



**Jerzy Solon, Ewa Roo-Zielińska,
Marek Degórski**

Instytut Geografii i Przestrzennego
Zagospodarowania PAN
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa
j.solon@twarda.pan.pl, e.roo@twarda.pan.pl,
m.degor@twarda.pan.pl

Regionalne Studia Ekologiczno-Krajobrazowe
Problemy Ekologii Krajobrazu, tom XVI
Warszawa 2006

Związki między roślinnością a glebą w zależności od sposobu użytkowania ziemi jako podstawa modelowania krajobrazu (na przykładzie okolic Młodzaw koło Pińczowa)¹

Landscape structure modeling based on land-use
and Vegetation-Soil relationship
(Młodzawy near Pińczów case study)

Abstract: The aim of this study is to model the spatial differentiation of soil moisture on the basis of the point data and with the help of cokriging. The study area is located south of Pińczów, near the Młodzawy village. The point data were located along two profiles (transects). The forest transect consisted of 19 points, while the arable field transect consisted of 16 points. The forest vegetation is differentiated. Valleys bottom is occupied by *Ficario-Ulmetum*, while the majority of the rest of the area is a domain of different forms of *Tilio-Carpinetum*: (a) typical with *Quercus petraea* and *Carpinus betulus* in tree layer growing on degraded chernozem or typical brown soil; (b) poor one with domination of *Pinus sylvestris* connected with brown podzolic soil. Similar soil differentiation can be observed on arable fields but the vegetation is less diversified. On fields with grain crops only *Vicietum tetrasperame typicum* and *Vicietum tetraspermae consolidetosum* occur.

The modeling of soil moisture was conducted separately for afforested areas and for arable fields. The method of point cokriging and anisotropic spheric semivariograms was used. The location above sea level was put into the model as a co-variable.

Additionally, product-moment Pearson's correlations between soil variables, vegetation variables and hipsometry were calculated. It was shown that the type of landuse strongly influences the relationship between soil features and bioindicative indices of plant communities as well as the relation between soil moisture and the height above sea level.

Key words: soil moisture, landuse, transect, Pińczów, cokriging, landscape modelling

Słowa kluczowe: wilgotność gleby, użytkowanie ziemi, transekt, Pińczów, cokriging, modelowanie krajobrazu

¹ Praca wykonana w ramach projektu MNiI nr 3 P04G 03422 *Ocena stanu i przekształceń środowiska przyrodniczego na podstawie wskaźników geobotanicznych, glebowych i krajobrazowych*, kierowanym przez E. Roo-Zielińską.

Wprowadzenie

Przestrzenne zróżnicowanie cech gleby i roślinności od dawna jest przedmiotem studiów. Poza położeniem geograficznym i klimatem właśnie cechy gleby oraz sposób użytkowania są głównymi czynnikami wpływającymi na strukturę i procesy zachodzące w ekosystemach, w tym na produkcję oraz rozmieszczenie poziome i pionowe materii organicznej (Stephenson 1990, Neilson i in. 1992). Zdaniem P.A. Burrougha i in. (2001) przy różnych skalach przestrzennych różne procesy i struktury mają decydujący, bezpośredni i pośredni wpływ na określenie warunków życia organizmów żywych (w tym m.in. różnorodność, produkcję, rozkład materii organicznej). W skali „nano” czynnikiem bezpośrednio kontrolującym jest aktywność mikrobiologiczna gleby, wpływająca na dostępność pierwiastków i związków chemicznych. W skali „mikro” struktura wyższych warstw roślinności (np. fizjonomia, zwarcie i wysokość koron) determinuje dostępność światła, wilgotność podłoża oraz możliwość wykorzystywania zasobów glebowych przez rośliny runa. W skali „topo” najważniejszym czynnikiem jest morfologia powierzchni, tzn. nachylenie, ekspozycja i miąższość gleby. Warunki geologiczne i litologiczne, czyli czynniki determinujące właściwości fizyczne i chemiczne gleby oraz wpływające na topoklimat, odgrywają najważniejszą rolę przy analizach w skali „mezo”. Uwarunkowania makroklimatyczne ujawniają się dopiero przy badaniach w skalach ponadregionalnych i globalnych. Z powyższych rozważań P.A. Burrougha i in. (2001) wynika, że w zależności od postawionego celu badań, zarówno analizy powiązań między cechami gleby a strukturą roślinności, jak i analizy zróżnicowania poszczególnych zmiennych mogą być prowadzone w różnych skalach przestrzennych (Volobuev 1964, Fridland 1976, Degórski 2003). Obiektami wykorzystywanymi powszechnie w badaniach są powtarzalne przestrzenie toposekwencje glebowo-roślinne (kateny), zależne przede wszystkim od rzeźby terenu i związanych z nią cech pośrednich (Nettleton i in. 1986). Coraz częściej jednak obiektem badań są całe powierzchnie lub mozaiki krajobrazowe. Jednak analizy takie są bardzo czasochłonne; dlatego najczęściej stosuje się metody pośrednie, związane z badaniami w wybranych punktach (węzłach regularnej sieci) lub właśnie na katnach, a otrzymane dane interpoluje się na całą badaną powierzchnię. Stosuje się przy tym różne techniki interpolacji, wykorzystując między innymi związki korelacyjne między cechami, autokorelację przestrzenną lub zmienne dyskryminacyjne (Voltz i in. 1997, Sun i in. 2003, Officer i in. 2004, Tan i in. 2004).

Przy tak prowadzonych badaniach pojawia się jednak problem skalowalności otrzymanych wyników punktowych oraz wątpliwości co do możliwości zastosowania takich samych zasad interpolacji przy różnych formach użytkowania ziemi i typach formacji roślinnych (Stein i in. 2001, Sun i in. 2003). Pomocą przy rozwiązywaniu tych problemów są metody geostatystyczne, w tym

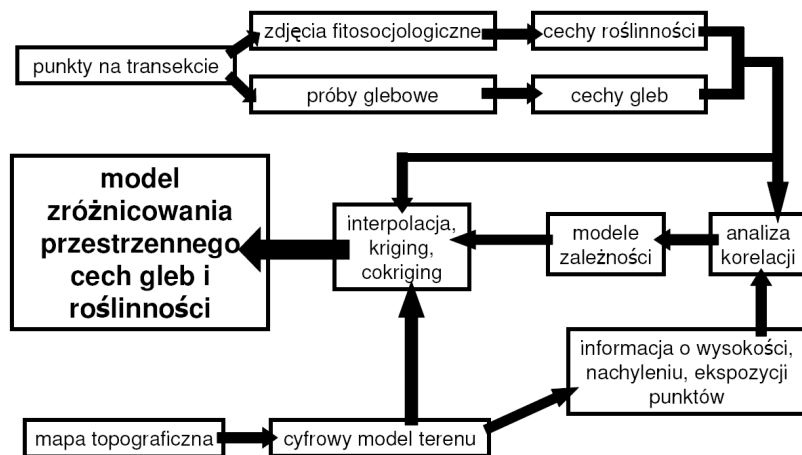
tw. kriging i co-kriging, już od 20 lat z powodzeniem stosowane do przewidywania zmienności przestrzennej cech gleby (Yost i in. 1982, Trangmar i in. 1987, Miller i in. 1988, Voltz, Webster, 1990, Lark 2002).

Prezentowane w artykule badania dotyczą próby zastosowania cokrigingu w modelowaniu zmienności przestrzennej wilgotności gleby. Jest to niewielki fragment znacznie szerszego projektu badawczego, którego ogólnym celem jest określenie związków między cechami strukturalnymi roślinności a fizycznymi i chemicznymi właściwościami gleb w zależności od użytkowania ziemi. W szczególności prezentowane analizy mają ściśle powiązanie z licznymi celami cząstkowymi projektu, do których należy: określenie tempa zmian właściwości zbiorowiska roślinnego i gleb wzdłuż gradientów topograficznych, podobieństwo typu zmienności właściwości gleb i roślinności oraz określenie wzajemnych powiązań między nimi, hierarchiczne uporządkowanie cech glebowych w zależności od ich wpływu na strukturę roślinności, skład gatunkowy i wartości wskaźników bioindykacyjnych, podobieństwo cech gleb zlokalizowanych w analogicznych położeniach na transektach w zależności od sposobu użytkowania ziemi oraz określenie modyfikującego wpływu użytkowania ziemi na relacje „położenie w rzeźbie – cechy glebowe”, modelowanie zmienności przestrzennej wybranych charakterystyk roślinności i cech glebowych.

Materiał i metody

Ogólny schemat postępowania

Prace badawcze przebiegały w kilku etapach (rys. 1). Pierwszy etap, przygotowawczy, sprowadzał się do ogólnego rozpoznania obszaru badań oraz



Rys. 1. Schemat ogólnej procedury badawczej

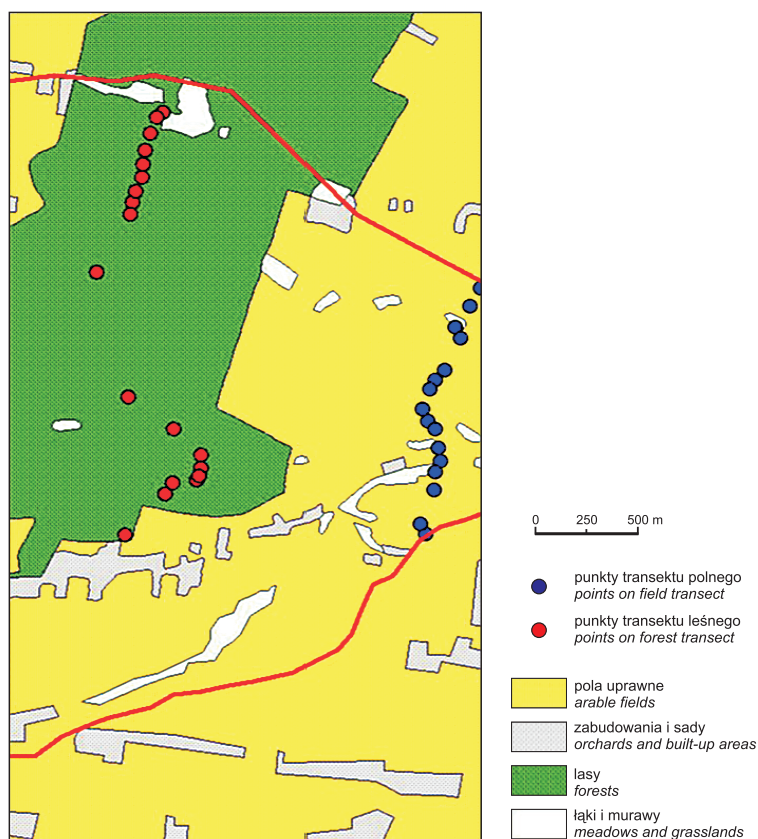
Fig. 1. Flow diagram of the procedure

utworzenia cyfrowego modelu terenu na podstawie poziomicy z mapy topograficznej w skali 1:25 000. Drugi etap to prace terenowe. W trzecim etapie wykonano analizy laboratoryjne i interpretację danych dotyczących roślinności. Ostatni etap prac obejmował analizy statystyczne i geostatystyczne.

Teren badań

Do badań szczegółowych wytypowano dwa poprzeczne transekty poprowadzone przez niewielką zlewnię (o powierzchni 24 km²) w okolicach Młodzaw (na południe od Pińczowa). Pierwszy transekt, położony całkowicie w lesie, obejmował 19 punktów badawczych, drugi, zlokalizowany na obszarach polnych – 16 punktów (rys. 2).

Analizowany obszar leśny charakteryzuje się obecnością wielu różnych zbiorowisk roślinnych. Dno doliny zajmuje łąg wiązowo-jesionowy (*Ficario-Ulmetum*), natomiast większość pozostałego obszaru to domena różnych postaci łągu (*Tilio-Carpinetum*), głównie postaci typowej, z dębem (*Quercus petraea*)



Rys. 2. Położenie transektów na tle użytkowania ziemi

Fig. 2. Location of transects versus the landuse

i grabem (*Carpinus betulus*) w drzewostanie. Postać ta występuje na glebach brunatnych typowych i na zdegradowanych czarnoziemach. Postać uboga grądu z sosną (*Pinus sylvestris*) w drzewostanie związana jest z glebami brunatnymi bielcowanymi. Na niewielkim fragmencie transektu występuje również mura-wa kserotermiczna ze związku *Cirsio-Brachypodium pinnati*, zajmując wychodnie skał wapiennych i fragmenty czarnoziemów wytworzonych z lessów.

Na transekcje polnym występuje podobne zróżnicowanie glebowe. W analizowanych powierzchniach upraw zbożowych występują dwa podzespoły segetalnego zbiorowiska wyki czteronasiennej (*Vicietum tetrasperame typicum* oraz *Vicietum tetraspermae consolidetosum*).

Prace terenowe

Podstawowe prace terenowe wykonano latem 2002 r., a uzupełniono w 2003 r. Na każdym z 35 punktów badawczych na obu transektach wykonano zdjęcia fitosocjologiczne oraz pobrano próby glebowe. Każde zdjęcie obejmowało powierzchnię o wymiarach 2 m (w górę stoku) × 10 m (na tej samej wysokości n.p.m) i zawierało następujące podstawowe informacje o konkretnym płacie roślinności: skład gatunkowy, pokrywanie (tj. udział powierzchniowy poszczególnych gatunków), warstwowość (strukturalna cecha zbiorowiska dotycząca jego pionowej budowy, najczęściej wyróżniane są warstwy: drzew – A, krzewów – B, runa – C, warstwy przyziemnej – mchów i porostów – D). Ilościowość gatunków (pokrywanie) oszacowano w zmodyfikowanej skali 12-stopniowej, w której r, +, 1 oznaczają odpowiednio 0,1%, 0,5% i do 10%, pozostałe wartości od 2 do 10 to kolejne przedziały dziesięcioprocentowe. W centrum każdego badanego płatu roślinności zlokalizowano odkrywkę glebową, w której wykonano diagnozę typologiczną pedonu, zgodnie z obowiązującą w Polsce systematyką gleb (*Systematyka Gleb Polski* 1989) oraz taksonomią UNESCO/FAO (1990). Następnie określono miąższość poziomów genetycznych gleby, ich barwę według atlasu Munsella (1990) oraz odczyn (pH) i przewodnictwo elektryczne (EC) metodą potencjometryczną. Pobrano również materiał glebowy do dalszych analiz laboratoryjnych.

Analiza i opracowanie danych

Opracowanie danych przebiegało w kilku etapach. W pierwszej kolejności wykonano analizy laboratoryjne zebranych próbek gleb oraz obliczono wskaźniki charakteryzujące roślinność badanych powierzchni. W przypadku gleb określono: zawartość węgla organicznego (C) w poziomach ektopróchnicy metodą Alena, w poziomach mineralnych – zmodyfikowaną metodą Tiurina, zawartość azotu ogólnego (N) zmodyfikowaną metodą Kjeldahla, wilgotności chwilowej metodą suszarkowo-wagową. Na podstawie otrzymanych wyników obliczono również stosunek C:N oraz zapasy wody glebowej.

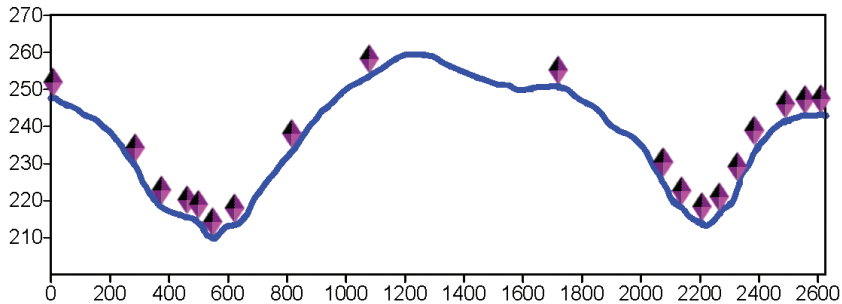
W przypadku roślinności dla każdego badanego płatu opisanego na podstawie zdjęcia fitosocjologicznego określono wymagania siedliskowe stosując metodę liczb wskaźnikowych Ellenberga (Ellenberg i in. 1991), z wykorzystaniem danych o gatunkach zawartych w opracowaniu Lindachera (Lindacher red. 1995). W szczególności określano wymagania w stosunku do wilgotności (wskaźnik F), kwasowości (wskaźnik R), zawartości azotu w glebie (wskaźnik N), zawartości humusu (wskaźnik H), dyspersji gleby (wskaźnik granulometryczny D) oraz jej żyzności (wskaźnik Tr). Wartości wskaźników określono jako średnie ważone, przy uwzględnieniu stopnia pokrycia gatunków z określonych klas wymagań.

Dalszy etap opracowania obejmował analizy statystyczne i geostatystyczne. Powiązania między zmiennymi określano na podstawie wskaźnika korelacji Pearsona oraz modeli regresji nieliniowych. Do tworzenia modelu zróżnicowania powierzchniowego wilgotności gleby zastosowano metodę punktowego cokrigingu z użyciem anizotropowych semiwariogramów sferycznych (Yates, Warrick 1987, Stein i in. 2001, Officer i in. 2004), przyjmując hipsometrię (wysokość nad poziomem morza) jako zmienną wspomagającą. Podejście to jest jednym z wariantów tzw. krigingowych metod interpolacyjnych. Polegają one na rozdzieleniu zróżnicowania przestrzennego zmiennej na trzy składniki: zmienność o charakterze deterministycznym (którą można opisać np. za pomocą linii regresji), autokorelację przestrzenną, przedstawianą za pomocą tzw. semiwariogramów, opisującą na ile wartość zmiennej w jednym punkcie zależy od wartości zmiennej w punktach sąsiednich, zmienną losową opisującą tzw. zakłócenia. W przeciwieństwie do zwykłego krigingu, cokriging wykorzystuje dwie zmienne, tj. główną (będącą przedmiotem modelowania), dla której znane są wartości z niewielkiej liczby punktów, i tzw. zmienną pomocniczą (wspomagającą), której wartości są znane dla dużej liczby punktów. Dzięki określeniu powiązań między tymi zmiennymi (drogą analizy kowariancji i semiwariogramów krzyżowych) interpolacja przestrzenna wartości zmiennej głównej jest znacznie bardziej precyzyjna (Burrough 1993, Burrough, McDonnell 1998).

Wyniki

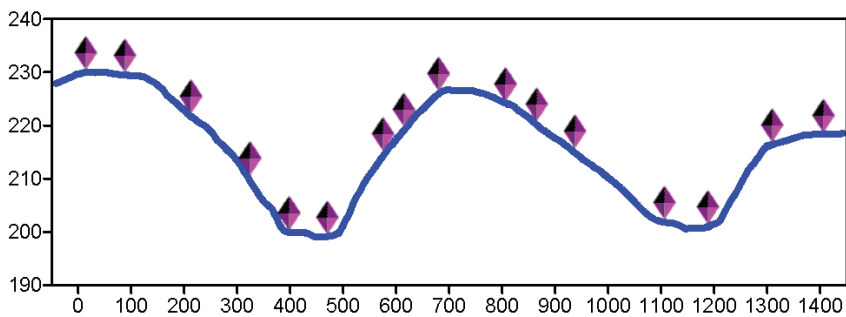
Transekt leśny miał długość 2600 m, obejmował 19 punktów. Najniższy punkt był położony na wysokości 209,6 m n.p.m., a najwyższy na wysokości 253,5 m n.p.m. (rys. 3). Transekt polny był krótszy – 1400 m; obejmował 16 punktów badawczych. Najniżej zlokalizowany punkt był położony na wys. 199,7 m n.p.m., a najwyższy na wysokości 230 m n.p.m. (rys. 4).

Związki korelacyjne między cechami gleb a cechami roślinności nie są na obu transektach zbyt silne. W przypadku transektu leśnego na 96 obliczonych wskaźników (6 cech roślinności \times 16 cech gleby) jedynie w 17 przypadkach korelacje są istotne statystycznie przy $p < 0,1$. Natomiast na transekcie polnym



Rys. 3. Profil hipsometryczny transektu leśnego

Fig. 3. Hypsometry of the forest transect



Rys. 4. Profil hipsometryczny transektu polnego

Fig. 4. Hypsometry of the field transect

na 60 możliwych powiązań (6 cech roślinności \times 10 cech gleb) korelacje istotne wystąpiły jedynie cztery razy (tab. 1).

Wyraźnie rysuje się przy tym odmienność obszarów polnych i leśnych. Jest ona jednoznacznie związana z dużym nasileniem oddziaływań antropogenicznych na obszarach polnych, które wpływają na skład gatunkowy (środki chwastobójcze) i wierzchnią warstwę gleby (zabiegi mechaniczne i nawożenie).

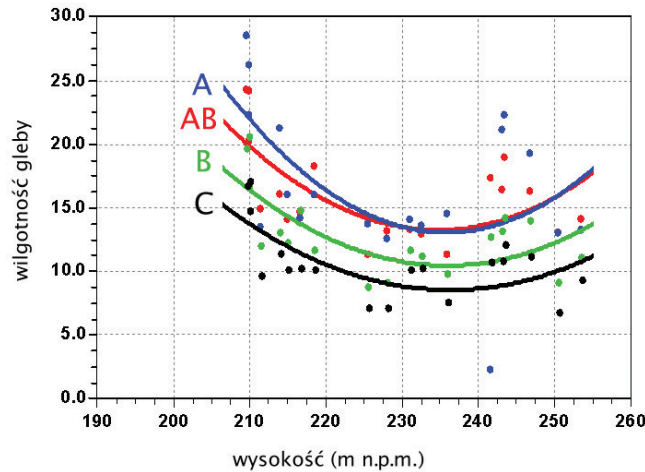
Wskaźniki korelacji dają jedynie przybliżony obraz powiązań między cechami. Bardziej szczegółowa analiza korelacji wskazuje na występowanie licznych dodatkowych zależności. Ze względu na postawiony cel badań najistotniejsze są relacje między wilgotnością gleby a wysokością nad poziomem morza.

Tab. 1. Istotnie statystycznie współczynniki korelacji Pearsona dla powiązań między roślinnością i glebą. * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Tab. 1. Statistically significant Person's correlation coefficients for relationship between vegetation and soil

	Nazwa zmiennej	Kod zmiennej	Wskaźniki bioindykacyjne Ellenberga					liczba gatunków
			wskaźnik humusu H	wskaźnik kwasowości R	wskaźnik wilgotności F	wskaźnik azotu N	wskaźnik granulometryczny (dyspersji) D	
transekt leśny	pH poziom B	BPH	-0,408*	0,876***				
	pH poziom C	CPH	-0,397*	0,868***				
	pH poziom A	APH		0,770***				
	pH poziom AB	ABPH		0,844***				
	wilgotność poziom AB	ABW		0,512**				
	wilgotność poziom B	BW		0,447*				
	wilgotność poziom C	CW		0,518**				
	stosunek C:N poziom A	AC_N		-0,487**				
	przewodnictwo poziom C	CK			0,467**	0,465**		
	wysokość m n.p.m.	WYS			-0,424*	-0,407*	-0,405*	
	zawartość azotu poziom A	AN						0,438*
	przewodnictwo poziom B	BK						0,430*
transekt polny	wilgotność poziom Ap	W_AP		0,504**	-0,486*			
	stosunek C:N poziom Ap	C_N_AP					-0,503**	
	zawartość azotu poziom Ap	N_AP					0,583**	

W przypadku transektu leśnego najwilgotniejsze są oczywiście miejsca położone relatywnie najniżej, natomiast najsuchsze są stanowiska stokowe. Zależność tę najlepiej opisuje równanie kwadratowe (rys. 5).



Rys. 5. Zależności między wysokością n.p.m. (zmienna x) a wilgotnością różnych poziomów genetycznych gleby (zmienna y) na transekcie leśnym. Parametry linii regresji podano w tabeli 2

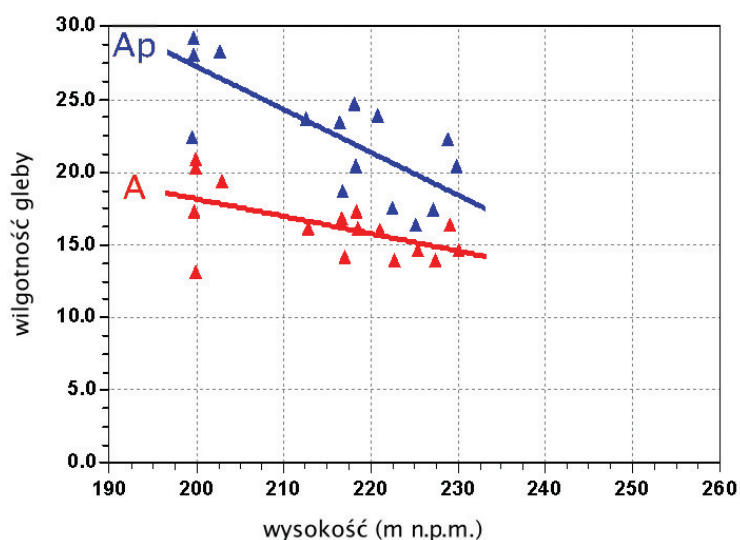
Fig. 5. The relationship between location asl (x variable) and the moisture of different soil layers (y variable) on the forest transect. Regression parameters are given in the table 2

Tab. 2. Parametry linii regresji opisującej związek między wysokością n.p.m. (zmienna x) i wilgotnością różnych poziomów gleby (zmienna y)

Tab. 2. Regression parametrs for relationship between location asl (x variable) and the moisture of different soil layers (y variable)

	las	las	las	las	pole	pole
	poziom A	poziom AB	poziom B	poziom C	poziom Ap	poziom A
funkcja	$y=a+bx+cx^2$	$y=a+bx+cx^2$	$y=a+bx+cx^2$	$y=a+bx+cx^2$	$y=a+bx$	$y=a+bx$
a =	754,829	607,814	503,343	427,369	86,318	41,907
b =	-6,293	-5,069	-4,182	-3,549	-0,295	-0,119
c =	0,013	0,011	0,009	0,008		
błąd std.	5,259	3,086	2,555	2,326	2,781	1,942
wsp. korelacji	0,554	0,639	0,672	0,656	0,776	0,579

Na transekcie polnym sytuacja jest odmienna. Najsuchsze są miejsca położone najwyżej (rys. 6). Odmienność obu przekrojów można wytłumaczyć wpływem szaty roślinnej na warunki mikroklimatyczne. Na obszarach leśnych w położeniach szczytowych ściółka i przyziemna warstwa runa akumulują wilgoć i stanowią ochronę przed nadmiernym parowaniem.



Rys. 6. Zależności między wysokością n.p.m. (zmienna x) a wilgotnością różnych poziomów genetycznych gleby (zmienna y) na transekcje polnym. Parametry linii regresji podano w tabeli 2

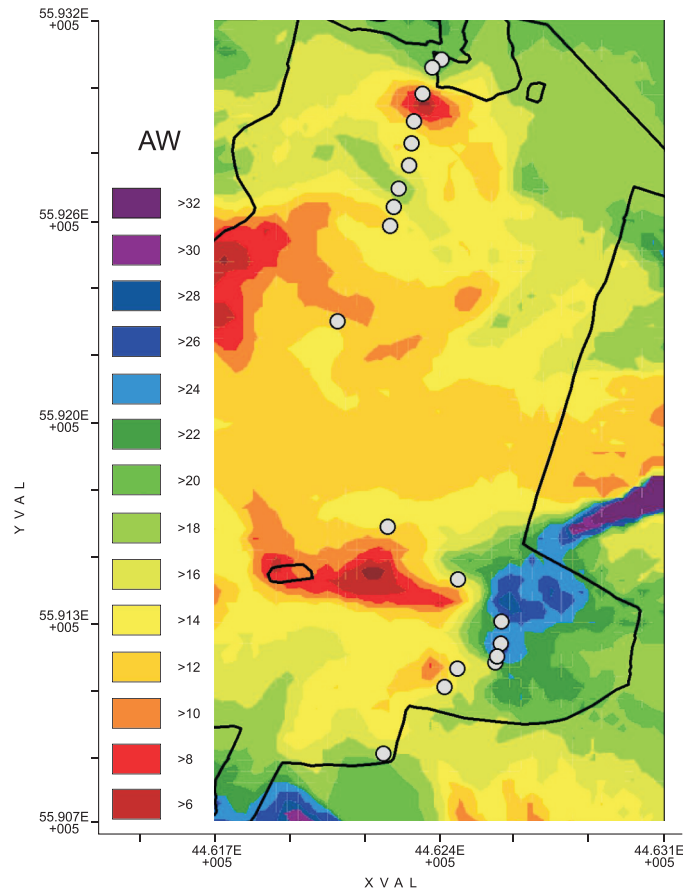
Fig. 6. The relationship between location asl (x variable) and the moisture of different soil layers (y variable) on the field transect. Regression parameters are given in the table 2

Należy również podkreślić, że na obu transektach w okresie badań najwilgotniejsze były wierzchnie warstwy gleby, a wilgotność spadała stopniowo w dół profilu. Jest to typowy układ dla gleb autogenicznych wykształconych ze słabo przepuszczalnych skał.

Odrębność powiązań między zmiennymi charakteryzującymi gleby, roślinność i położenie nad poziomem morza powoduje konieczność opracowania odrębnych modeli przestrzennych dla lasów i obszarów polnych.

Otrzymany na drodze cokrigingu model wilgotności powierzchniowych poziomów gleby stosunkowo dobrze odpowiada zróżnicowaniu hipsometrycznemu terenu (rys. 7). Uwzględnia również odmienności wynikające z występowania różnych typów lasu oraz wskazuje na stopniową zmianę wilgotności od wyniesień do obniżen terenu.

Zupełnie odmienny jest obraz przestrzennego zróżnicowania wilgotności na obszarach polnych (rys. 8). Cały teren jest podzielony na dwie wyraźnie odmienne jednostki. Dna dolin i obniżen są wyraźnie wilgotniejsze lub wilgotne, natomiast większość stoków i wyniesien jest znacznie bardziej sucha. Przejścia między obszarami bardziej suchymi a wilgotnymi są bardzo raptowne, gdyż obszary o pośrednim stopniu wilgotności tworzą jedynie wąskie pasy w dolnej części stoków.

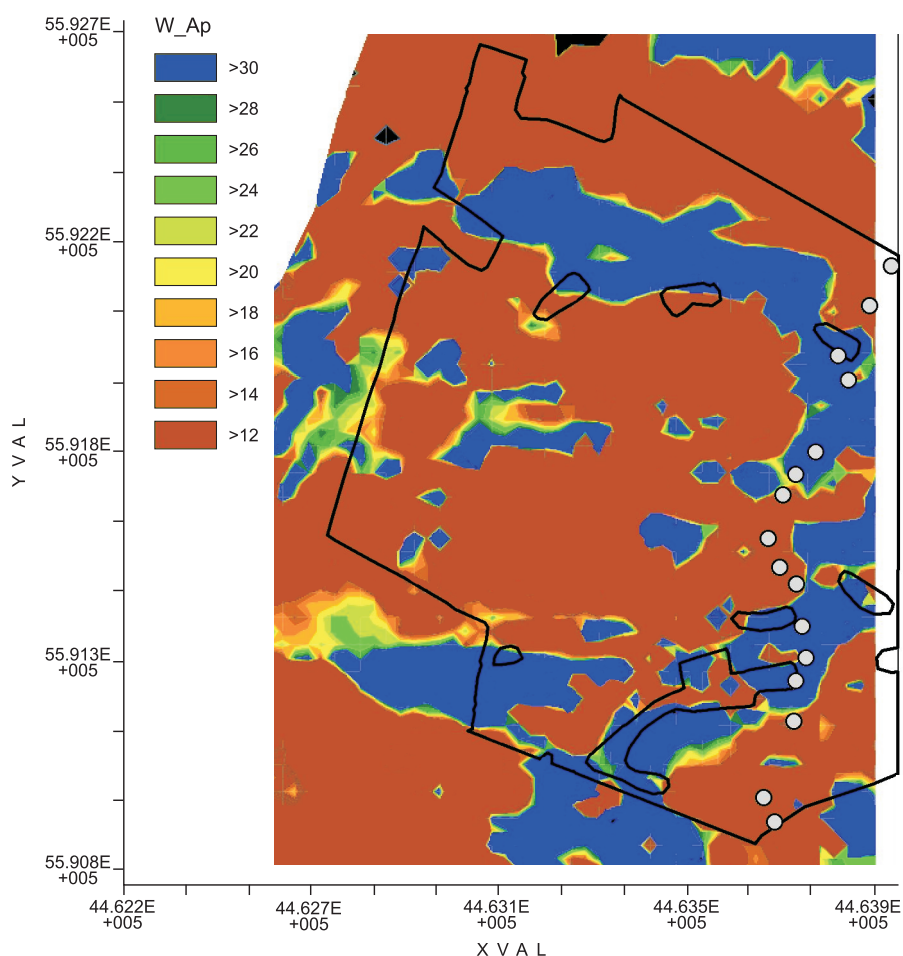


Rys. 7. Przestrzenne zróżnicowanie wilgotności wierzchniej warstwy gleby obszarów leśnych. Model otrzymany na drodze cokrigingu

Fig. 7. Spatial differentiation of the upper soil layer on afforested areas. The cokriging procedure was used for modeling

Uwagi końcowe i wnioski

Wykonane analizy wskazują na znacznie większą zmienność cech glebowych w lesie niż na obszarach polnych oraz na występowanie kilku odmiennych wzorów zmienności przestrzennej tych cech (w szczególności odmiennie zmienia się w przestrzeni wartość pH, wilgotności oraz zawartość węgla i azotu). Ponadto użytkowanie ziemi (typ pokrycia terenu) wyraźnie wpływa na istotność i wiarygodność relacji „cechy gleby – bioindykacyjna ocena gleby” oraz modyfikuje zależności między cechami gleby a położeniem hipsometrycznym.



Rys. 8. Przestrzenne zróżnicowanie wilgotności wierzchniej warstwy gleby obszarów polnych. Model otrzymany na drodze cokrigingu

Fig. 8. Spatial differentiation of the upper soil layer on arable fields. The cokriging procedure was used for modeling

Otrzymane wyniki umożliwiają modelowanie zmienności cech roślinności i gleb w przestrzeni na podstawie znajomości hipsometrii i badań w wybranych punktach, reprezentujących położenia charakterystyczne dla danego typu krajobrazu. Warto jednak pamiętać, że do modelowania z zastosowaniem cokrigingu można jedynie wykorzystywać dane jednorodne wewnętrznie, reprezentujące ten sam typ zależności, czyli obejmujące tereny charakteryzujące się tym samym typem użytkowania. Niezależnie od dokładności i wiarygodności wyników otrzymanych dla konkretnych punktów,

zastosowana metoda dobrze oddaje ogólny typ rozkładu badanej cechy w przestrzeni.

Należy także podkreślić jedno ograniczenie zastosowanej metody cokrigingu: nie można mechanicznie połączyć w jedną mapę obrazów zróżnicowania przestrzennego obszarów leśnych i polnych. Wynika to z faktu, iż podczas modelowania autokorelacja przestrzenna była określana na podstawie dwóch różnych semiwariogramów krzyżowych.

Badań analizujących wpływ użytkowania ziemi na przestrzenną zmienność cech glebowych nie ma zbyt wiele (por. Sun i in. 2003). Z opublikowanych prac wynika jednak konieczność odrębnego modelowania powierzchni charakteryzujących się odmiennym typem pokrycia terenu (Bio i in. 2002). Otrzymane przez nas wyniki są również zgodne z rezultatami prac Z.X. Tana i in. (2004), którzy stwierdzili, że znaczenie poszczególnych zmiennych glebowych dla struktury i przebiegu procesów w obrębie szaty roślinnej jest różne przy różnych formach użytkowania ziemi. Z ich badań wynika również, że wpływ hipsometrii na zróżnicowanie przestrzenne wilgotności gleby jest znacznie silniejszy na powierzchniach leśnych niż na obszarach polnych.

Literatura

- Bio A.M.F., Becker P., Bie E.D., Huybrechts W., Wassen M., 2002: *Prediction of plant species distribution in lowland river valleys in Belgium: Modelling Species Response to Site Conditions*. „Biodiversity and Conservation”, 11: 2189–2216.
- Burrough P., McDonnell R., 1998: *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.
- Burrough P.A., 1993: *Soil Variability: a late 20th century view*. „Soils Fert.”, 56: 529–562.
- Burrough P.A., Wilson J.P., van Gaans P.F.M., Hansen A.J., 2001: *Fuzzy k-means Classification of Topo-Climatic Data as an Aid to Forest Mapping in the Greater Yellowstone Area*. USA. „Landscape Ecology”, 16: 523–546.
- Degórski M., 2003: *Pedodiversity as a part of geodiversity in creation of landscape structure* [w:] *Multifunctional Landscapes*, Vol. II, Monitoring, Diversity and Management, WIT PRESS, Southampton, Boston: 105–121.
- Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D., 1991: *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. „Scripta Geobotanica”, 18, Göttingen.
- Fridland V., 1976: *The Soil-cover Pattern: Problems and Methods of Investigation* [w:] Fridland V. (ed.), *Soil Combinations and their Genesis*. Amerind Publication. „New Delhi”, 3–31.
- Lark, R.M., 2002: *Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood*. „Geoderma” 105: 49–80.
- Lindacher R. (ed.), 1995: *Phanart Datenbank der Gefäßpflanzen Mitteleuropas, Erklärung der Kennzahlen, Aufbau und Inhalt* (Phanart, Database of Centraleuropean

- Vascular Plants, Explanation of codes, Structure and Contents*). „Veröffentlichungen Geobotanischen Institut der ETH Stiftung Rübel”, 125 Zürich.
- Miller, M.P., Singer, P.M.J., Nielsen, D.R., 1988: *Spatial Variability of wheat yield and soil properties on complex hills*. „Soil Sci. Soc. Am. J.”, 52: 1133–1141.
- Munsell Soil Color Charts, 1990: *Munsell Color. Macbeth Div. Of Kollmorgen Instruments, Baltimore. MD, USA*.
- Neilson R.P., King G.A., Koerper G., 1992: *Toward a rule-based biome model*. „Landscape Ecology”, 7: 27–43.
- Nettleton W., Goldin A., Engel R., 1986: *Differentiations of spodosols and andepts in a western Washington soil climosequence*. „Soil Sci. Soc. Am. J.”, 50: 987–992.
- Officer S.J., Kravchenko A., Bollero G.A., Sudduth K.A., Kitchen N.R., Wiebold W.J., Palm H.L., Bullock D.G., 2004: *Relationships between soil bulk electrical conductivity and the principal component analysis of topography and soil fertility values*. „Plant and Soil”, 258: 269–280.
- Stein A., Riley J., Halberg N., 2001: *Issues of scale for environmental indicators*. „Agriculture, Ecosystems and Environment” 87: 215–232.
- Stephenson N.L., 1990: *Climatic control of vegetation distribution: the role of water balance*. „American Naturalist”, 135: 649–670.
- Sun B., Zhou S., Zhao Q., 2003: *Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China*. „Geoderma”, 115: 85–99.
- Tan Z.X., Lal R., Smeck N.E., Calhoun F.G., 2004: *Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables*. „Geoderma”, 121: 187–195.
- Trangmar B.B., Yost R.S., Wade M.K., Uehara G., Sudjadi M., 1987: *Spatial variation of soil properties and rice yield in recently cleared land*. „Soil Sci. Soc. Am. J.”, 51: 668–674.
- Volobuev V., 1964: *Ecology of soils*. Israel Progr. Sci. Transl., Jerusalem, Davey.
- Voltz M., Lagacherie P., Louchart X., 1997: *Predicting soil properties over a region using sample information from a mapped reference area*. „Eur. J. Soil Sci.”, 48: 19–30.
- Voltz M., Webster R., 1990: *A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information*. „J. Soil Sci.”, 41: 473–490.
- Yates S.R., Warrick A.W., 1987: *Estimating soil water content using cokriging*. „Soil Sci. Soc. Am. J.”, 51: 23–30.
- Yost R.S., Uehara G., Fox, R.L., 1982: *Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas: I. Semivariograms*. „Soil Sci. Soc. Am. J.”, 46: 1028–1032.