

PIOTR GRUBA, PIOTR PACANOWSKI, JAN MULDER

## Czynniki kształtujące zróżnicowanie przestrzenne pH gleb leśnych na przykładzie gleb płowych podścielonych marglami

Factors influencing spatial heterogeneity of pH in forest soils on the example of luvisols with marlstone underlayer

### ABSTRACT

Gruba P., Pacanowski P., Mulder J. 2013. Czynniki kształtujące zróżnicowanie przestrzenne pH gleb leśnych na przykładzie gleb płowych podścielonych marglami. Sylwan 157 (2): 149-157.

Presented investigations focused on spatial variability of forest soil pH on an example of luvisols derived from loess with underlier of marlstones. Four study plots were located in different parts of the slope. Marlstones, present deeper than 1 m under loess layer, had most significant influence on spatial variability of topsoil pH. Despite relatively thick separation from the surface, the marlstone layer altered topsoil via upward water movement (influence distributed evenly) or throughout exposed deeper soil layers as an effect of uprooting (specific island-mosaic of pH). Analysis of spatial variability of soil pH emphasize such phenomena as zero distance variability that reached up to 20% of sill, and 2-4 meters of autocorrelation distances. Thus, there is a need of extended soil sampling to cover both: nugget effect and autocorrelation.

### KEY WORDS

pH, forest soil, spatial heterogeneity, variogram

### ADDRESSES

Piotr Gruba <sup>(1)</sup> – e-mail: [rlgruba@cyf-kr.edu.pl](mailto:rlgruba@cyf-kr.edu.pl)

Piotr Pacanowski <sup>(1)</sup>

Jan Mulder <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Katedra Gleboznawstwa Leśnego; Uniwersytet Rolniczy w Krakowie; Al. 29 Listopada 46; 31-425 Kraków

<sup>(2)</sup> Department of Plant and Environmental Sciences; Norwegian University of Life Sciences; N-1432 Aas, Norwegia

### Wstęp

Badania gleb leśnych są w dużej mierze oparte o właściwości próbek pobranych z pojedynczej okrywki glebowej, a rozpoznane właściwości gleby są uznawane za reprezentatywne dla znacznej powierzchni. Powszechnie natomiast wiadomo, że właściwości gleby cechują się znaczną zmiennością przestrzenną. Nawet w jednorodnym fragmencie drzewostanu jej wielkość może być znaczna. Jest ona kształtowana przez niejednorodność skały macierzystej [Borůvka i in. 2007], nachylenie stoku [Schöning i in. 2006], oddziaływanie pojedynczych drzew [Boettcher, Kalisz 1990; Pallant, Riha 1991; Finzi i in. 1998; Gruba 2009], obecność wykrotów [Šamonil i in. 2010], przygotowanie gleby do odnowienia, a także inne zabiegi gospodarcze [Guo i in. 2004; Šamonil i in. 2011].

Ze względu na prostotę i niewielką kosztocłonność pomiaru, analizę czynników kształtujących małoskalową zmienność właściwości gleby zwykle przeprowadzano na przykładzie wartości

pH. Dodatkowo, ta cecha gleby jest skorelowana z takimi właściwościami jak zawartość materii organicznej czy wysycenie kationami zasadowymi. Równocześnie spośród innych właściwości cechuje się najmniejszą zmiennością [Gruba i in. 2009].

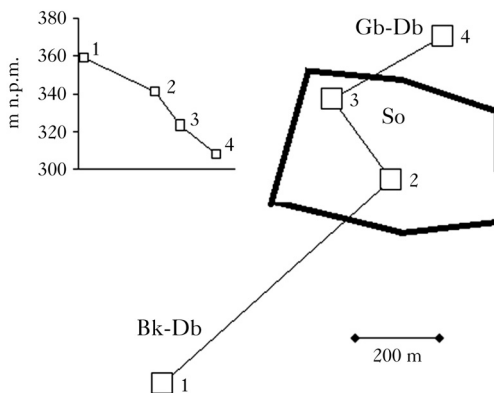
Jeśli przedmiotem diagnozy jest typ i podtyp gleby, błąd wynikający ze zmienności przestrzennej gleb może być niewielki. Jednak przynależność taksonomiczna ma bardzo ograniczoną przydatność do określenia potencjalnej żyzności gleby, dlatego przewiduje się wprowadzenie liczbowych wskaźników jakości gleby [Brożek i in. 2007]. Numeryczny indeks żyzności, będący wypadkową kilku pomierzonych właściwości gleby, podobnie jak one cechuje się znaczną zmiennością przestrzenną, nawet w bardzo niewielkiej skali [Gruba i in. 2012].

Celem pracy było poznanie czynników decydujących o zmienności przestrzennej wartości pH wierzchniej warstwy gleb na przykładzie obszaru, gdzie na znacznej głębokości występuje warstwa o zdecydowanie wyższym pH niż warstwy wierzchnie. Wzrost wartości pH wraz z głębokością obserwuje się u większości gleb, nie jest to zatem czynnik, który w specyficzny sposób wpływa na przestrzenną zmienność pH. Taki przypadek badawczy, o dużym gradiencie pH w profilu glebowym, został wybrany, aby jaskrawo uwypuklić procesy kształtujące tę zmienność.

## Materiał i metody

Powierzchnie badawcze zostały zlokalizowane w Leśnictwie Kopce Nadleśnictwa Krzeszowice (RDLP Kraków), na obszarze stoku będącego północną krawędzią Garbu Tenczyńskiego. Skalą macierzystą analizowanych gleb są lessy, przykrywające wapienie jurajskie. Te dwa utwory geologiczne są rozdzielone warstwą margli kredowych o nieznacznej miąższości. Na podstawie morfologii profili glebowych oraz odwiertów świdrem glebowym stwierdzono, że w zasięgu całego stoku występują gleby płowe właściwe. W dolnej połowie stoku, od głębokości około 3 m (w środkowej części stoku) do 1 m (w dolnej części stoku) pojawiała się warstwa margla. Wartość pH w profilach gleb wszystkich powierzchni badawczych wahała się od około 4 w poziomach próchnicznych do 6 w poziomach skały macierzystej. Wartości te wskazują na gleby żyzne, właściwe dla lasów wyżynnych, jednak spotykane również pod drzewostanami sosnowymi. Takie wydzielenie, o powierzchni około 10 ha, obejmowało swoim zasięgiem środkową część stoku. W częściach stoku o zróżnicowanym nachyleniu założono cztery powierzchnie badawcze (ryc. 1):

1. przygrzbietowa część stoku, nachylenie 3%; drzewostan mieszany z udziałem buka (*Fagus sylvatica* L.) i dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.); powierzchnia badawcza złożona we fragmencie wyłącznie z drzewostanem bukowym w wieku około 60 lat;



Ryc. 1.  
Rozmieszczenie powierzchni badawczych  
Localization of the study plots

2. środkowa-górna część stoku, nachylenie 10%; drzewostan sosnowy (*Pinus sylvestris* L.) w wieku 90 lat o luźnym zwarciu (nietypowy dla takich siedlisk, pochodzący z sadzenia), silnie rozwinięta pokrywa runa, głównie gatunkami z rodzaju *Rubus*;
3. środkowa-dolna część stoku, nachylenie 13%; drzewostan o podobnej charakterystyce jak na powierzchni 2;
4. dolna część stoku, nachylenie 8%; drzewostan grabowy (*Carpinus betulus* L.) z domieszką dębu szypułkowego, różnowiekowy, najstarsze drzewa w wieku około 80 lat.

Na każdej powierzchni badawczej o wymiarach 20×20 m wytyczono siatkę kwadratów 1×1 m (liczba węzłów=441). Węzłom siatki przypisano współrzędne X i Y (od 0.0 do 20.20), przy czym oś X była zorientowana prostopadle do linii spadku. W tej siatce pobrano próbki gleby z wierzchniej, 10-centymetrowej warstwy gleby mineralnej (odrzucając poziom organiczny, jeśli był obecny). Próbkę były pobierane przy pomocy próbnika i pakowane w worki foliowe oznakowane współrzędnymi danej próbki. W celu określenia powtarzalności wyników pomiaru na próbkach pobranych w tym samym miejscu, pobrano dodatkowe próbki gleby w 16 punktach w siatce kwadratów 4×4 m (o współrzędnych 4.4, 4.8, 4.12, 4.16, 8.4, itd. .... do 16.16), przy czym odległość między punktami poboru nie przekraczała kilkunastu centymetrów. Zastosowana wielkość pojedynczej powierzchni badawczej oraz gęstość siatki, w której były pobierane próbki gleby, były wynikiem kompromisu pomiędzy wymogami metodycznymi a możliwościami badawczymi, szczególnie pracochłonnością, kosztami i możliwościami przechowywania próbek do analizy. Na podstawie wstępnych badań przyjęto założenie, że pobieranie próbek w siatce kwadratów 1×1 m pozwoli na szczegółową analizę wpływu pojedynczych drzew na strukturę przestrzennej zmienności pH. Przyjęto również, że wielkość pojedynczej powierzchni badawczej (20×20 m) jest wystarczająca, aby ująć przestrzenną zmienność pH relatywnie jednorodnego drzewostanu [Gruba i in. 2009]. Wartości pH oznaczono potencjometrycznie w zawieszinie gleby i roztworu CaCl<sub>2</sub> o stężeniu 0,01 mol/dm<sup>3</sup>, sporządzonej w proporcji 1:5.

Interpolacja zmienności przestrzennej wartości pH gleby została wykonana metodą krigingu, która składa się z dwóch etapów. W pierwszym określa się przestrzenną korelację opisywanego zjawiska przy zastosowaniu wariogramu, natomiast w drugim dokonuje się interpolacji na podstawie modelu wariogramu i kreśli mapę. Wariogram to wykres przedstawiający zależność między semiwariancją (połową wariancji) obliczoną dla wszystkich  $n$  par pomiarów danej zmiennej (w tym przypadku pH), znajdujących się w odległości  $h$  od siebie, a tą odległością. Innymi słowy, wariogram pokazuje, jak zmienia się wartość semiwariancji wraz ze wzrostem odległości między rozpatrywanymi punktami pomiarowymi. Semiwarjancja wartości pH została obliczona według zmodyfikowanego wzoru Wackernagla [2003]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (pH_x - pH_i(h))^2$$

gdzie:

- $\gamma(h)$  – semiwariancja dla dystansu  $h$ ,
- $n(h)$  – liczba par punktów odległych od siebie o dystans  $h$  (w zakresie tolerancji),
- $pH_x$  – wartość pH zmierzona w punkcie  $x$ ,
- $pH_i(h)$  – wartość pH zmierzona w punkcie  $i$  odległym od  $x$  o dystans  $h$ .

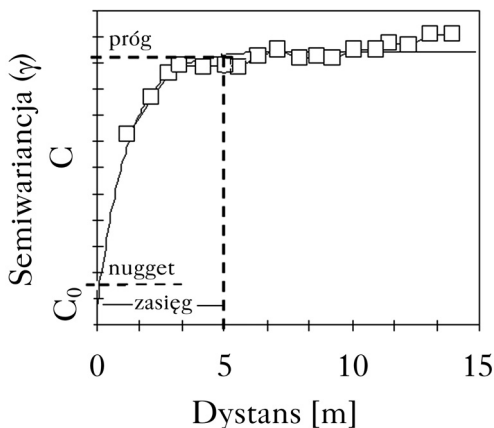
Wykres semiwarjancji jest nazywany również wariogramem empirycznym, do którego dopasowuje się (metodą najmniejszych kwadratów) model wariogramu, stanowiący podstawę do interpolacji metodą krigingu. Wariogram jest zatem punktem wyjściowym do tworzenia map, ale sam w sobie

jest również narzędziem, dzięki któremu można ocenić strukturę zmienności przestrzennej badanej cechy. Taką ocenę wykonuje się w oparciu o właściwości wariogramu. Przykładowo, podstawą do stwierdzenia występowania autokorelacji przestrzennej jest wyraźny, dodatnio skorelowany związek między semiwariancją a rosnącym dystansem między punktami. Przykładowy wykres wariogramu (empirycznego i dopasowanego modelu) sporządzony na podstawie pomiarów pH gleb leśnych przedstawia rycina 2. Podstawowe parametry wariogramu to dystans, czyli zakres oddziaływania – odległość, powyżej której wartość semiwariancji stabilizuje się na poziomie proggu ( $C_0+C$ ) – wartości semiwariancji nazywanej też zmiennością strukturalną. Nie zawsze jednak przy dystansie zmierzającym do zera wartość semiwariancji również zmierza do zera. Zmienność na dystansie równym zero opisywana jest jako podstawa semiwariogramu, tzw. nugget ( $C_0$ ) [Namyśłowska-Wilczyńska 2006]. Analizę geostatystyczną wykonano przy pomocy programu Gama Design GS 9+.

## Wyniki

Objęta badaniami wierzchnia warstwa gleby mineralnej odpowiadała w przybliżeniu poziomowi genetycznemu A. Na badanym obszarze poziom ten jest naturalnie kwaśny, wartość pH zwykle nie przekraczała 4,0, tj. wartości, która jest uważana za górną granicę oddziaływania buforu glinowego [McBride 1994]. Na powierzchniach 1, 2, 3 i 4 odpowiednio 100%, 97%, 76% 52% badanych próbek wykazywało wartość pH poniżej 4. Dla każdej powierzchni obliczono dwie wartości średnie pH – na podstawie pomiarów 441 próbek pobranych w siatce 1×1 m oraz 16 dodatkowo pobranych próbek (siatka 4×4 m). Wartości te generalnie były bardzo zbliżone do siebie (tab.), jednak w pojedynczych przypadkach wyniki pomiarów pH w tym samym miejscu różniły się znacznie. Miarą tego zróżnicowania jest podstawa wariogramu ( $C_0$ ). Wartość ta wskazuje, że w przypadku powierzchni 1 i 3 zmienność na dystansie zero była zbliżona do 20% zmienności strukturalnej ( $C_0+C$ ) pH tych powierzchni. W przypadku powierzchni 2 pomiar pH próbek pobranych niemal w tym samym miejscu wykazał bardzo zbliżone wartości, natomiast na powierzchni 4 proporcjonalny udział  $C_0$  był niewielki ze względu na bardzo dużą zmienność strukturalną.

Analiza wariogramów (ryc. 3) sugeruje, że w skali wielkości powierzchni badawczych (największy dystans pomiędzy punktami pomiarowymi wynosił 28 m), obszar autokorelacji zamykał się w przedziale odległości 2-5 m i nie podlegał zjawisku anizotropii, czyli miał podobny przebieg zarówno w osi prostopadłej, jak i równoległej do stoku. Wyjątek stanowi powierzchnia 4 (z drzewo-



Ryc. 2.

Przykładowy wariogram oraz jego główne parametry  
Example of variogram and its major parameters

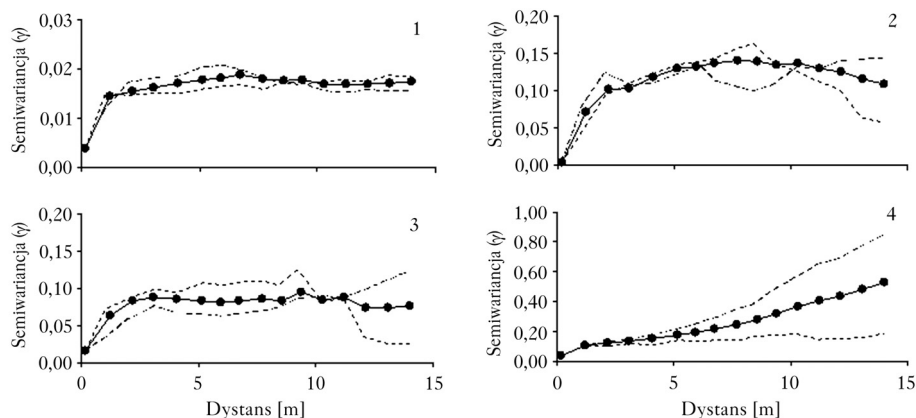
Tabela.

Podstawowe miary statystycznej i geostatystycznej pH gleby na powierzchniach badawczych  
Statistical and geostatistical traits of soil pH in the study plots

Powierzchnia	1	2	3	4
Minimum	3,04	2,86	2,94	3,27
Mediana	3,54	3,40	3,51	3,94
Maksimum	3,84	6,98	6,72	6,78
Średnia*	3,53 (3,49)	3,44 (3,41)	3,54 (3,50)	4,21 (4,19)
Odchylenie standardowe	0,13	0,35	0,28	0,64
Wariancja	0,017	0,121	0,079	0,407
Współczynnik zmienności [%]	3,73	10,11	7,96	15,14
Współczynnik skośności	-0,42	6,60	7,31	1,04
Podstawa wariogramu ( $C_0$ )	0,004	0,003	0,016	0,034
Próg ( $C_0+C$ )	0,017	0,130	0,083	0,847
Zasięg	2,43	4,74	2,21	26,50
$C/(C_0+C)$	0,765	0,977	0,807	0,960

\* wartość w nawiasie obliczona na podstawie pomiarów w siatce kwadratów 4×4 m

\* value in the parenthesis calculated from extra measurements taken in 4×4 m grid



Ryc. 3.

Wariogramy empiryczne dla poszczególnych powierzchni badawczych

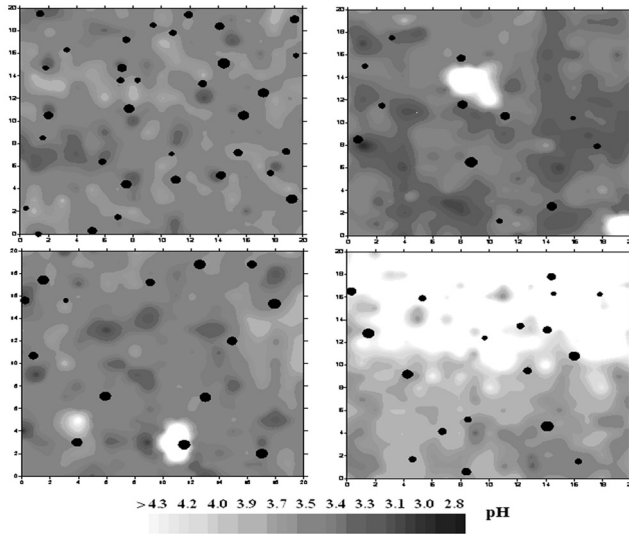
Empirical variograms for the study plots

Połączone linią czarne punkty to wariogram ogólny (bezkierunkowy), liniami przerywanymi oznaczono wariogramy kierunkowe: prostopadłe i równoległe do osi spadku

Black dots with line constitute unidirectional variograms, dashed lines are directional variograms, parallel and perpendicular to the slope direction

stanem grabowym), gdzie wariogram w osi równoległej do spadku cechował się rosnącym trendem w całej badanej skali.

Na podstawie uzyskanych danych wykreślono mapy zmienności pH na poszczególnych powierzchniach badawczych (ryc. 4). Widoczny jest obszar znajdujący się pod wyraźnym wpływem warstw margli w dolnej części powierzchni nr 4. Należy tu podkreślić, że wyraźny trend wartości pH nie miał zauważalnego gołym okiem odzwierciedlenia w szacie roślinnej – cała powierzchnia stanowiła jednorodny płat. Wyraźnie dostrzegalne były pozostałości po wykrotach – obszary o wymiarach około 3×3 m, o znacznie podniesionym pH na powierzchniach 2 i 3, osiągniętą wartość zbliżoną do 6.



Ryc. 4.

Zmienność przestrzenna pH wierzchniej, 10-centymetrowej warstwy gleby mineralnej na powierzchniach badawczych

Spatial variability of pH in top, 10 cm mineral soil layer at the study plots

Czarne punkty wyznaczają rozmieszczenie pni drzew

Black dots are trees positions

## Dyskusja

Wartość pH jest informacją o stopniu zakwaszenia gleby, ale jest również skorelowana z wieloma innymi właściwościami gleby, takimi jak zawartość węgla organicznego, pojemność sorpcyjna czy stopień nasycenia kationami zasadowymi i glinem [Gruba i in. 2009]. Na podstawie zmienności wartości pH można zatem również w pewnym stopniu przewidywać zróżnicowanie tych właściwości gleby. Wielkość zmienności pH jest zwykle najmniejsza spośród badanych najczęściej cech gleby. Współczynnik zmienności pH obliczony dla próbek pochodzących z powierzchni badawczej o powierzchni 20×20 m wynosił 12%, zawartości kationów zasadowych – 57%, zawartości węgla organicznego – 54%, pojemności sorpcyjnej – 38%, a nasycenia kationami zasadowymi – 55% [Gruba i in. 2009].

Dominującym czynnikiem kształtującym przestrzenną zmienność pH, zarówno wewnątrz powierzchni, jak i między powierzchniami była obecność pod warstwą odwapnionych lessów zasadowego podłoża złożonego z margli. Oddziaływanie zasobniejszej warstwy objawiało się lokalnym wzrostem wartości pH powyżej poziomu 4,0, szczególnie na powierzchni nr 4. Uwzględniając fakt, że warstwa margli zalegała dość głęboko (poniżej 1 m), to jej oddziaływanie na wierzchnią warstwę należy raczej tłumaczyć podsiąkiem niż domieszką materiału węglanowego w materiale glebowym.

Zwykle uważa się, że mechanizmem pozwalającym korzystać z głęboko zalegających zasobów składników pokarmowych jest pompująca rola drzew, które pobierają je głębokimi korzeniami i dostarczają na powierzchnię wraz z rozkładającą się materią organiczną [Dijkstra, Smits 2002]. Wyniki przeprowadzonych badań ukazują przestrzenną zmienność wartości pH, która może być efektem oddziaływania kilku mechanizmów. Poza wymienionym tu „pompowaniem”, niezwykle

istotny jest podsiąk wody zasobnej w kationy zasadowe, na który wskazuje równomierne wzbogacenie dolnej części powierzchni 4, przy czym należy tu przypomnieć, że warstwa margla nie występowała płycej niż 1 m pod warstwą lessu (w najniższych położeniach powierzchni 4). Znaczenie podsiąku w kształtowaniu chemizmu wierzchnich poziomów gleb leśnych, w tym również pH, opisali Lawrence i in. [1997]. W badaniach nie potwierdzono wpływu nachylenia terenu, o ile nie był on związany z równoległą zmianą skały macierzystej, jak na powierzchni 4. Taki związek był oczekiwany, ponieważ niektórzy opisują zależność pomiędzy nachyleniem terenu i akumulacją materii organicznej a pośrednio pH [Schöning i in. 2006].

Szczególnie istotne dla tworzenia się mozaiki pH wierzchniej warstwy gleby są wykroty, gdzie wyrwany system korzeniowy odsłania głębokie warstwy gleby, o wyższym nasyceniu kationami zasadowymi, a co za tym idzie, wyższym pH. Wpływ wykrotów na lokalną zmienność przestrzenną właściwości gleb jest znany [Šamonil i in. 2010]. W badanym przypadku o istnieniu wykrotów świadczą już tylko wartości pH, gdyż ze względu na nachylenie stoku i łatwo poddający się erozji materiał, nierówności terenu pozostałe po wyrwaniu bryły korzeniowej zostały zniwelowane. Ciekawostką jest, że materiał glebowy zgromadzony w formie wału lub kopca obok wykrotu często cechuje się wyjątkowo niskim pH, co można zauważyć na prezentowanych tu mapach powierzchni 2 i 3, zostało to też odnotowane w podobnych badaniach na innych powierzchniach (dane niepublikowane).

Badania nie potwierdziły w pełni wpływu pojedynczych drzew, gdyż nie stwierdzono istotnej korelacji między wartością pH a odległością od pni. Taką zależność można zaobserwować tylko w przypadku poszczególnych drzew (ryc. 4). Uważa się, że powstanie lokalnych obniżeń pH wokół pni drzew jest związane zarówno z chemizmem wód przenikających po warstwie koron i spływającą po pniu, jak i oddziaływaniem systemów korzeniowych [Raaij i in. 2002; Paluch, Gruba 2012]. Obecnie znaczną rolę przypisuje się również dużym nagromadzeniom wokół pni drzew takich substancji jak pochodzące z pni i korzeni drzew ligniny, kutyny i suberyny [Spilvogel i in. 2010]. Dotychczas związek pomiędzy rozmieszczeniem drzew a mozaiką pH wierzchnich warstw gleby został potwierdzony w badaniach Boettchera i Kalisza [1990], Pallanta i Rihy [1991], Finzi i in. [1998] czy Gruby [2009]. Wyniki niektórych prac jednak zdecydowanie przeczą takiemu sądowi [Austin-Petersen i in. 2002; Schöning i in. 2006]. Niewątpliwie jest to zgadnienie, które należy traktować z dużą ostrożnością, uwzględniając fakt, że powstanie nowego pokolenia drzew często jest związane z zaburzeniem jednorodności powierzchni gleby, spowodowanym przez jej przygotowanie przed sadzeniem czy wspomniane już wykroty [Šamonil 2010, 2011]. Obecnie uważa się, że wpływ pojedynczych drzew na glebę jest czynnikiem kształtującym małoskalową zmienność pH tylko w około 25% [Paluch, Gruba 2010].

Ważnym zjawiskiem jest również zmienność właściwości gleby w tym samym punkcie pomiarowym. Mówiąc obrazowo, analiza właściwości kilku próbek gleby pobranych z tego samego miejsca wykazuje znaczne zróżnicowanie wyników. Można zatem stwierdzić, że pojedyncza próbka pobrana z profilu glebowego nie jest reprezentatywna nawet dla danego profilu glebowego, a tym bardziej dla większej powierzchni. Jeśli przyjąć jednak, że ta zmienność jest niewielka i nieistotna, to pojawia się problem lokalnej autokorelacji, tzn. że profil glebowy mieści się w całości w obszarze, na którym właściwości gleby są jednorodne, ale próbki pobrane w odległości większej niż dystans określony przez zasięg semiwariogramu (2-5 m) będą cechować istotnie inne właściwości. Przykładowo, istnieje prawdopodobieństwo, że profil może zostać zlokalizowany we fragmencie, gdzie struktura gleby nigdy nie została naruszona – w takim przypadku udział starszych lub młodszych wykrotów (który w powierzchni drzewostanu może stanowić bardzo duży udział) zostaje zignorowany. Z drugiej strony, jest możliwe, że odkrywka

zostanie w całości zlokalizowana na obszarze wykrotu, zawyżając potencjalną żyzność całego badanego obszaru.

Uwzględniając przedstawione tu wyniki badań oraz dane z literatury, można stwierdzić, że prowadzenie badań naukowych z zakresu gleboznawstwa leśnego czy siedliskoznawstwa powinno uwzględnić zmienność przestrzenną właściwości gleb. Szczególnie dotyczy to ilości pobieranych próbek, a także odległości między stanowiskami, która powinna przekraczać dystans objęty autokorelacją. Oznacza to, że próbki pobierane dodatkowo, w celu uwzględnienia zmienności przestrzennej nie powinny być pobrane w najbliższym sąsiedztwie profilu glebowego. Za optymalny można przyjąć schematyczny rozkład punktów poboru próbek w drzewostanie. Uwagi te dotyczą również drzewostanów, które pod względem roślinnym, na przykład pokrywy runa, wydają się być jednorodne. Pobór próbek nie może pomijać lokalnych zagłębień czy najbliższego sąsiedztwa pni drzew.

## Wnioski

- ✦ Najsilniejszy wpływ na zmienność przestrzenną pH badanych gleb miało występowanie zasobniejszych (bardziej alkalicznych) głębszych warstw gleby, które lokalnie uzyskiwały silniejszy wpływ na kwaśne warstwy wierzchnie. W strefie, gdzie warstwa margla zalegała relatywnie płytko, jej oddziaływanie na kwaśną wierzchnią warstwę gleby było równomierne, co można tłumaczyć podsiąkiem wody. Obserwowano również występowanie niewielkich powierzchni o wysokim pH, które są efektem odsłonięcia głębokich warstw przez wykroty.
- ✦ Analiza wariogramów opracowanych dla gleb poszczególnych powierzchni badawczych wykazała, że wartość pH jest cechą o dużej zmienności już w skali minimalnej przestrzeni (tj. na dystansie 0 m), gdzie wynosiła do 20% zmienności strukturalnej ( $C_0+C$ ). Natomiast dystans, na którym pomiary pH wykazywały autokorelację, wynosił 2-5 m, z wyjątkiem powierzchni 4, gdzie semiwariancja wzrastała w skali całej badanej powierzchni.
- ✦ W perspektywie prowadzenia badań naukowych z zakresu gleboznawstwa leśnego konieczne jest pobieranie próbek gleb z kilkunastu miejsc odległych od siebie o dystans nie mniejszy niż 4 m. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest, aby reprezentowały cały badany fragment drzewostanu. Szczególnie godny polecenia jest systematyczny sposób pobierania próbek (np. siatka kwadratów), tak aby nie pomijać lokalnych zagłębień czy najbliższego sąsiedztwa pni drzew.

## Literatura

- Austin-Petersen A., Larson N., Neufeld D. 2002. *Quercus macrocarpa* has no significant effect on surrounding soil in restored savannas. *Tillers* 3:1-4.
- Boettcher S. E., Kalisz P. J. 1990. Single-tree influence on soil properties in the mountains of eastern Kentucky. *Ecology* 71: 1365-1372.
- Borůvka L., Mládková L., Penížek V., Drábek O., Vašát R. 2007. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. *Geoderma* 140: 374-382.
- Brożek S., Zwydak M., Wanie T., Gruba P., Lasota J. 2007. Kierunki doskonalenia metod rozpoznawania siedlisk leśnych. *Sylwan* 151 (2): 26-34.
- Dijkstra F. A., Smits M. M. 2002. Tree species effects on calcium cycling: the role of calcium uptake in deep soils. *Ecosystems* 5: 385-398.
- Finzi A. C., Canham Ch. D., van Breemen N. 1998. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecological Applications* 8: 447-454.
- Gruba P. 2009. Wpływ drzew na przestrzenną zmienność w wierzchnich poziomach gleb leśnych. *Sylwan* 153 (5): 332-337.
- Gruba P., Hejduk M., Koryl O. 2009. Przestrzenna zmienność pH w wierzchnich poziomach gleb leśnych. *Sylwan* 153 (6): 406-412.
- Gruba P., Mulder J., Pacanowski P. 2011. Wpływ drzewostanu na siedliskowy indeks glebowy. *Roczniki Gleboznawcze* 62 (4): 182-189.



- Guo D., Mou P., Jones R. H., Mitchell R. J. 2004. Spatio-temporal patterns of soil available nutrients following experimental disturbance in a pine forest. *Oecologia* 138: 613-621.
- Namysłowska-Wilczyńska B. 2006. Geostatystyka. Teoria i zastosowania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Paluch J., Gruba P. 2010. Relationship between local stand density and local species composition and nutrient content in the topsoil of pure and mixed stands of silver fir (*Abies alba* Mill.). *Eur. J. Forest. Res.* 129: 509-520.
- Paluch J., Gruba P. 2012. Inter-crown versus under-crown area: contribution of local configuration of trees to variation in topsoil morphology, pH and moisture in *Abies alba* Mill. forests. *Eur. J. Forest. Res.* 857-870.
- Raat K. J., Draaijers G. P. J., Schaap M. G., Tietema A., Verstraten J. M. 2002. Spatial variability of through-fall water and chemistry of forest floor water content in a Douglas fir forest stand. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 6:363-374.
- Šamonil P., Tejnecký V., Borůvka L., Šebková B., Janík D., Šebek O. 2010. The role of tree uprooting in cambisol development. *Geoderma* 159, 83-98.
- Šamonil P., Valtera M., Bek S., Šebková B., Vrška T., Houška J. 2011. Soil variability through spatial scales in a permanently disturbed natural spruce-fir-beech forest. *Eur J Forest Res.* DOI 10.1007/s10342-011-0496-2.
- Schöning I., Totsche K. U., Kögel-Knabner I. 2006. Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested luvisol. *Geoderma* 136, 631-642.
- Spielvogel S., Priezel J., Kogel-Knabner I. 2010. Lignin phenols and cutin- and suberin-derived aliphatic monomers as biomarkers for stand history, SOM source and turnover. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia.
- Wackernagel H. 2003. Multivariate geostatistics. An introduction with applications. Springer-Verlag, Berlin-New York.

## SUMMARY

### Factors influencing spatial heterogeneity of pH in forest soils on the example of luvisols with marlstone underlayer

The aim of this study was to investigate the factors influencing the spatial variability of soil pH on an example of soil where, on some depth, the layer of parent material with considerably higher pH than topsoil occurs. Four study sites were located in different parts of slope, with different inclination, on haplic luvisols. In the lower part of the slope, at the depth ranging from 1 to 3m, a layer of marlstones was present. It had most significant influence on spatial variability of pH, locally having stronger impact on pH of topsoil. Marlstone layer could evenly altered topsoil pH – this can be explained by upward water movement, or throughout exposure of deeper soil layers – as an effect of uprooting, forming specific island-mosaic of pH. Analysis of variograms of soil pH shown that already at zero m distance its variability ( $C_0$ ) reached up to 20% of structural variability ( $C_0+C$ ). The range of autocorrelation was about 2-5 m except of plot 4 where semivariance was increasing in range of whole plot. In perspective of investigation carried out on forest soils more than ten samples is suggested to be taken to characterize homogeneous forest site. Sampling points should be locate at the distance bigger than 4 m from the others. Additionally, the sampling should not omit local depression and closest tree stems vicinity.