

# KLASYFIKACJA ODPORNOŚCI OKSYDOREDUKCYJNEJ GLEB ORNYCH POLSKI I ICH PRZESTRZENNA CHARAKTERYSTYKA

Zofia STĘPNIEWSKA<sup>1),3)</sup>, Janusz OSTROWSKI<sup>2)</sup>,  
Witold STĘPNIEWSKI<sup>3),4)</sup>, Jan GLIŃSKI<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Katolicki Uniwersytet Lubelski, Katedra Biochemii i Chemii Środowiska

<sup>2)</sup> Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

<sup>3)</sup> Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN

<sup>4)</sup> Politechnika Lubelska, Instytut Inżynierii Środowiska

*Słowa kluczowe: grupy odporności gleb, odporność oksydoredukcyjna gleb, przestrzenna charakterystyka*

## Streszczenie

Przemiany wielu składników gleb oraz wprowadzonych zanieczyszczeń mają związek z przemianami oksydoredukcyjnymi, które bezpośrednio są uwarunkowane obecnością akceptorów elektronów, tj.: tlenu cząsteczkowego, azotanów, tlenków manganu i żelaza oraz donorów elektronów, będących postaciami łatwo ulegającej rozkładowi materii organicznej gleby.

Tempo przemian w środowisku glebowym zależy od żywotności mikroorganizmów, warunkowanych temperaturą i dostępnością substancji organicznej. Na podstawie wyznaczonych parametrów oksydoredukcyjnych wyodrębniono grupy gleb ornych Polski, charakteryzujących się zbliżoną odpornością oksydoredukcyjną. Rozkład wyznaczonych cech i ich przestrzenne przedstawienie w postaci mapy było celem prezentowanej pracy.

Gleby zakwalifikowano do poszczególnych grup na podstawie analizy wartości  $t_{300}$ , określonych w temperaturze (4, 10, 15 i 20°C) dla trzech poziomów profilu glebowego (orny, podorny i podglebie). Analizę wyników przeprowadzono, dokonując podziału gleb na podzbiory zróżnicowane wartością odporności oksydoredukcyjnej. Grupy homogeniczne wyodrębniono na podstawie testu istotności stały się podstawą wyróżnienia grup jednostek glebowych.

Uwzględniając zróżnicowanie wartości odporności oksydoredukcyjnej gleb wywołane wpływem temperatury oraz położeniem w profilu glebowym, wyodrębniono cztery grupy gleb, charakteryzujące

---

Adres do korespondencji: prof. dr hab. Z. Stępniewska, Katolicki Uniwersytet Lubelski, Katedra Biochemii i Chemii Środowiska, al. Kraśnicka 102, 20-718 Lublin; tel. +48 (81) 445-46-19, e-mail: stepz@kul.lublin.pl

się różną odpornością oksydoredukcyjną: nieznaczną (<4 dni), ograniczoną (4–8 dni), zróżnicowaną (8–20 dni) i wydłużoną (>20 dni).

## WSTĘP

Nadmierne uwilgotnienie gleb może powodować degradację ich wartości użytkowej m.in. z powodu braku tlenu w środowisku glebowym, ograniczenia wykorzystania składników pokarmowych przez rośliny czy nagromadzenie toksycznych stężeń substancji, będących produktami przemian beztlenowych [STĘPNIEWSKA, STĘPNIEWSKI, GLIŃSKI, 2004].

Znajomość właściwości oksydoredukcyjnych gleb może mieć znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne, gdyż stan natlenienia gleby wywiera znaczący wpływ na formowanie się naturalnych siedlisk i sposoby rolniczego użytkowania gleby [Gleboznawstwo, 1999]. Właściwości te mają także znaczenie ze względu na efektywność wykorzystania nawozów mineralnych i oddziaływanie rolnictwa na środowisko w perspektywie zmian klimatycznych intensyfikujących także glebowe procesy oksydoredukcyjne, mogące doprowadzić m.in. do uruchamiania zakumulowanych toksycznych substancji w glebie [GLIŃSKI i in., 2000].

Znanych i stosowanych jest wiele różnych wskaźników natlenienia gleb, zarówno o charakterze biologicznym (np. iloraz oddychania), fizycznym (np. współczynnik dyfuzji gazów), jak i chemicznym. Do tych ostatnich należy potencjał redoks, wyrażający stan oksydoredukcyjny gleby, będący miarą zredukowania układu [GLIŃSKI, DULIBAN, 1972].

Przedstawia on proporcje między utlenionymi i zredukowanymi formami pierwiastków obecnych w glebie oraz prężność swobodnych elektronów, przemieszczanych w reakcjach redoks, zachodzących w różnych warunkach natlenienia [GLIŃSKI i in., 1992; GLIŃSKI, STĘPNIEWSKA, 1986]. Za jego pomocą można wyznaczyć tempo zachodzących przemian oksydoredukcyjnych i czas, po upływie którego w nadmiernie uwilgotnionych glebach zaczynają pojawiać się warunki beztlenowe i rozpoczyna się proces redukcji.

W literaturze podawane są różne wartości potencjału redoks, wyznaczające granicę między warunkami aerobowymi a anaerobowymi. Lurie, a także Bażenow i in. za GLIŃSKIM i DULIBANEM [1972] za taką granicę przyjęli wartość +200 mV – wg tych autorów wyższy potencjał występuje, gdy w glebie dominują akceptory elektronów, tworzące potencjał dodatni, np.:  $O_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $MnO_2$ ,  $Fe_2O_3$ .

Według Mortimera wartością graniczną jest potencjał +300 mV, odpowiadający redukcji żelaza (III) do (II) (za HESSEM [1971] oraz STĘPNIEWSKĄ [1988]).

Podobne rozbieżności występują w przypadku podziału i charakterystyki gleb o różnym stopniu natlenienia. Patrick (za GLIŃSKIM i DULIBANEM [1972] oraz STĘPNIEWSKĄ [1988]) wyróżnia cztery zakresy potencjału, charakteryzujące środowisko glebowe:

- $> +400$  mV – w glebach w pełni natlenionych,
- od  $+400$  do  $+100$  mV – w glebach średnio zredukowanych,
- od  $+100$  do  $-100$  mV – w glebach zredukowanych,
- od  $-100$  do  $-300$  mV – w glebach silnie zredukowanych.

Inne granice przedziałów wyróżnili Reddy i Graetz (za STĘPNIEWSKĄ [1988]), dzielący potencjał redoks, charakteryzujący warunki w glebie na trzy zakresy:

- $> +300$  mV – gleby natlenione,
- od  $+300$  do  $-100$  mV – procesy redukcji tlenowych połączeń azotu, manganu i żelaza (gleby słabo i umiarkowanie zredukowane),
- od  $-100$  do  $-300$  mV – procesy redukcji siarczanów i następnie tworzenie metanu (gleby zredukowane).

Wyznaczając potencjał redoks w glebie, można określić jej stan oksydoredukcyjny. Zdolność gleby do utrzymania potencjału redoks  $Eh$  na odpowiednio wysokim poziomie jest miarą odporności gleby na procesy redukcji. Pojęcie to wprowadził Hesse w roku 1971, przyjmując za granicę między warunkami utlenienia a zredukowania gleby zaproponowaną przez Mortimera wartość  $+300$  mV. Miarą odporności gleby jest więc czas, w którym następuje spadek potencjału poniżej przyjętej wartości [STĘPNIEWSKA, 1988].

Na tej podstawie GLIŃSKI i STĘPNIEWSKA [1986] zaproponowali nowy wskaźnik charakteryzujący środowisko glebowe, wynikający ze stanu jego aeracji i oznaczany jako  $t_{300}$ . Informuje on o dopuszczalnym czasie przebywania gleby w warunkach niedotlenienia (czas obniżenia  $Eh$  do  $+300$  mV w temperaturze  $20^{\circ}\text{C}$ ).

Na podstawie tego wskaźnika można zróżnicować gleby pod względem ich odporności, charakteryzując w ten sposób zasobność ośrodka glebowego w donory i akceptory elektronów oraz zapotrzebowanie na energię uzyskiwaną w procesach utleniania i redukcji.

Dlatego też wskaźnik odporności może być przydatny do opracowywania planów zagospodarowania terenów i projektowaniu odwodnień gruntów. Znając odporność oksydoredukcyjną gleb występujących na danym obszarze, można wskazać, które z nich w razie wystąpienia nadmiernego uwilgotnienia powinny zostać osuszone w pierwszej kolejności, aby zapobiec negatywnym skutkom niedoboru tlenu [STĘPNIEWSKA i in., 1997].

## MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Badania odporności oksydoredukcyjnej przeprowadzono na 1000 próbkach gleb reprezentujących 25 jednostek systematycznych występujących na terenie Polski, pochodzących ze zbiorów banku gleb, należącego do Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. Gleby miały zróżnicowaną zasobność w substancję organiczną – od 0,04 do 3,96% C, jak również szerokie spektrum pH, od 2,81 do 8,83. Poprzez wyznaczenie charakterystyk  $Eh = f(t)$  w próbkach gleb z poszczególnych pozio-

mów określono czas  $t_{300}$ , po którym potencjał oksydoredukcyjny osiągał wartość 300 mV (wg metodyki opisanej przez STĘPNIEWSKĄ [1988]).

Zmienność  $Eh$  w czasie wyznaczono podczas inkubacji próbek w temperaturze:

- +4°C – warunki termiczne niesprzyjające wegetacji,
- +10°C – warunki termiczne gleb charakterystyczne dla inicjalnych faz rozwoju roślin uprawnych,
- +15°C – średnia temperatura gleb w okresie wegetacji,
- +20°C – temperatura gleb odpowiadająca warunkom pełnej wegetacji w okresie letnim.

Wyznaczone wartości  $t_{300}$ , odpowiadające poszczególnym poziomom (A – orny, B – podorny, C – podglebie), poddano analizie wariancji i według wyróżnionych w toku analizy wariancji grup homogenicznych ( $p = 0,001$ ) pogrupowano je w cztery klasy odporności oksydoredukcyjnej, określone jako odporność: nieznaczna, ograniczona, zróżnicowana i wydłużona.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW I Dyskusja

Na podstawie analizy wariancji wskaźnika  $t_{300}$ , określonego na materiale glebowym pochodzącym z 1000 reprezentatywnych jednostek glebowych gleb mineralnych Polski, wyodrębniono cztery klasy odporności oksydoredukcyjnej gleb: nieznaczną, ograniczoną, zróżnicowaną i wydłużoną. Najniższe wartości  $t_{300}$  charakteryzują (w danej temperaturze) poziomy próchniczne gleb, wyższe natomiast występują w poziomach podornych i podglebia. Obniżenie temperatury (z 20 do 4°C) spowodowało zwiększenie wartości wskaźnika  $t_{300}$  z kilku (0,42–3,72) do kilkunastu (13,76–13,96) dni w ornych poziomach gleb, a w poziomach podglebia nawet do 50 dni (tab. 1).

Nieznaczna odporność –  $t_{300}$  nie przekracza 4 dób (w temperaturze 10–20°C) – mają rędziny, gleby brunatne i płowe wytworzone z lessów oraz znaczna część gleb górskich.

Ograniczona odporność ( $t_{300} < 8$  dni w temperaturze 10–20°C) cechuje znaczną grupę gleb, do której należą między innymi: mady, czarne ziemie, gleby górskie gliniaste ciężkie i ilaste.

Zróżnicowany zakres odporności, obejmujący wartość wskaźnika  $t_{300}$  wynoszącą 5–20 dni (w temperaturze 10–20°C), stwierdzono w glebach brunatnych wytworzonych z piasków naglinowych oraz glinach ciężkich, płowych pyłowych, brunatnych i płowych iłowych oraz murszowatych i murszastych.

Do gleb o wydłużonej odporności oksydoredukcyjnej, których wartości  $t_{300}$  dochodziły nawet do 50 dni w zakresie temperatury 4–20°C, należą: najłżejsze gleby piaskowe luźne i słabogliniaste oraz piaskowe naglinowe, gliny lekkie i średnie należące do gleb brunatnych i płowych.

Dokonano podziału gleb ornych Polski, stanowiących zasoby banku próbek glebowych i charakteryzujących pokrywą glebową gruntów ornych, na grupy odporności oksydoredukcyjnej (tab. 2).

**Tabela 2.** Podział gleb ornych Polski na grupy odporności oksydoredukcyjnej.

**Table 2.** Division of Polish arable soils into of groups of redox resistance

Grupa odporności Resistance group	Zgeneralizowane jednostki gleb Generalized soil unit
1	2
1 – nieznaczna < 4 dni slight < 4 days	<p>rędziny „czyste” rendzin leptosols IB 1a rędziny „mieszane” rendzin leptosols IB 1b czarnoziemy haplic phaeozem brunatne i płowe wytworzone z lessów i utworów lessowatych haplic luvisols and eutric cambisols – loess brunatne i płowe wytworzone ze skał masywnych gliniaste i szkieletowo-gliniaste haplic luvisols and eutric cambisols – loams and skeleton loams brunatne i płowe wytworzone ze skał masywnych ilaste haplic luvisols and eutric cambisols – clays brunatne i płowe wytworzone ze skał masywnych pyłowe haplic luvisols and eutric cambisols – silts</p>
2 – ograniczona 4–8 dni limited 4–8 days	<p>brunatne i płowe wytworzone z piasków gliniastych haplic luvisols and eutric cambisols – loamy sands brunatne i płowe wytworzone z glin niecałkowitych na lekkim podłożu eutric cambisols and haplic luvisols – non uniform loams brunatne i płowe wytworzone ze żwirów haplic luvisols and distric cambisols – gravels brunatne i płowe wytworzone ze skał masywnych gliniaste haplic luvisols and eutric cambisols – loams mady ciężkie distric fluvisols – silts mady ciężkie i bardzo ciężkie distric fluvisols – heavy loams mady lekkie i średnie distric fluvisols – sands and loamy sands czarne ziemie mollic gleysols – developed from loams and silts czarne ziemie wytworzone z piasków mollic gleysols – developed from sands</p>
3 – zróżnicowana 8–20 dni differentiated 8–20 days	<p>brunatne wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu haplic luvisols developed from loamy sands brunatne i płowe wytworzone z glin ciężkich eutric cambisols and haplic luvisols – heavy loams płowe wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia eutric cambisols – hydrogenic silts brunatne i płowe wytworzone z ilów haplic luvisols and eutric cambisols – hydrogenic silts murszowe i murszaste terric histosols</p>

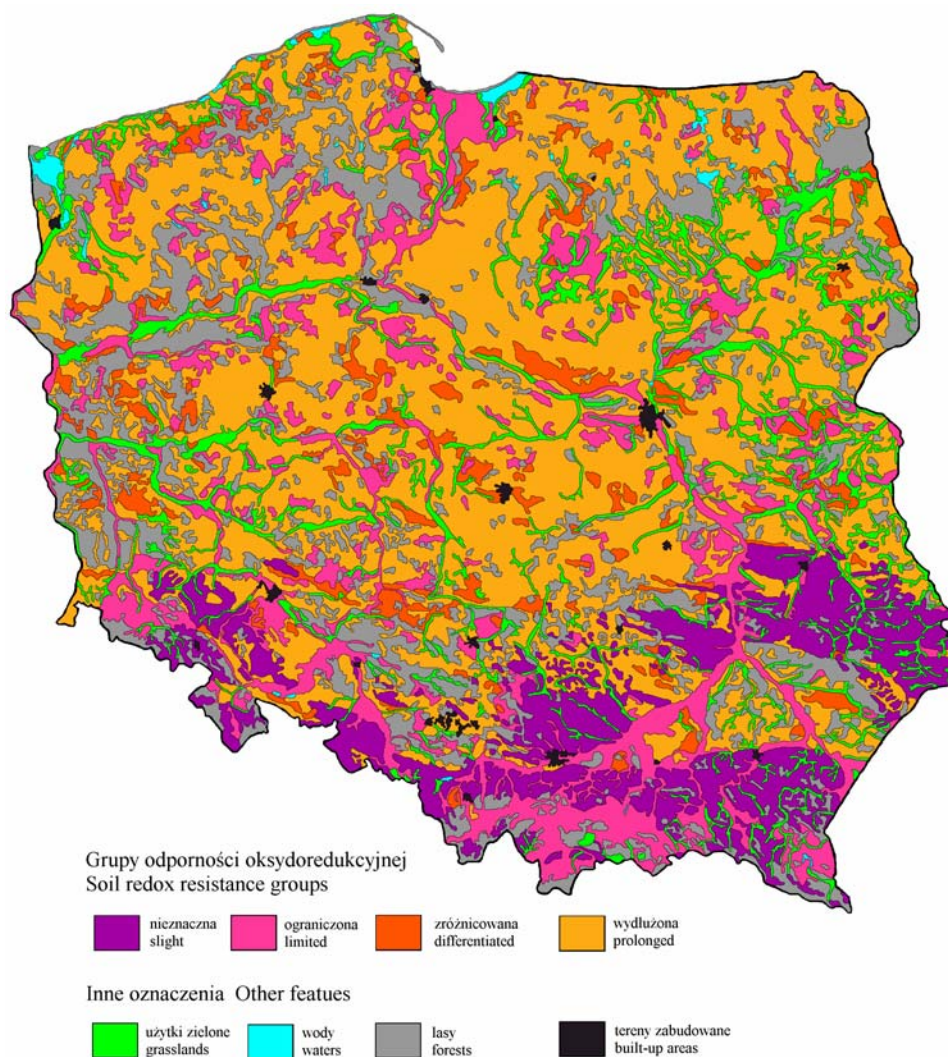
1	2
4 – wydłużona >20 dni prolonged >20 days	brunatne kwaśne, rdzawe i bielcowe wytworzone z piasków luźnych, słabogliniastych i gliniastych lekkich haplic luvisols and dystric cambisols developed from loose sands, light loamy sands płowe wytworzone z piasków gliniastych na zwięźlejszym podłożu eutric cambisols – loamy sands over loams brunatne i płowe wytworzone z glin lekkich haplic podsols and eutric cambisols – light loams brunatne i płowe wytworzone z glin średnich haplic podsols and eutric cambisols – medium loams brunatne wytworzone z pyłów wodnego pochodzenia haplic podsols – hydrogenic silts

Strukturę przestrzennego rozmieszczenia gleb o różnej odporności oksydoredukcyjnej uzyskano poprzez wykonanie mapy komputerowej w skali 1: 2 500 000 (rys. 1). Jej analiza wskazuje, że obszary polodowcowe środkowej i północnej Polski pokrywa mozaika gleb o zróżnicowanej i wydłużonej odporności, z przewagą tej ostatniej. W pasie wyżyn środkowopolskich oraz pogórzy dominują gleby o zróżnicowanej i nieznacznej odporności oksydoredukcyjnej. Na obszarach górskich występują gleby charakteryzujące się zróżnicowaną i ograniczoną odpornością na redukcję.

## PODSUMOWANIE

Analiza statystyczna dużej liczby próbek gleb umożliwiła ich pogrupowanie według istotnej dla zmian środowiska cechy, którą jest odporność oksydoredukcyjna. W posiadanym zbiorze gleb Polski wykazano znaczący wpływ temperatury na tę odporność, nasilającej procesy chemicznego zapotrzebowania na tlen, jak również mobilizującej całą gamę mikroorganizmów glebowych do wzmożonych procesów życiowych, potęgujących zapotrzebowanie na zasadniczy akceptor elektronów – tlen.

Wyczerpywanie się tlenu pozostawało w zależności funkcyjnej od wzrostu temperatury, zmniejszając średnią odporność oksydoredukcyjną w poziomach ornych gleb od 8,38 dni w temperaturze 4°C do 6,06 dni w temperaturze 20°C. W poziomach podornych stwierdzono większy zakres zmian – od 27,34 dni do 6,09 dni, jednakże największe zróżnicowanie odporności oksydoredukcyjnej gleb wystąpiło w warstwach podglebia – od 32,63 do 8,79 dni, odpowiednio w temperaturze 4 i 20°C.



Rys. 1. Mapa oceny odporności oksydoredukcyjnej gleb ornych Polski

Fig. 1. Evaluation map of redox resistance of Polish arable soils

## LITERATURA

- Gleboznawstwo, 1999. Pr. zbior. Red. S. Zawadzki. Warszawa: PWRiL ss. 560.
- GLIŃSKI J., DULIBAN J., 1972. Potencjał oksydoredukcyjny w glebach. Probl. Agrofiz. nr 3 s. 1–43.
- GLIŃSKI J., STĘPNIEWSKA Z., 1986a. An evaluation of soil resistance to reduction processes. Pol. J. Soil Sci. vol. 19 1-2 s. 15–19.
- GLIŃSKI J., STĘPNIEWSKA Z., 1986b. Wskaźnik odporności gleb na redukcję. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 315 s. 81–92.

- GLIŃSKI J., STĘPNIĘWSKA Z., STĘPNIĘWSKI W., OSTROWSKI J., 1992. Znaczenie warunków tlenowych gleb w programach melioracyjnych. Probl. Agrofiz. nr 67 s. 62–73.
- GLIŃSKI J., STĘPNIĘWSKI W., STĘPNIĘWSKA Z., OSTROWSKI J., BRZEZIŃSKA M., WŁODARCZYK T., 2000. Agroekologiczne aspekty warunków tlenowych gleb ornych. Acta Agrophysica nr 32 s. 5–35.
- HESSE P.R., 1971. Textbook of soil analysis. Clowec and suns. Limited London. Beccles and Colchester ss. 1–254.
- STĘPNIĘWSKA Z., 1988. Właściwości oksydoredukcyjne gleb mineralnych Polski. Probl. Agrofiz. nr 56 ss. 103.
- STĘPNIĘWSKA Z., STĘPNIĘWSKI W., GLIŃSKI J., OSTROWSKI J., 1997. Atlas właściwości oksydoredukcyjnych gleb mineralnych Polski. Lublin: Mopol s. 48.
- STĘPNIĘWSKA Z., STĘPNIĘWSKI W., GLIŃSKI J., 2004. Soil redox resistance and its environmental importance. Eurosoil – Freiburg, Germany 4–12 September 1999. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität ss. 142.

*Zofia STĘPNIĘWSKA, Janusz OSTROWSKI, Witold STĘPNIĘWSKI, Jan GLIŃSKI*

#### **CLASSIFICATION OF REDOX RESISTANCE OF POLISH ARABLE SOILS AND THEIR SPATIAL CHARACTERISTICS**

*Key words: group of soil resistance, soil redox resistance, spatial characteristic*

#### **S u m m a r y**

Transformations of many soil components and pollutants are associated with redox conditions which are directly determined by the presence of electron acceptors (molecular oxygen, nitrates, manganese and iron oxides) and electron donors (easily decomposable soil organic matter).

The rate of changes in soil habitat depends on viability of microorganisms determined by temperature and the availability of organic substances. Based on estimated redox parameters, groups of arable soils in Poland of similar resistance were distinguished. Distribution of the estimated features and their spatial presentation in a map were the aim of this paper.

Soils were classified to particular groups upon the  $t_{300}$  value estimated at 4, 10, 15 and 20°C for three soil profiles (arable, sub-arable, subsoil). Analysis of results was performed by dividing soils into subsets of different redox resistance. Homogenous groups of soils were distinguished upon the significance test.

Considering different soil redox resistance caused by temperature and position in the soil profile, four groups of slight (<4 days), limited (4–8 days), differentiated (8–20 days) and prolonged (>20 days) redox resistance were distinguished.

---

#### **Recenzenci:**

*prof. dr hab. Ryszard Dębicki*

*prof. dr hab. Andrzej Kędziora*

Praca wpłynęła do Redakcji 09.03.2004 r.



**Tabela 1.** Kwalifikacja mineralnych gleb Polski z różnych profilów glebowych do poszczególnych grup odporności oksydoredukcyjnej  $t_{300}$

**Table 1.** Qualification of mineral Polish soils from different soil profiles for soil redox resistance groups  $t_{300}$

Poziom Horizon	Temperatura Temperature °C	Odporność oksydoredukcyjna $t_{300}$ , dni Soil redox resistance $t_{300}$ , in days				
		nieznaczna slight	ograniczona limited	zróżnicowana differentiated	wydłużona prolonged	średnia mean
A	4	3,26±3,33	7,48±0,24	8,57±2,72	14,22±2,48	8,38±1,50
orny ploughing	10	1,63±1,24	4,46±0,84	7,77±1,38	10,34±0,92	6,05±0,56
	15	1,07±1,24	2,24±0,84	8,14±1,39	4,84±0,92	4,07±0,55
	20	1,00±0,42	1,83±0,29	2,67±0,48	3,72±0,32	2,84±1,87
B	4	22,44±2,94	21,39±1,98	33,27±3,29	32,23±2,19	27,34±1,33
podorny subsoil	10	3,29±3,29	7,32±2,19	16,12±3,64	19,35±2,42	11,53±1,47
	15	1,94±2,84	3,89±1,91	5,44±3,18	16,44±2,12	6,93±1,28
	20	1,02±3,22	2,45±2,18	3,90±3,62	17,00±2,41	6,09±1,46
C	4	14,69±2,79	33,24±1,88	51,44±3,13	31,14±2,09	32,63±1,26
podglebie undersoil	10	4,19±2,01	11,56±1,35	25,15±2,25	16,59±1,49	14,37±0,91
	15	2,37±2,44	8,25±1,65	15,99±2,73	12,05±1,82	9,66±1,10
	20	1,12±3,04	6,34±2,05	13,96±3,39	13,76±2,26	place 8,79±1,37

<sup>1)</sup> Na pierwszym miejscu podano wartości średnie, na drugim wartości w półprzedziałach ufności.

<sup>1)</sup> Mean values are given first, confidence half intervals – next.