doi: 10.26114/sir.iung.2018.58.02

S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 58(12): 25-34 **2018**

Artur Łopatka[1], Piotr Koza[1], Tomasz Stuczyński[2]

[1] *Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach*
[2] *Katolicki Uniwersytet Lubelski*

METODYKA INTERPOLACJI OPRACOWANA NA POTRZEBY TWORZENIA MAP ZAGROŻEŃ GLEB*

Słowa kluczowe: mapy zagrożeń, mapa glebowo-rolnicza, interpolacja wielowymiarowa

Wstęp

Ocena zagrożeń dla wybranego obszaru gleb zazwyczaj składa się z trzech elementów: i) punktowych pomiarów właściwości gleb, ii) przypisania ich do powierzchni, który reprezentują oraz iii) obliczenia stopnia zagrożenia dla całości obszaru w oparciu o wybrany model. Ze względu na koszty i czas wykonania poboru oraz analiz prób glebowych, w badaniach gleboznawczych powszechnie napotyka się problem zbyt małej liczby pomiarów w stosunku do rzeczywistej zmienności przestrzennej szacowanych właściwości. Problem ten rozwiązywany jest różnorodnymi metodami interpolacji, które w większości polegają na przyjęciu w pobliżu punktów pomiaru wartości bliskich mierzonym w tych punktach i wartości bliskich średnim z wielu pomiarów w dużej odległości od punktów pomiaru. Metody interpolacji zazwyczaj oparte są więc na niejawnym założeniu, że parametry glebowe zmieniają się w przestrzeni w sposób ciągły. Przyjmuje się, że kompleksy glebowe położone w bliskiej odległości, poddane są niemal identycznym wpływom klimatu, odziaływaniu poziomu wód gruntowych czy zabiegom uprawowym. Założenia powyższe najczęściej słuszne w skali pola uprawnego, staja się już dyskusyjne w jego najbliższym otoczeniu i najczęściej błędne dla obszarów większych powierzchniowo jak jednostki administracyjne lub regiony fizyczno-geograficzne. W skali pola pobranie kilku próbek oznacza najczęściej, że odległości pomiędzy punktami pomiarowymi nie przekraczają kilkudziesięciu metrów. W skali kraju takiego jak Polska nawet duże monitoringi gleb użytków rolnych, obejmujące kilkadziesiąt tysięcy punktów poboru próbek nie gwarantują, że średnia odległość pomiędzy pomiarami będzie mniejsza

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.9 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

niż kilometr. Przy takich odległościach pomiędzy punktami pomiaru zmienność ukształtowania terenu, zasięgu poziomu wody gruntowej, rodzaju i sposobu uprawy powoduje, że interpolacja powinna uwzględniać dodatkowe informacje oprócz odległości od punktu pomiaru. Kolejną przeszkodą w stosowaniu interpolacji są nieciągłości występujące licznie w przyrodzie. Mogą one mieć przyczynę naturalną: skarpy; ostre granice geologiczne; mozaika glebowa, której genezą były burzliwe procesy geomorfologiczne, itp. – lub przyczynę związaną z użytkowaniem terenu, np.: granice pól, granice między użytkami zielonymi a gruntami ornymi, infrastrukturą. W związku z tym mapy powstające w wyniku interpolacji powinny uwzględniać to zjawisko przez wprowadzenie do modelu warstwy pomocniczej, opisującej występowanie „nieciągłości". W przypadku badań rolniczych największe znaczenie ma nieciągłość będąca granicą gruntów ornych i trwałych użytków zielonych. Na granicy tej, parametry gleb takie jak zawartość próchnicy czy ilość sorbowanych na niej zanieczyszczeń zmieniać się mogą nawet o rząd wielkości. Nieuwzględnienie istnienia tego typu nieciągłości w otoczeniu punktu pomiarowego zlokalizowanego na użytkach zielonych skutkuje np. znacznym przeszacowaniem interpolowanych zawartości próchnicy na bliskich gruntach ornych. Obecność nieciągłości w danych glebowych (i geologicznych) znajduje naturalne odzwierciedlenie w dominującym na ich mapach zapisie zmienności przestrzennej w formie mozaiki poligonów – płatów gleb o jednorodnych właściwościach. Większość danych meteorologicznych (oprócz opadów), ze względu na zjawiska mieszania i dyfuzji spełnia założenia ciągłości w znacznie większych skalach, przez co ich interpolacja jest zadaniem znacznie prostszym i prowadzi do powstania map składających się z wielu współkształtnych izolinii.

Dostępność szczegółowych map uwzgledniających przestrzenną nieciągłość zmienności uziarnienia gleb była inspiracją do opracowania nowej, opisanej w dalszej części artykułu, metody interpolacji danych glebowych. Metodę tą zastosowano do interpolacji wszystkich parametrów gleb wykorzystywanych do opracowania map zagrożeń prezentowanych w dalszych rozdziałach opracowania. Mapy zagrożeń gleb obrazują wyniki modeli zastosowanych do oceny obniżenia rolniczego potencjału produkcyjnego gleb ze względu na degradację ich struktury fizycznej gleby (indeks S) czy też skażenia takimi metalami ciężkimi jak kadm Cd, cynk Zn, czy ołów Pb.

Definicja proponowanej metody interpolacji

Uziarnienie gleby czyli rozkład wielkości cząstek glebowych jest czynnikiem silnie powiązanym z większością parametrów gleb. Uziarnienie determinuje rozkład porów glebowych, co oznacza że zależą od niego zarówno polowa pojemność wodna gleby jak i jej przewodność hydrauliczna. W efekcie uziarnienie jest głównym czynnikiem różnicującym wilgotność gleb na obszarach o jednorodnych warunkach klimatycznych gdzie podsiąk z poziomu zwierciadła wody gruntowej jest zaniedbywalny (niemal

wszystkie GO w Polsce). Wilgotność gleby wpływa z kolei na szybkość procesów mineralizacji glebowej materii organicznej oraz wysokość plonów i ilość resztek pożniwnych i z tego powodu jest zmienną skorelowaną z jej zawartością. Właściwości sorpcyjne materii organicznej sprawiają, że jest ona zmienną objaśniającą poziomy zawartości pierwiastków śladowych (jak Cd, Zn czy Pb) czy też wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Podobne sorpcyjne właściwości mają najdrobniejsze frakcje cząstek glebowych. Właściwości strukturotwórcze materii organicznej wpływają na gęstość gleby, możliwości tworzenia struktury agregatowej i ocenę fizycznej jakości gleby pod względem łatwości uprawy (indeks S).

Cyfrowe mapy glebowo-rolnicze zawierające informacje o uziarnieniu jak i użytkowaniu poszczególnych poligonów glebowych (granice pomiędzy gruntami ornymi GO i trwałymi użytkami zielonymi TUZ) są więc cennym źródłem zmiennych objaśniających dla procesu interpolacji. Przeszkodą w ich wykorzystaniu do interpolacji geostatystycznej, klasyczną metodą kokrigingu jest ich kategoryczny charakter. Przejście z informacji kategorycznej takiej jak przynależność gleby do grupy granulometrycznej (pl, pgl, gl, i, plz) na parametryczną taką jak udział wybranej frakcji (np. iłu koloidalnego) jest możliwe lecz wymaga posiłkowania się informacją o przedziałach składu granulometrycznego. Bardzo trudna jest za to parametryzacja użytkowania terenu (GO, TUZ, lasy).

Proponowana metoda interpolacji została więc oparta na wykorzystaniu objaśniających zmiennych kategorycznych tak, że warstwy rastrowe oryginalnie ciągłych zmiennych objaśniających muszą być uśrednione w granicach poligonów mapy i dopisane do bazy mapy np. w postaci przedziałów wartości zmiennej. W efekcie zastosowania proponowanej metody uzyskiwane jest przypisanie do istniejących poligonów mapy glebowo-rolniczej wartości mierzonych w lokalizacjach poboru prób z uwzględnieniem informacji o odległości pomiędzy środkiem geometrycznym poligonu a lokalizacją poboru próbki oraz informacji o stopniu podobieństwa pomiędzy własnościami gleb w poligonie mapy i pobranej próbce.

Pierwotna wersja proponowanej metody (2) zakładała przypisanie do poligonu właściwości najbardziej podobnej i bliskiej próbki. Zaletą pierwotnej wersji metody było dobre odzwierciedlenie rozkładów zmienności interpolowanych cech ze względu na brak typowych dla interpolacji procesów uśredniania. Niestety wadą takiego rozwiązania była podatność na niewielkie zmiany w liczbie i lokalizacji pobranych próbek co powodowało obawy że jej zastosowanie np. do wyznaczenia nowych zasięgów Obszarów o Niekorzystnych Warunkach gospodarowania (ONW) (w oparciu o udziały frakcji piasku wg. definicji USDA/FAO2006) może w pewnych regionach narażać nowo wyznaczane zasięgi ONW na podważenie w sytuacji wykonania dodatkowych pomiarów.

Nowo opracowana wersja metody zakłada przypisanie do poligonu średnich ważonych wartości interpolowanego parametru z próbek spełniających zadane kryteria podobieństwa zgodnie z ogólnym wzorem mającym zastosowanie w wielu metodach interpolacji (1):

$$\hat{z}(x_j) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{ji} z(x_i) \qquad (1)$$

gdzie $\check{z}$ jest estymowaną wartością parametru w wybranej lokalizacji x_j, z jest zmierzoną wartością w lokalizacji x_i, λ_{ji} jest wagą przypisaną do pobranej próbki, a n jest liczbą pobranych próbek.

W przypadku popularnej i prostej metody IDW (*ang. Inverse Distance Weighting*), której wyniki są w pewnych warunkach porównywalne a nawet lepsze od bardziej skomplikowanych metod geostatystycznych takich jak kriging (1, 4) wagi wynoszą:

$$\lambda_{ji} = \frac{1/d_{ji}^{p}}{\sum_{i=1}^{n} 1/d_{ji}^{p}} \qquad (2)$$

gdzie d_{ji} jest odległością euklidesową pomiędzy miejscem interpolacji x_j oraz miejscem poboru próbki gleby x_i, a p jest współczynnikiem potęgowym. Przy bardzo wysokich wartościach współczynnika p uzyskuje się rezultaty podobne do interpolacji metodą poligonów Woronoja/Thiessena/Dirichleta tzn. zdominowane przez wartość najbliższego punktu, a przy wartościach p<2 zdominowane przez średnią z odległych punktów. Wartość p=2 jest domyślnie przyjmowana przez większość programów geostatystycznych, przy czym n jest ograniczane do 12 najbliższych próbek.
W przypadku proponowanej metody miejsce interpolacji jest środkiem geometrycznym wybranego poligonu mapy glebowo-rolniczej a wagi λ_{ji} wynoszą:

$$\lambda_{ji} = \frac{\frac{m_{ji}}{d_{ji}^{p}} \sum_{k=1}^{K} a_{kji} w_k}{\sum_{i=1}^{n} \frac{m_{ji}}{d_{ji}^{p}} \sum_{k=1}^{K} a_{kji} w_k} \qquad (3)$$

gdzie w_k jest wagą przypisaną do poszczególnych warstw zmiennych objaśniających, m_{ji} jest funkcją schodkową: m_{ji}=1 gdy zachodzi narzucony warunek konieczny podobieństwa tzn. kategoryczna zmienna objaśniająca konieczna, przyjmuje ta samą wartość zarówno dla próbki jak i poligonu, oraz m_{ji}=0 gdy zmienna ta przyjmuje różne wartości dla próbki i poligonu. Podobnie a_{kji} jest funkcją schodkową: a_{kji}=1 gdy zachodzi narzucony warunek dodatkowy podobieństwa tzn. kategoryczna k-ta zmienna objaśniająca dodatkowa, przyjmuje ta samą wartość zarówno dla próbki jak i poligonu, oraz a_{kji} =0 gdy k-ta zmienna przyjmuje różne wartości dla próbki i poligonu.

W ten sposób do poligonu mapy przypisywana jest średnia ważona tylko z próbek, które spełniają warunek konieczny podobieństwa (np. ta sama kategoria agronomiczna) przy czym spełniają co najmniej jeden warunek dodatkowy (np. to

samo użytkowanie). Spełnienie warunków dodatkowych zwiększa wpływ próbki na wartość średnią proporcjonalnie do wagi poszczególnych zmiennych objaśniających. Dodatkowo wpływ próbki na wartość średnią jest tak samo jak w metodzie IDW tym większy, im pobrano ją bliżej geometrycznego środka poligonu glebowego.
Po prostych przekształceniach wzorów [1] i [3] uzyskuje się:

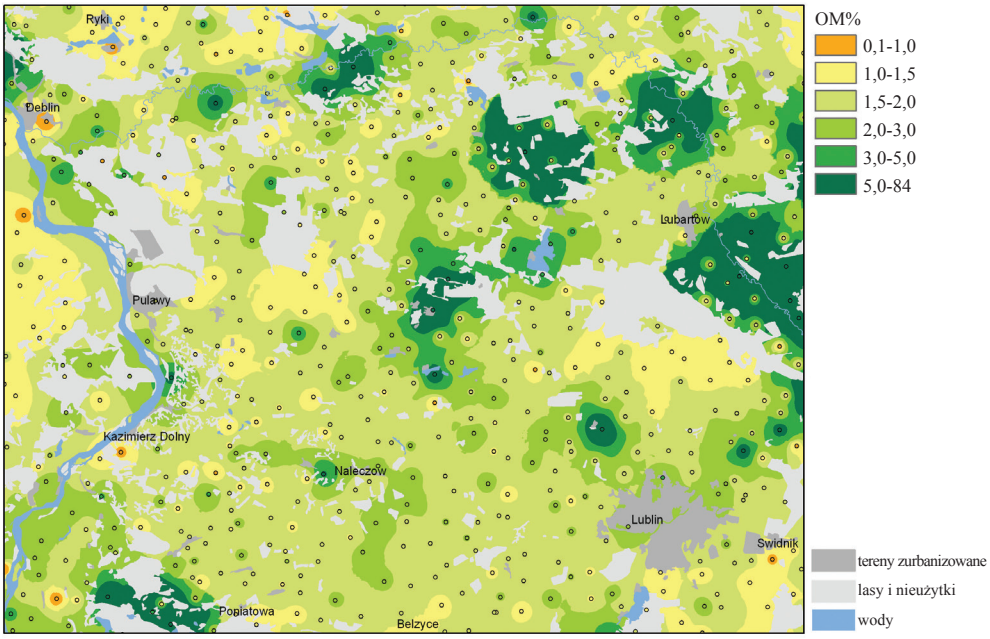
$$\sum_{k=1}^{K} w_k \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{a_{kji}\, m_{ji}}{d_{ji}^{p}} \left(\hat{z}(x_j) - z(x_i) \right) \right] = 0 \qquad (4)$$

ponieważ wagi w_k określone są z dokładnością do dowolnego wspólnego mnożnika można narzucić warunek:

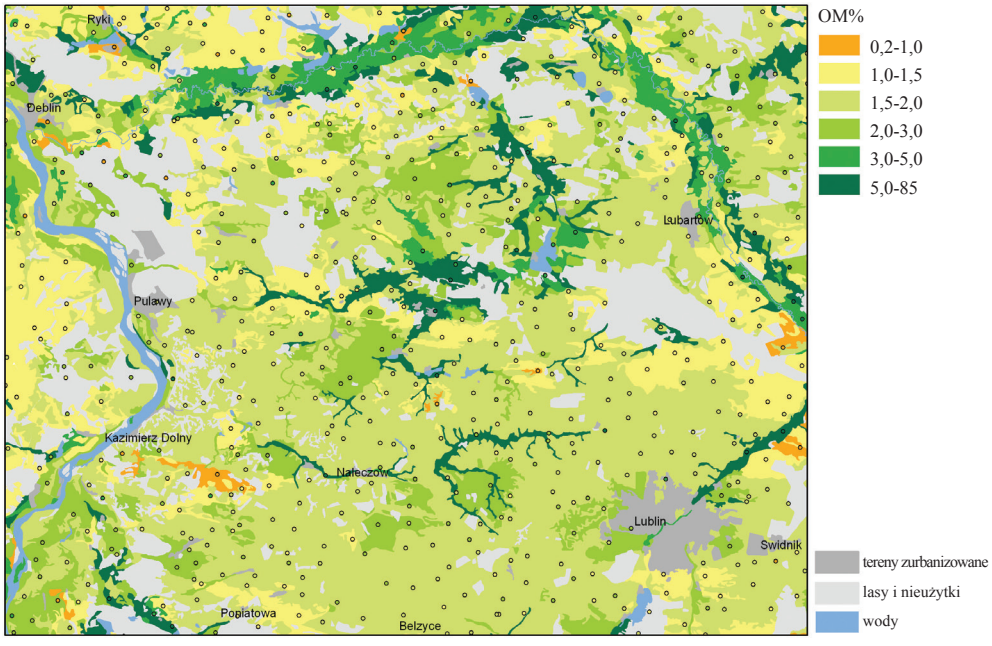
$$\sum_{k=1}^{K} w_k = 1 \qquad (5)$$

który pozwala wyeliminować z równania [4] jedną dowolnie wybraną wagę i wyznaczyć pozostałe wagi metodą regresji liniowej, gdy za *ž* podstawione zostaną zmierzone wartości z kolejnych próbek.

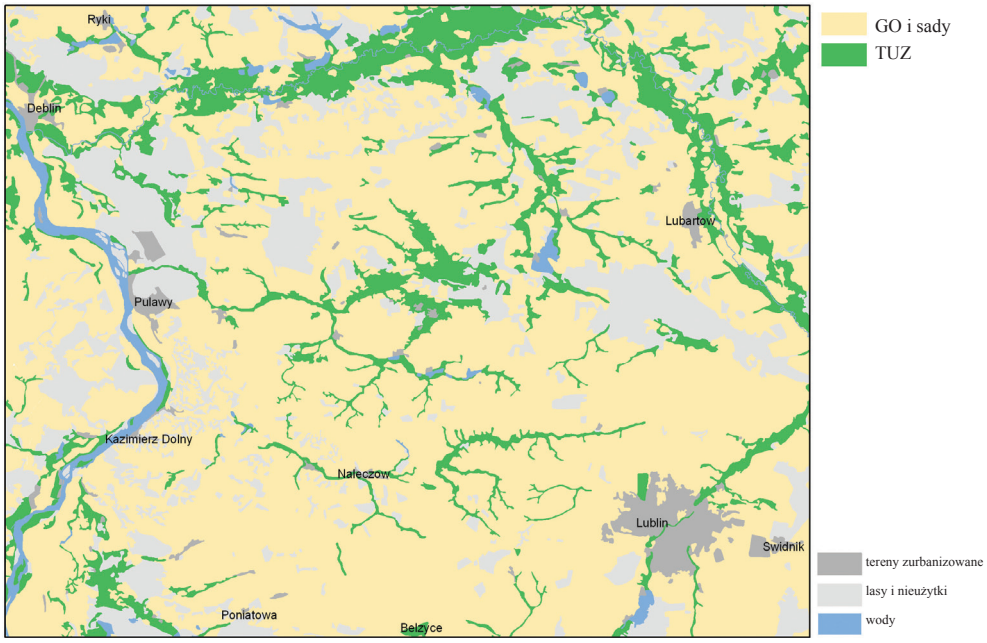
Proponowana metoda ma wizualnie przewagę nad metodą IDW ponieważ zmienność interpolowanych cech jest zgodna ze zmiennością wyznaczoną kształtami poligonów glebowych a nie zależna jedynie od odległości do miejsca poboru próbki, jak ma to miejsce w metodzie IDW, krigingu i wielu innych.



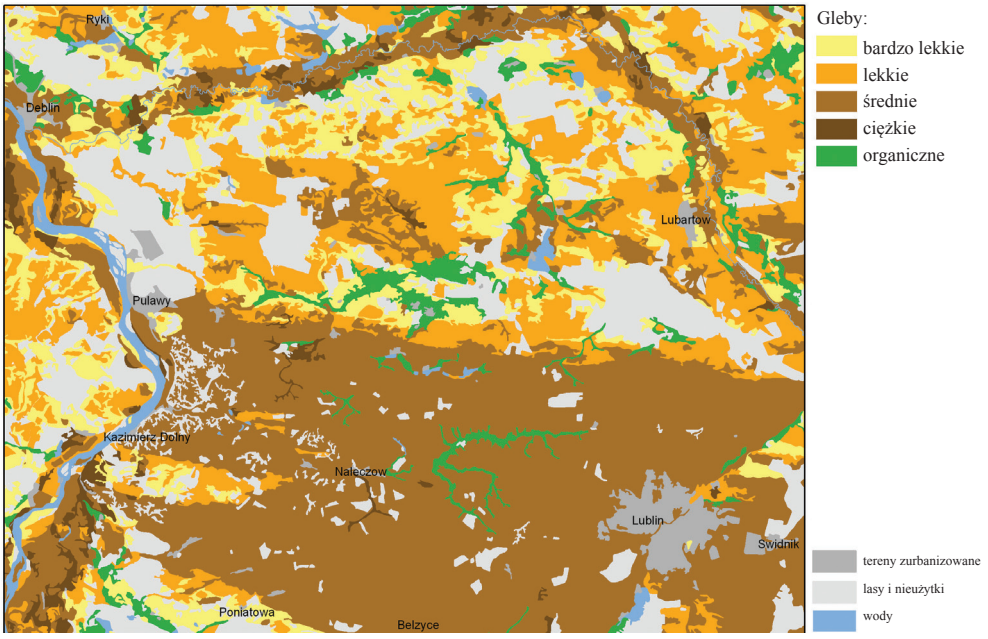
Rys. 1. Zawartość materii organicznej (OM) w wierzchniej warstwie gleby interpolowana metodą IDW
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych monitoringu z lat 90-tych (6)



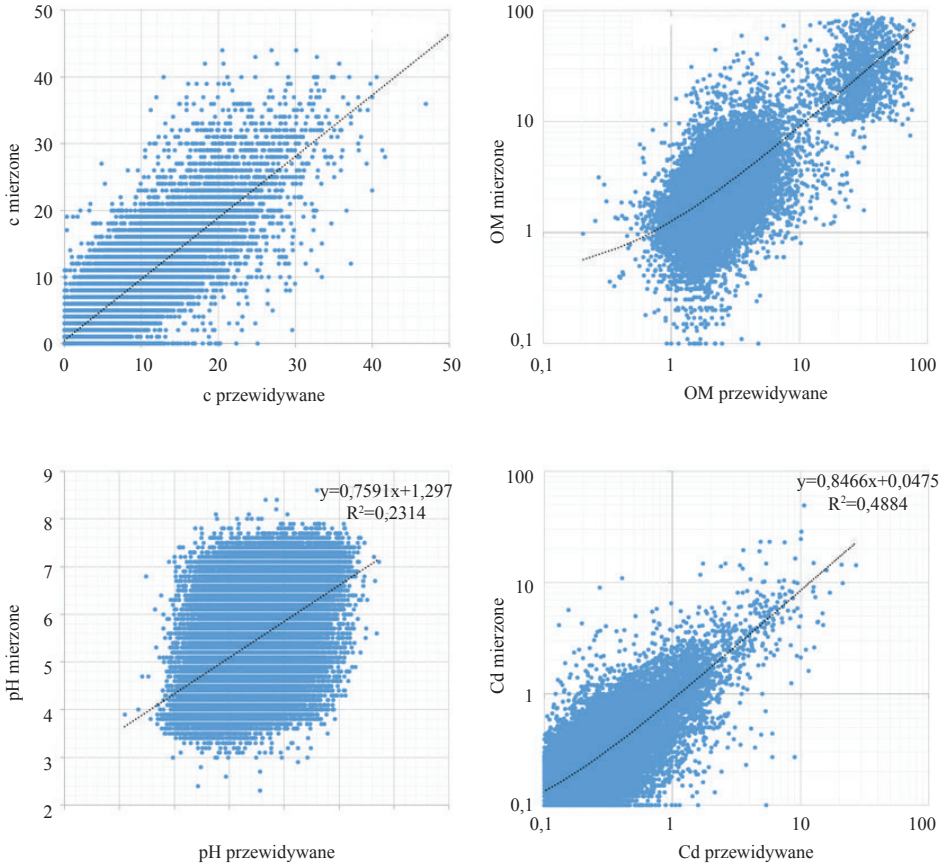
Rys. 2. Zawartość materii organicznej (OM) w wierzchniej warstwie gleby interpolowana metodą proponowaną w artykule
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych monitoringu z lat 90-tych (6)



Rys. 3. Użytkowanie terenu jako zmienna objaśniająca na obszarze interpolacji
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych mapy glebowo-rolniczej 1:100 000 (5)



Rys. 4. Kategoria agronomiczna gleby jako zmienna objaśniająca na obszarze interpolacji
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych mapy glebowo-rolniczej 1:100 000 (5)



Rys. 5. Dopasowanie wartości przewidywanych i mierzonych dla ważniejszych parametrów gleb wykorzystywanych w modelach zagrożeń (zawartość iłu koloidalnego c, procent wagowy glebowej materii organicznej OM, odczyn gleby pH mierzony w KCl i zawartość kadmu Cd)

Źródło: opracowanie własne

Wyniki interpolacji parametrów gleb wykorzystywanych w mapach zagrożeń

Do celów opracowania map zagrożeń, dla parametrów gleb wykorzystywanych w modelach zagrożeń dokonano estymacji wag zmiennych objaśniających dodatkowych (których zgodność w poligonie i profilu nie jest warunkiem koniecznym) - metodą najmniejszych kwadratów (Rys. 5). Do estymacji wykorzystano bazę około 44 tysięcy profili wzorcowych pobranych na UR w latach 1992-1996 (6).

Warstwami zmiennych objaśniających dodatkowych były kategorie agronomiczne gleb (bardzo lekkie, lekkie, średnie, ciężkie, organiczne) określone z uziarnienia profili wzorcowych; użytkowanie terenu (GO, TUZ, lasy, wody, tereny zurbanizowane)

odczytane z bazy profili wzorcowych oraz wysokość n.p.m. lokalizacji z której pobrano próbkę (przedziały: 0-25, 25-50, …, 225-250, 250-300, 300-500, > 500m) odczytana z numerycznego modelu terenu.

Uzyskane wagi dla większości parametrów gleb pokazują że użytkowanie terenu jest czynnikiem znacznie silniej wpływającym na wartości analizowanych parametrów gleb niż wysokość n.p.m. (Tab. 1).

Tabela1

Estymowane wagi zmiennych dla warunków dodatkowych wykorzystywanych w interpolacji parametrów gleb

Parametr gleby	Zmienna dla warunku koniecznego zgodności	Wagi zmiennych dla warunków dodatkowych:			R^2
		kateg. agr.	użytk. terenu	wysokość n.p.m.	
Ił koloidalny c %	gatunek gleby	-	0,67	0,33	0,71
Próchnica OM %	kateg. agr.	-	0,73	0,27	0,60
Odczyn pH w KCl	-	0,43	0,46	0,11	0,23
Cd mg/kg	kateg. agr.	-	0,87	0,13	0,49
Zn mg/kg	kateg. agr.	-	0,92	0,08	0,45
Pb mg/kg	kateg. agr.	-	0,93	0,07	0,17

Źródło: opracowanie własne

Z wykorzystaniem wag z tabeli 1, parametry gleb zostały interpolowane na obszarze kraju przez przypisanie wartości interpolowanych parametrów do poligonów mapy glebowo-rolniczej w skali 1:100000 (5).

Podsumowanie

Przedstawiona metoda interpolacji danych glebowych:

- wykorzystuje dane wektorowe cyfrowej mapy glebowo-rolniczej przypisując wartości interpolowanego parametru do poligonów mapy
- pozwala na uwzględnienie informacji zawartych w skategoryzowanych warstwach zmiennych pomocniczych
- pozwala na odrzucenie z procesu obliczania średnich ważonych, próbek dla których nie zachodzi zgodność zmiennej pomocniczej w poligonie mapy i w próbce glebowej
- wagi dla warstw pomocniczych, używanych w interpolacji parametru glebowego, mogą być automatycznie ustalane w oparciu o dostępna bazę próbek glebowych
- przewidywania są bardziej realistyczne niż te które uzyskuje się metodą IDW.

Zaprezentowaną metodę zastosowano do interpolacji parametrów gleb wykorzystywanych w modelach zagrożeń prezentowanych w dalszych rozdziałach opracowania.

Literatura

1. Li J., Heap A.D.: A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. Geoscience Australia, Canberra, 2008, **23**, ss. 137.
2. Łopatka A., Stuczyński T., Czyż E., Kozyra J., Jadczyszyn J.: Analiza warunków wodnych gleb i zagrożeń związanych z suszą na przykładzie województwa podlaskiego. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2007, **5**: 79-105.
3. Pudełko R.: Interpolacja modeli właściwości agrochemicznych gleby. Nawozy i Nawożenie, Puławy, 2005, 4(25), 83 str.
4. Rozpondek R., Rozpondek K., Kacprzak M.: Porównanie metod krigingu, IDW, RBF i GPI w generowaniu rozkładu przestrzennego metali ciężkich do opracowań małoobszarowych na przykładzie przemysłu hutniczego. Pol. J. Natur. Sc., 2018, **33(2)**: 301–317.
5. Stuczyński T., Jadczyszyn J.: Cyfrowa mapa glebowo-rolnicza Polski w skali 1:100000, 2007, IUNG-PIB.
6. Terelak H. : Dane z programu: Ocena stanu ekologicznego gleb użytków rolnych Polski. 1992-1996.

Adres do korespondencji:

mgr Artur Łopatka
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 781
email: artur@iung.pulawy.pl