountain coniferous forests on the borderline with the upper montane zone (Table 2). Their separation is largely based on the growth characteristics and productivity of spruce forests. Especially different site conditions, favourable in terms of soil trophism, are on Epidystric Cambisols, Eutric Cambisols and Humic Cambisols (Eutric). In the lowest sub-zone of the lower montane zone, these soils are covered by mountain fresh deciduous forests, while in the upper sub-zone – due to a reduced productivity caused by adverse climatic conditions – by mountain fresh mixed deciduous forests (Table 2).

The assessment of the productivity of Albic Cambisols is incomparably more difficult. It is an important

**Table 2.** Relationship of types and subtypes of mountain soils with types of sites in the zones

Type and subtype of soil (form of trophic)	Lower sub-zone of the lower montane zone <sup>1</sup>	Upper sub-zone of the lower montane zone <sup>2</sup>	Upper montane zone
R, PR, BRw, BRwy, BRs (eutrophic)	LGśw	LMGśw	BMWGśw
BRk (mezotrophic)	LGśw LMGśw	LMGśw BMGśw	BWGśw
BRb (oligo-mezotrophic)	LMGśw BMGśw	BMGśw LMGśw	BWGśw
Bw, Blw (oligotrophic)	BMGśw	BMGśw, BGśw	BWGśw

Symbols of type and subtype of soil: R – Rendzic Soil, PR – Calcaric Regosol, BRw – Eutric Cambisol, BRwy – Epidystric Cambisol, BRs – Cambisol Humic Eutric, BRk – Hyperdystric Cambisol, BRb – Albic Cambisol, Bw – Haplic Podzol, Blw – Podzol.

Symbols of forest site types: BWGśw – high-mountain fresh coniferous forest site, BGśw – mountain fresh coniferous forest sites, BMGśw – high-mountain fresh mixed coniferous forest site, BMGśw – mountain fresh mixed coniferous forest sites, LMGśw – mountain fresh mixed broadleaf forest sites, LGśw – mountain fresh broadleaf forest sites

<sup>1</sup> Lower sub-zone of the lower montane zone – extending from 500 (550) to 850 (900) metres a.s.l. in the Carpathian flysch, from 600 (650) to 1000 (1050) metres a.s.l. in the Tatras, from 450 (500) to 750 (800) metres a.s.l. in the Sudetes,

<sup>2</sup> Upper sub-zone of the lower montane zone (middle montane zone according to Alexandrowicz (1972)) – extending from 850 (900) to 1050 (1100) metres a.s.l. in the Carpathian flysch, from 1000 (1050) to 1200 (1250) metres a.s.l. in the Tatras, from 750 (800) to 950 (1000) metres a.s.l. in the Sudetes.

Note. In the case of certain location, specific soil was assigned by two forest sites (divided by a diagonal line) soil texture becomes a useful feature for distinguishing of forest site. In the case of loamy sand, sandy loam and light loam, potential productivity should be reduced, while sandy clay loam, loam, clay loam, silt clay loam and clay – should be increased.

**Table 3.** Selected properties of Albic Cambisols creating BMGśw at high elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions (%)				Organic C (%)	Total N (%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
Ofh	3.4±0.1	2.7±0.1	3.2±1.3	6.4±2.3	6.8±1.5	-	-	-	-	26.4±6.5	1.2±0.2
AEes	3.6±0.2	2.8±0.2	0.5±0.1	1.5±0.7	6.0±2.6	26.7±17.3	20.3±2.6	23.8±5.1	10.9±2.8	4.6±1.6	0.3±0.1
BfeBbr	4.2±0.2	3.6±0.3	0.4±0.1	2.2±0.6	11.6±5.3	46.7±19.5	18.4±4.2	23.1±5.4	7.3±1.9	2.1±0.8	0.1±0.0
BC–C	4.6±0.1	4.0±0.1	0.4±0.1	1.4±0.7	13.3±6.2	82.8±3.6	16.6±3.7	21.8±4.9	6.3±1.7	-	-

Notes: AEes – top layers of mineral humus accumulation (humus-alluvial horizon), BfeBbr – saturation horizons, BC–C – deepest horizons (parent rock). pH w H<sub>2</sub>O, pH in KCl, Soct. – sum of base cations determined in 1 M CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>, Skp. – sum of base cations determined by the Kappen method, V – base saturation

**Table 4.** Selected properties of Albic Cambisols creating LMGśw at high elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions (%)				Organic C (%)	Total N (%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
Ofh	3.4±0.1	2.7±0.1	4.0±0.6	8.2±2.0	9.3±2.9	-	-	-	-	25.7±5.1	1.3±0.2
AEes	3.6±0.2	2.8±0.2	0.7±0.2	3.0±0.7	9.3±1.6	22.5±16.7	25.1±1.7	35.9±10.5	16.5±6.7	4.9±1.7	0.3±0.1
BfeBbr	4.4±0.1	3.9±0.2	0.4±0.1	3.3±0.6	18.0±4.7	38.8±14.7	22.5±3.7	40.9±16.1	15.9±9.1	1.8±0.8	0.1±0.0
BC–C	4.7±0.2	4.1±0.2	0.5±0.1	2.9±0.3	22.5±8.5	77.0±16.2	17.3±2.8	40.5±16.0	14.9±8.8	-	-

Symbols as in Table 2

**Table 5.** Selected properties of Dystric Cambisols creating BMGśw at high elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions (%)				Organic C (%)	Total N(%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
Ofh	3.6±0.1	2.9±0.1	2.3±0.9	6.5±2.4	7.5±1.3	-	-	-	-	23.9±6.8	1.2±0.2
A	3.7±0.3	2.9±0.2	0.5±0.2	2.1±0.7	8.7±3.8	25.0±21.2	19.0±4.2	20.0±3.5	8.5±2.0	4.8±0.6	0.3±0.1
Bbr	4.2±0.1	3.5±0.1	0.3±0.2	2.1±0.3	10.3±4.9	57.5±10.5	18.5±9.2	20.0±4.0	5.5±1.5	2.0±0.8	0.1±0.0
BC–C	4.7±0.2	4.0±0.1	0.3±0.1	1.3±0.4	10.4±5.8	80.0±10.0	16.5±4.9	25.5±3.5	5.5±1.6	-	-

Symbols as in Table 2

subtype of Cambisols, frequent at higher elevations of the lower montane zone. Tables 3 and 4 specify the properties of the genetic horizons of Albic Cambisols forming the sites of mountain mixed coniferous and mountain mixed deciduous forests at high elevations of the lower montane zone. Despite a similar morphology and combination of genetic horizons, the Albic Cambisols of both types of sites differ in basic parameters deciding of the site quality. Table 11 presents the results of the assessment of the significance of differences be-

tween the mean values of the selected parameters in the respective genetic horizons of soils of the same subtype forming various forest sites at high elevations of the lower montane zone. The analysis confirms that the content of clay (< 0.002 mm) and the content of fractions < 0.02 mm in diameter are the factors that most strongly differentiate between Albic Cambisols of the mountain mixed coniferous and deciduous forests. The average content of clay fractions in the weathering of Albic Cambisols of mountain mixed coniferous forests

**Table 6.** Selected properties of Dystric Cambisols creating LMGśw at high elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions (%)				Organic C (%)	Total N (%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
Ofh	3.5±0.2	2.8±0.1	5.0±1.6	9.0±1.1	9.8±2.8	-	-	-	-	30.0±8.6	1.3±0.3
A	3.7±0.1	3.0±0.1	0.9±0.3	4.0±1.3	11.1±3.4	19.3±11.0	32.6±6.1	38.0±10.4	17.9±2.8	6.7±1.8	0.4±0.1
Bbr	4.5±0.3	3.9±0.4	0.4±0.1	3.6±0.7	23.9±9.0	40.0±12.9	22.7±1.4	48.1±9.4	19.0±3.2	1.5±0.4	0.1±0.0
BC-C	4.5±0.3	4.0±0.1	0.5±0.2	2.6±0.7	22.3±7.4	77.1±6.4	20.6±2.9	41.9±7.4	17.1±2.7	-	-

Symbols as in Table 2

**Table 7.** Selected properties of Dystric Cambisols creating LMGśw at low elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions (%)				Organic C (%)	Total N(%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
Ofh	3.6±0.2	2.8±0.2	4.9±2.3	10.4±2.9	9.6±2.5	-	-	-	-	31.1±6.3	1.4±0.3
A	3.6±0.1	2.8±0.1	0.6±0.2	3.1±1.6	9.9±3.6	26.0±20.0	26.6±6.3	28.5±4.4	11.4±2.6	4.7±2.0	0.2±0.1
Bbr	4.3±0.3	3.9±0.2	0.3±0.1	3.3±1.0	20.8±8.9	41.5±12.3	22.5±5.0	32.7±6.7	9.9±1.9	1.7±0.8	0.1±0.0
BC-C	4.6±0.2	4.1±0.2	0.3±0.2	2.3±0.7	23.4±7.1	77.0±15.1	21.2±4.5	30.6±17.3	10.4±7.5	-	-

Symbols as in Table 2

**Table 8.** Selected properties of Dystric Cambisols creating LGśw at low elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions (%)				Organic C (%)	Total N (%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
A	4.0±0.2	3.2±0.2	1.4±0.7	6.5±2.7	17.4±3.0	15.8±12.7	31.0±5.1	41.8±9.8	17.2±4.4	6.1±2.1	0.4±0.1
Bbr	4.5±0.2	3.9±0.2	0.7±0.5	4.1±1.0	27.6±5.4	38.1±19.8	22.5±4.3	51.9±11.4	18.7±5.7	1.1±0.3	0.1±0.0
BC-C	4.9±0.3	3.9±0.2	2.4±2.0	5.1±2.0	36.0±10.9	76.2±18.4	19.2±4.9	50.9±12.7	20.7±7.9	-	-

Symbols as in Table 2

**Table 9.** Selected properties of Podzols creating BMGśw and BGśw at high elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions in mm				Organic C. (%)	Total N (%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
Ofh	3.7±0.2	2.9±0.2	3.1±2.0	6.4±1.6	4.1±2.4	-	-	-	-	37.8±12.1	1.4±0.4
AEes	3.8±0.2	3.1±0.2	0.4±0.4	1.5±1.6	1.4±0.7	18.0±21.9	29.7±15.6	25.9±7.1	6.5±3.2	4.7±4.7	0.2±0.2
Bhfe	4.3±0.2	3.8±0.2	0.2±0.1	1.0±0.7	1.3±0.6	36.5±22.2	25.8±7.9	19.4±7.2	4.6±3.0	4.5±2.8	0.2±0.1
BC-C	4.6±0.3	4.2±0.3	0.1±0.1	0.5±0.2	2.2±1.1	72.5±18.7	24.3±7.8	20.1±8.5	5.2±2.9	1.31±1.29	0.1±0.1

Symbols as in Table 2

**Table 10.** Selected properties of Meso-eutric Cambisols creating LGśw at low elevations of the lower montane zone (mean values and standard deviations)

Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Soct. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions in mm (%)				Organic C (%)	Total N (%)
						> 2	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002		
A	4.3±0.3	3.4±0.3	2.0±1.8	4.0±2.4	9.7±7.9	26.6±32.4	28.7±12.0	33.7±13.4	8.4±6.6	2.8±2.0	0.2±0.2
Bbr	4.7±0.4	3.8±0.2	2.7±3.8	4.9±5.2	19.9±23.6	43.6±25.5	26.9±11.1	36.8±14.2	9.2±6.8	1.4±1.1	0.1±0.1
BC–C	5.4±0.6	4.1±0.5	7.8±6.6	12.9±9.1	53.6±27.6	67.0±29.4	25.0±11.2	36.0±15.4	10.6±9.4	0.7±0.6	0.1±0.1

Symbols as in Table 2

are by approximately 6–8% lower than the content of these fractions in the respective genetic horizons of the soils of mountain mixed deciduous forests; the differences in the content of fractions < 0.02 mm reach 12–18% in subsequent soil horizons, respectively (Tables 3 and 4). The differences in the content of fractions < 0.02 mm in the subsequent horizons of Albic Cambisols of the mountain mixed coniferous and mountain mixed deciduous forests in the upper sub-zone of the lower montane zone are shown in Figure 1a–c. The difference in the content of fine fractions in the soils under study is found to be associated with a different content of exchangeable base cations and in the degree of saturation with these cations (Tables 3 and 4).

At low elevations (in the so-called lower sub-zone) of the lower montane zone, Albic Cambisols are infrequent. In the relatively mild climate prevailing in this zone, Albic Cambisols are mostly covered by mountain fresh mixed deciduous forests and only occasionally by mountain fresh mixed coniferous forests. As in the upper sub-zone, the soils of mountain mixed coniferous forests differ in a higher content of coarse particles which, in fine earth fractions, consist of loamy sands, sandy loams or light loams. Mountain mixed deciduous forests growing on the weathering with the particle size distribution like that of loams, silty loams or silty clay loams are more productive (Table 2). The weathering with the particle size distribution like that of loams silty loams or silty clay loams on which mountain mixed deciduous forests grow is more productive (Table 2).

Hyperdystric Cambisols are another subtype of Cambisols widespread in the lower montane zone. Such soils can derive from the weathering of all non-carbonate massive rocks – sandstones, granites, gneisses, greywackes, crystalline schists, quartz porphyries and even amphibolites, greenschists or basalts. The analysis of the research material shows that at low elevations of the lower montane zone, Hyperdystric Cambisols form

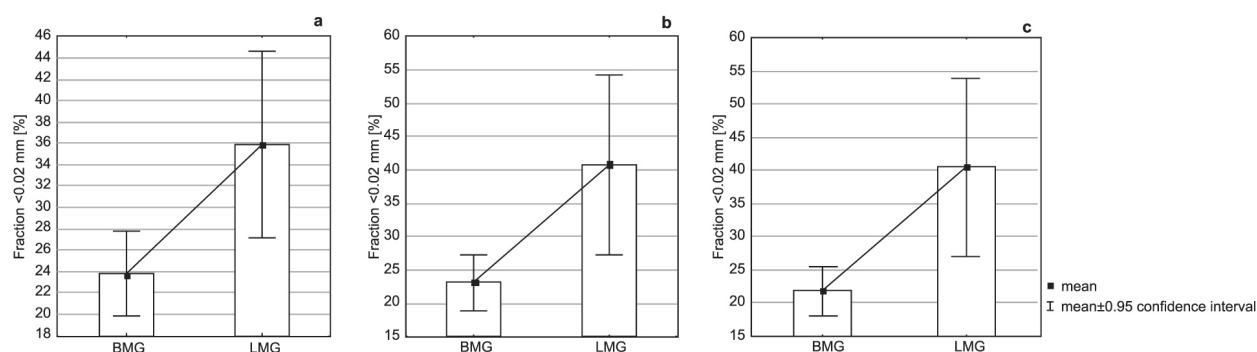
the site of mountain fresh deciduous or mountain fresh mixed deciduous forests. In the upper sub-zone of the lower montane zone, climate has a limiting effect on site productivity. Mountain fresh mixed deciduous and mountain fresh mixed coniferous forests co-occur on the same type of soil (Table 2). The averaged values of the properties of Hyperdystric Cambisols (broken down into genetic horizons) of the mountain mixed coniferous and mountain mixed deciduous forests in the upper sub-zone of the lower montane zone are given in Tables 5 and 6. The properties of Hyperdystric Cambisols of the mountain mixed deciduous and mountain deciduous forests in the lower sub-zone of the lower montane zone are presented in Tables 7 and 8a.

Hyperdystric Cambisols of the mountain mixed coniferous and mountain mixed deciduous forests at high elevations of the lower montane zone differ mainly in particle size. These differences are reflected especially in the percentage content of fine earth fractions – fractions < 0.02 mm and the smallest clay fraction (< 0.002 mm) which are important in all genetic horizons (Table 11). The weathering of Hyperdystric Cambisols of mountain mixed deciduous forests contains, on average, 12–28% more fractions < 0.02 mm and 9–14% more clay fractions, compared with the Hyperdystric Cambisols of the mountain mixed coniferous forests (Tables 5 and 6). Differences in the content of fractions in these soils are also illustrated in Figure 2a–c. Differences in the content of silt fraction are important in the mineral-humus and bedrock horizons of the soils under review. Different clay content in the weathering of Hyperdystric Cambisols results in a different content of exchangeable base cations and a different degree of saturation of the sorption complex by these cations visible in all genetic horizons (Table 11). Moreover, the humus accumulation horizons of Hyperdystric Cambisols in mountain mixed deciduous and mountain mixed coniferous forests differ in the content of organic carbon and total nitrogen.

**Table 11.** The level of significance of differences between the properties in genetic horizons of soils creating diverse forest sites ( $p < 0.05$ , nonparametric HSD test)

TSL	Soil	Horizon	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Skp. cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup>	V (%)	Fractions				Organic C (%)	Total N (%)	C/N
							> 2 mm	0.1–0.02	< 0.02	< 0.002			
BMG-LMG (WRD)	BRb	AEes	0.4682	0.7081	<u>0.0005</u>	<u>0.0081</u>	0.5614	<u>0.0008</u>	<u>0.0093</u>	<u>0.0418</u>	0.7156	0.3307	0.4887
		BfBr	<u>0.0213</u>	0.0546	<u>0.0027</u>	<u>0.0222</u>	0.4364	0.0572	<u>0.0085</u>	<u>0.0175</u>	0.6112	0.3792	<u>0.0051</u>
		BC-C	0.6948	0.7127	<u>0.0002</u>	<u>0.0247</u>	0.5596	0.6821	<u>0.0055</u>	<u>0.0142</u>	-	-	-
BMG-LMG (WRD)	BRk	A	0.7810	0.9238	<u>0.0011</u>	0.1698	0.4595	<u>0.0002</u>	<u>0.0003</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.0103</u>	<u>0.0052</u>	0.1999
		Bbr	<u>0.0100</u>	<u>0.0091</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.0006</u>	<u>0.0016</u>	0.1695	<u>0.0002</u>	<u>0.0002</u>	0.1424	0.0524	<u>0.0002</u>
		BC-C	0.3027	1.0000	<u>0.0004</u>	<u>0.0004</u>	0.2040	<u>0.0402</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.0002</u>	-	-	-
LMG-LG (NRD)	BRk	A	<u>0.0002</u>	<u>0.0002</u>	<u>0.0032</u>	<u>0.0002</u>	0.1951	0.0973	<u>0.0014</u>	<u>0.0023</u>	0.1409	<u>0.0276</u>	<u>0.0023</u>
		Bbr	0.0855	0.8992	0.0906	<u>0.0439</u>	0.6883	0.9854	<u>0.0004</u>	<u>0.0004</u>	<u>0.0201</u>	0.9016	<u>0.0002</u>
		BC-C	<u>0.0038</u>	0.1151	<u>0.0009</u>	<u>0.0071</u>	0.9198	0.3617	<u>0.0060</u>	<u>0.0075</u>	-	-	-

Notes: TSL – compared forest site types, WRD – upper sub-zone of the lower montane zone, NRD – lower sub-zone of the lower montane zone, Skp. – sum of base cations determined by the Kappen method, V – base saturation

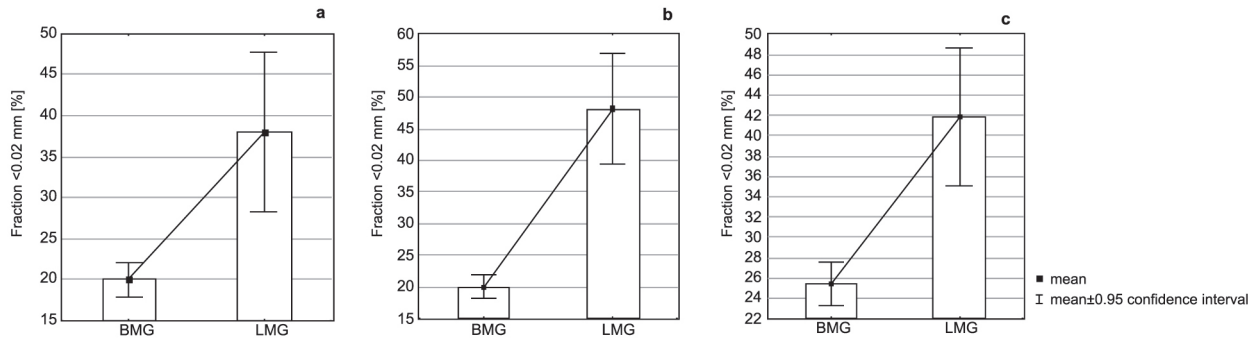
**Figure 1.** Average content of fraction <0.02 mm in horizon of Albic Cambisol of BMGśw and LMGśw at high elevations of the lower montane zone: a) humus-mineral horizon (AEes), b) cambic horizon (BfeBr) c) parent rock horizon (C)

At low elevations of the lower montane zone, the characteristics of the Hyperdystric Cambisols of mountain mixed deciduous and mountain deciduous forests differ in the same characteristics as Hyperdystric Cambisols at higher elevations of the lower montane zone (Table 7 and 8). The difference in the content of silt fractions in the genetic horizons of Hyperdystric Cambisols is on average 14–20% (the content of this fraction in the soils of the mountain deciduous forest is higher) (Fig. 3a–c). The Hyperdystric Cambisols of the mountain deciduous forests contain on average 6–10% more clay in fine earth fractions than the soils of the same subtype of the mountain mixed deciduous forests. Other characteristics of these soils – pH, exchangeable base

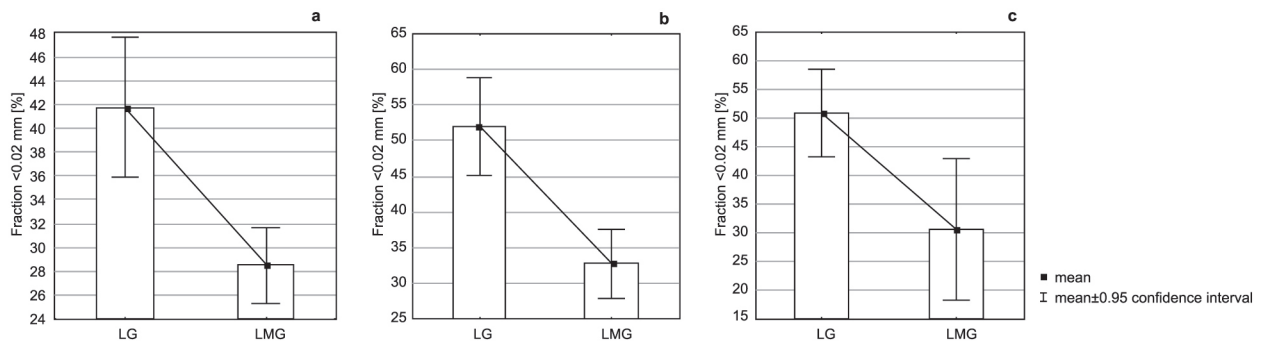
cations, saturation with these cations as well as nitrogen content and C/N ratio in the mineral-humus horizons, differ in the horizons of humus accumulation and deepest horizons of Hyperdystric Cambisols, as expressed in the values shown in Table 11.

#### 4. Discussion

The research, whose results are being presented, is a continuation and at the same time a contribution to the mountain habitat studies conducted by typologists from the so-called Cracow school. The pioneer studies concerning mountain site assessment were carried out by Alexandrowicz (1960, 1962) in Beskid Śląski and



**Figure 2.** Average content of fraction < 0.02 mm in the horizon of Dystric Cambisols of BMGśw and LMGśw at high elevations of the lower montane zone a) humus-mineral horizon (A), b) cambic horizon (Br), c) parent rock horizon (C)



**Figure 3.** Average content of fraction < 0.02 mm in the horizon of Dystric Cambisols of LGśw and LMGśw at the lower montane zone a) humus-mineral horizon (A), b) cambic horizon (Br), c) parent rock horizon (C)

Beskid Żywiecki. Alexandrowicz was the first to propose distinguishing the upper sub-zone of the lower montane zone (the so-called middle montane zone) as the zone with a reduced forest production potential. He defined basic relationships between interactions of site types and parent rock in a given montane zone. The authors adopted Alexandrowicz's concept to divide the lower montane zone into two sub-zones differing in climatic conditions and forest-production capacity. The results of the research confirm the differences occurring between the sites of both lower and upper sub-zones of the lower montane zone and the need for a separate valuation of the soils developed in each of the sub-zones. The need for such separate valuation was realized by the typologists from the Cracow school who used it in their research dealing with the assessment of mountain sites (Baran 1968, 1996; Sikorska 1997, 1999).

With the lack of detailed soil analysis data in earlier studies, more attention in the assessment of site conditions was given to the type of bedrock. For example in

Beskid Śląski, Alexandrowicz (1960) linked the Istebna rock layers in the lower sub-zone of the lower montane zone with the LMG habitat. He did not specify characteristics distinguishing between BMG and LMG in the upper sub-zone of the lower montane zones, but treated them as a specific 'complex of sites'. In the area of the Magura rock layers, Alexandrowicz (1962) described the sites as a 'trophic monolith' and distinguished one type of site – LG in the low sub-zone of the lower montane zone. The authors of this study do not diminish the role of the underlying bedrock in shaping the quality of mountain sites. They only attempt to draw attention to the fact that bedrock may feature a certain variability, which makes it difficult to draw direct conclusions about site quality based on the same type of bedrock alone. The presented study shows that, on various non-carbonate rocks at low and high elevations of the lower montane zone, different sites are formed on the same soil subtype and type of bedrock. This phenomenon particularly applies to the widespread Albic Cambisols and

Hyperdystric Cambisols. In such a case, distinguishing between sites should be based on detailed soil criteria, especially particle size distribution of rock weathering. The soils of the same subtype, but more abundant in fine fractions ( $< 0.02$  mm) are more productive under certain climatic conditions (in the same sub-zone) than the soils less abundant in the said fractions. The higher content of fraction  $< 0.02$  mm in diameter is associated with a higher nutrient content in the weathering material and better water retention properties. Clays and organic matter are the basic components capable of physico-chemical sorption processes, responsible for the effective sorption capacity of cations in the soil (Gruba 2012). Furthermore, they contribute to improving soil structure (Paluszek 2011), thus affecting the biochemical properties of soil and increase its fertility (Chakrabarti et al. 2004; Gianfreda et al. 2005). Clay also forms stable bonds with soil organic matter, thus increasing its stability and resistance to biochemical decomposition (Pastuszko 2007).

Soil particle size distribution is a characteristic that was previously used in the assessment of soil fertility in forest lowlands and uplands in Poland. Brożek et al. (2007, 2011) formulated a numerical indicator of the fertility of forest soils – Soil Site Index (SIG), taking into account the total content of fractions  $< 0.02$  mm in a soil pedon of  $1.5 \text{ m}^3$ . The authors of the study have demonstrated that an increase in the content of fractions  $< 0.02$  mm in the soil is associated with an increase in the fertility of soils and forest sites. This study is also an attempt to use soil particle size distribution in the assessment of the quality of mountain soils. The authors do not propose to assess soil quality using a numerical index, but rather suggest to supplement the traditional approach based on the assessment of soil types and subtypes with the valuation of selected measurable soil parameters. The more detailed criteria of determining soil potential productivity proposed by the authors are applicable whenever the diagnosis of the soil type or subtype is insufficient to assess its productivity. The study can be useful for a more detailed specification of the soil criteria to diagnose mountain site types included in the obligatory habitat-related documents (Ecological basis of silvicultural management (Siedliskowe podstawy hodowli lasu, 2004); Instruction on forest management planning (Instrukcja urządzania lasu, 2012)).

The reference of the characteristics of mountain forest site types obtained in this study to the site classification units distinguished in the neighbouring countries is difficult because of the different classification systems

used. In the Slovak and Ukrainian Carpathians, where natural conditions are most similar, floristic systems of site classification are used (Randuška 1977; Gieruszyński 1988); at similar elevations in the regions where Cambisols occur, they distinguish mainly beech, beech-fir or spruce-beech-fir forests.

## 5. Summary and results

Climate is the main factor determining the productivity of forest sites in mountain regions. A detailed evaluation of soil quality and its impact on the productivity of forest sites should take into consideration the climatic characteristics of different montane zones. The presented study confirms the need to distinguish the upper sub-zone of the lower montane zone being a transition zone between the low sub-zone of the lower and upper montane zones. It can be assumed that at high elevations of the lower montane zone, soils having similar physical and chemical properties are less productive by about one site class compared with similar soils developed in the lower montane zone. For example, the soil on which fresh mountain deciduous forests grow at low elevations of the lower montane zone will be the site of fresh mixed deciduous mountain forests at high elevations of the lower montane zone and of high-mountain coniferous forests in the upper montane zone.

The particle size distribution of weathering used for the assessment of the quality of mountain soils and sites can be particularly useful in the case of dominant soils – Hyperdystric Cambisols and Albic Cambisols. A general rule that should be adopted for these two soil subtypes is that the higher is the content of fine particles in the weathering like –sandy clay loams, loams, silty clay loams, clay loams and loams, the higher is the content of nutrients and, therefore, the greater productivity of a site for growing forest trees. The weathering less abundant in fine fractions like –loamy sands, sandy loams and light loams – combine with the less fertile sites. When the particle size distribution varies in the horizon profile, the particle size distribution in the horizons with the highest thickness should be taken into account.

With regard to the subtypes of soils of different fertility, the role of particle size distribution in the assessment of site quality is smaller. Cambisols and Podzols in the mountains develop on a highly permeable rock and sand weathering, whereas Epidystric Cambisols or Eutric Cambisols are characterised by favourable chemical properties and therefore the particle size distribution of these soils is less important.

To evaluate the productivity of mountain soils, a simple tool was developed involving climate zonation, as well as soil type and subtype including particle size distribution of rock weathering.

## Acknowledgements

Thanks to the General Directorate of the State Forests in Warsaw for their financial support for this study.

## Author's contribution

J.L., E.B. – concept, assumptions, interpretation of the results, text preparation and editing.

M.Z., T.W. – fieldwork, soil sampling.

## References

- Alexandrowicz B.W. 1960. Typy lasu u źródeł Wisły [Forest types at sources of the Vistula river]. *Sylwan*, 7: 21–34.
- Alexandrowicz B.W. 1962. Przyrodnicze podstawy przebudowy lasów Beskidu Żywieckiego [Reconstitution of the Żywiec Beskid mountains forests along natural bases]. *Sylwan*, 2: 13–21.
- Alexandrowicz B.W. 1972. Typologiczna analiza lasu. Warszawa, PWN.
- Baran S. 1968. Gleby świerczyn Żywiecczyzny [Soils under spruce in Żywiec region]. *Sylwan*, 6: 45–58.
- Baran S. 1996. Zróżnicowanie warunków siedliskowych w Nadleśnictwie Wisła. *Sylwan*, 7: 77–92.
- Brożek S., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Lasota J., 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylwan*, 2: 26–34.
- Brożek S., Lasota J., Zwydak M., Wanic T., Gruba P., Błońska E. 2011. Zastosowanie siedliskowego indeksu glebowego (SIG) w diagnozie typów siedlisk leśnych [Application of the trophic soil index (SIG) in the diagnosis of forest site types]. *Roczniki Gleboznawcze*, 62(4): 133–149.
- Chakrabarti K., Sinha N., Chakraborty A., Bhattacharyya P. 2004. Influence of soil properties on urease activity under different agro-ecosystems. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 50, 4–5: 477–483.
- Gianfreda L., Rao A.M., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C. 2005. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *The Science of the total environment*, 341(1–3): 265–79.
- Gieruszyński Z. J. 1988. Oppedeliteli tipov lesa Ukrainskih Karpat. L'vovskij lesotehničeskij institut. L'vov.
- Gruba P. 2012. Zależności pomiędzy wybranymi właściwościami jonowymiennymi gleb leśnych oraz ich zmiany pod wpływem drzewostanów. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie nr 489, seria Rozprawy, Zeszyt nr 366, 70 p.
- Instrukcja zarządzania lasu. 2012. Instrukcja wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych. Warszawa, CILP.
- Klasyfikacja gleb leśnych Polski. 2000. Warszawa, CILP.
- Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. 2008. Warszawa, Polskie Towarzystwo Gleboznawcze.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy właściwości gleb i roślin. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska.
- Paluszek J. 2011. Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. *Acta Agrophysica*, 191(2): 1–139.
- Pastuszko A. 2007. Substancja organiczna w glebach [Soil organic matter]. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 30: 83–98.
- Randuška D. 1977. Fitocenologia a lesnicka typologia. Učebne texty. Zvolen, VSLD.
- Siedliskowe Podstawy Hodowli Lasu. 2004. Warszawa, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu.
- Sikorska E. 1997. Studium nad systematyką gorczańskich siedlisk leśnych. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, Ser. Rozpr. 229.
- Sikorska E. 1999. Aktualne problemy typologii leśnej na terenach wyżynnych i górskich. *Sylwan*, 11: 89–97.