

## **PRZEGLĄD METOD WYKORZYSTUJĄCYCH FUNKCJE ROZMYTE I ANALIZY WIELOKRYTERIALNE DO OPRACOWANIA CYFROWYCH MAP GLEBOWO-ROLNICZYCH**

Anna Bielska, Joanna Jaroszewicz

Politechnika Warszawska

**Streszczenie.** Informacje zawarte na mapach glebowo-rolniczych w skali 1: 5000 mogą być użyte do innych opracowań, takich jak mapy jakości i przydatności rolniczej gleb wykorzystywane w szacunku porównawczym gruntów w procesie scalenia. Celem opracowania był monograficzny przegląd literatury dotyczącej zastosowania funkcji rozmytych i analiz wielokryterialnych na potrzeby modelowania cyfrowych map glebowych oraz przedstawienie możliwości ich wykorzystania w warunkach polskich. Uzyskane wyniki wskazują, że istotne jest stworzenie systemu informacji geograficznej o glebach, zawierającego dane dotyczące kompleksów przydatności rolniczej i ich cech. Do opracowania systemu należy wykorzystać techniki cyfrowego modelowania gleb oparte na teorii zbiorów rozmytych i logice rozmytej, wprowadzić ciągłą klasyfikację kompleksów – co pozwoli na uwzględnienie płynnego charakteru zmian pokrywy glebowej w przestrzeni geograficznej i w przestrzeni atrybutów. Taki materiał wejściowy da podstawy do innych analiz – służących np. szacunkowi gruntów, w którym uwzględniana pewność danych pozwoli na otrzymywanie bardziej wiarygodnych wyników.

**Słowa kluczowe:** mapy glebowo-rolnicze, funkcje rozmyte, analizy wielokryterialne

### **WSTĘP**

Informacje przedstawione na szczegółowych mapach glebowo-rolniczych w skalach 1: 5000 mogą być użyte do analiz danych przestrzennych w środowisku GIS prowadzących do opracowania innych map tematycznych, takich jak mapy jakości i przydat-

---

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Adres do korespondencji – Corresponding author: Anna Bielska, Katedra Gospodarki Przestrzennej i Nauk o Środowisku Przyrodniczym, Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska, pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa, e-mail: a.bielska@gik.pw.edu.pl

ności rolniczej gleb wykorzystywanych w szacowaniu wartości nieruchomości rolnych w procesie scalenia gruntów czy wyznaczaniu obszarów o niekorzystnych warunkach gospodarowania.

Mapy glebowo-rolnicze były opracowywane dla obszaru całej Polski w latach 1966–1972 [Hopfer i Urban 1975], a granice konturów były rysowane bezpośrednio w terenie [Kuźnicki i in. 1979]. Jest to ich wielką zaletą. Uznawane jest bowiem powszechnie, że bezpośrednia obserwacja warunków przyrodniczych, użytkowania terenu, rzeźby, pokrycia czy wilgotności w połączeniu z wiedzą i doświadczeniem eksperta (gleboznawcy, klasyfikatora) decydują o ich wiarygodności [Nussbaum i in. 2011].

Obecnie, na podstawie rozporządzenia Rady Ministrów z 3 października 2011 r. w sprawie rodzajów kartograficznych opracowań tematycznych i specjalnych [Dz. U. Nr 222, poz. 1328], mapy glebowo-rolnicze mają być tematycznymi opracowaniami cyfrowymi, uwzględnianymi w infrastrukturze informacji przestrzennej. Natomiast ustawa z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej [Dz. U. Nr 76 poz. 489], która dokonuje transpozycji dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2007/2/WE z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiającej infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE), zakłada, że infrastruktura informacji przestrzennej obejmuje zbiory danych przestrzennych odnoszące się do terytorium Rzeczypospolitej Polskiej lub z nim powiązane. Da to następnie podstawę do utworzenia Infrastruktury Informacji Przestrzennej w Europie. Zgodnie z § 2 rozporządzenia w sprawie rodzajów kartograficznych opracowań tematycznych i specjalnych warunki glebowe przedstawione na cyfrowych mapach glebowo-rolniczych mają być reprezentowane *w szczególności poprzez informacje dotyczące przydatności glebowo-rolniczej terenu charakteryzowanej na podstawie głębokości, tekstury, struktury oraz zawartości cząstek oraz materiału organicznego, kamienistości, erozji gleb i podglebia i zdolności zatrzymywania wody*. Do tej pory zarówno w Europie, jak i na świecie opracowano wiele sposobów wykonywania map glebowych zawierających dane dotyczące ich właściwości, a co za tym idzie – jakości i przydatności gleb do rozwoju różnych funkcji. Najczęściej są to mapy cyfrowe czy bazy danych oparte na mapach średnio i małoskalowych, przy czym zwykle są to mapy typologii gleb w połączeniu z ich właściwościami [Komisja Europejska 2005]. Opracowania wielkoskalowe (1: 5000 i 1: 10 000) wykonywane są lokalnie w zależności od potrzeb, głównie do celów podatkowych [Behrens i Scholten 2006] i wyceny gleb [Estoński Geoportal 2012]. Nie można jednak mówić o rozwiązaniach globalnych czy ujęciu całościowym. Na przykład, ważne z punktu widzenia finansowania dopłat do produkcji rolnej obszary o niekorzystnych warunkach gospodarowania w Unii Europejskiej każde państwo członkowskie określa na podstawie krajowych map jakości gleb. Nie ma jednolitego systemu czy bazy danych w całej Wspólnocie [Nussbaum i in. 2011, Dobers i in. 2009].

Opracowanie map glebowych w skali 1: 5000 daje szczegółowe, bardzo pożądane dane, które mogłyby stać się podstawą utworzenia jednolitego systemu opartego na wspólnym standardzie, jednak sporządzenie ich wymaga poniesienia dużych nakładów finansowych [Panagos i in. 2011]. W związku z tym poszukuje się coraz to lepszych metod służących do opracowania tego typu map cyfrowych i baz danych o glebach.

Celem opracowania był monograficzny przegląd literatury dotyczącej zastosowania funkcji rozmytych i analiz wielokryterialnych na potrzeby modelowania danych w opracowaniu cyfrowych map glebowych oraz przedstawienie możliwości wykorzystania tych zastosowań w warunkach polskich.

## PRZEGLĄD LITERATURY

System cyfrowego opracowania map glebowych (Digital Soil Mapping – DSM) definiowany jest jako tworzenie i rozpowszechnianie przestrzennej informacji o glebach z wykorzystaniem metod obserwacji polowych i laboratoryjnych wraz z systemem przestrzennego i nieprzestrzennego wnioskowania o glebach [Carre i in. 2007].

Stosowane modele polegają na łączeniu informacji z obserwacji gleby z informacjami zawartymi w skorelowanych zmiennych środowiskowych i obrazach teledetekcyjnych. Modelowanie danych glebowych i opracowanie cyfrowych map wykraczają daleko poza digitalizację istniejących map glebowych i są dodatkowo rozszerzone o stale dopisywane atrybuty gleby [Behrens i Scholten 2006]. Zaletą DSM jest możliwość wprowadzenia do modelu oceny niepewności przewidywanych wyników i śledzenie propagacji błędu przez cały proces modelowania, od oceny dokładności źródłowych danych glebowych, poprzez dokładności branych pod uwagę czynników środowiskowych, aż po ocenę dokładności systemu wnioskowania [Carre i in. 2007]. Porównanie różnych podejść, metodologii i technik do opracowania DSM można znaleźć w literaturze [Grunwald 2009].

Można wyróżnić dwa typy niepewności danych. Typ 1 – wynikający z ograniczonych możliwości pomiaru lub występowania niewystarczającej informacji, by przewidywać zdarzenia z pewnością, przy czym same zdarzenia są dokładnie określone. Typ 2 – związany z występowaniem niejednoznaczności tkwiącej w określeniu pojęć reprezentujących zdarzenia [Robinson i Frank 1985].

Dokładność wynikająca z zastosowanych metod pomiarowych i laboratoryjnych jest stosunkowo łatwa do określenia. Również dokładności związane z zastosowanymi metodami geostatystycznymi mogą być obliczone, a niepewności przewidywań wyrażone poprzez miary prawdopodobieństwa. Jednak w tym przypadku zwraca się uwagę na konieczność wprowadzenia do oceny obserwacji zewnętrznych, np. dodatkowych odkrywek glebowych. W modelowaniu geostatystycznym zakłada się płynną zmienność zjawisk glebowych w przestrzeni geograficznej. Większość pojęć opisujących glebę związanych z typologią gleb czy z oceną ich jakości i przydatności rolniczej jest stosunkowo mało precyzyjna, co związane jest ze specyfiką zjawiska geograficznego, jakim jest gleba. Specyfika ta polega w ogólności na ciągłości zmian zarówno w przestrzeni geograficznej, jak i w przestrzeni atrybutów ją opisujących. Większość procesów glebowych tworzy ciągłe (rozmyte) klasy [Dale i in. 1989]. Brak pewności wynikający z nieprecyzyjnych znaczeń stosowanych pojęć oceniany jest poprzez określenie możliwości (ang. possibilities) przy zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej.

Wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej w gleboznawstwie ma stosunkowo długą tradycję sięgającą końca lat 80. McBratney i Odeh opisali zastosowania zbiorów rozmytych w różnych zadaniach gleboznawczych, tj. w ciągłej klasyfikacji gleb i ich modelowaniu, tworzeniu systemów informacji geograficznej (GIS) o glebach, w ocenie jakości i przydatności gleb, w modelowaniu i symulacji procesów glebowych czy w ocenie niepewności granic jednostek glebowych w aplikacjach GIS [McBratney i Odeh 1997].

W ciągłej klasyfikacji stosowane są dwa podejścia: FCM (fuzzy c-means) – rozmytej k-średniej, w którym klasy nie są znane „z góry” i są wyznaczone w sposób „naturalny” z analizowanego zbioru danych [Burrough i in. 1992], oraz SI – Semantic Import model (model importu semantycznego), w którym liczba klas i określenie wzorcowych

cech narzucone są z góry, np. poprzez przyjęcie z obowiązującego tradycyjnego systemu klasyfikacji. Gdy stosowana jest naturalna klasyfikacja, oznacza to zazwyczaj, że wynikowe klasy są odzwierciedleniem leżących u ich podstaw procesów. Ciągła klasyfikacja zjawisk glebowych była z powodzeniem stosowana w wielu pracach badawczych [Van Gaans i Burrough 1993, McBratney i in. 1992, McBratney 1994, Burrough i in. 1992], jak również w praktyce [Mazaheri i in. 1995]. Przyjęcie ciągłej (rozmytej) klasyfikacji zjawisk glebowych prowadzi w konsekwencji do rozmytego modelu wnioskowania (przewidywania) rozmieszczenia przestrzennego tych zjawisk. Modele te łączą Systemy Informacji Geograficznej z logiką rozmytą, tworząc system oparty na wiedzy eksperckiej [Carre i in. 2007]. W modelach tych uwzględnia się podobieństwo (odległość) w przestrzeni atrybutów [Zhu i in. 1996, Zhu 1997] i/lub podobieństwo konfiguracji czynników środowiskowych [Shi i in. 2004]. Rozkład przestrzenny wartości przynależności zjawiska glebowego do pojedynczej rozmytej klasy wyznaczony metodami geostatystycznymi może być przedstawiony na mapie za pomocą konwencjonalnej metody kartograficznej. Powstanie zatem tyle map, ile wyznaczonych zostało klas [Burrough i in. 1997]. Przyjęcie założenia ciągłej klasyfikacji i ciągłej zmienności nie prowadzi automatycznie do wyznaczenia przestrzennie ciągłych klas, które można przedstawić na jednej mapie. W literaturze podaje się wiele propozycji wyznaczenia wynikowej mapy prezentującej rozmieszczenie badanego zjawiska z uwzględnieniem rozmycia granic między wyznaczonymi klasami ze szczegółowością do piksela 30 m, ale mogą być stosowane w przypadku mniejszych pikseli [Zhu i in. 2001]. Najczęściej spotkać można następujące metody: wyostrzenia klasyfikacji (ang. *defuzzification*) [McBratney i in. 1992], oparte na współczynniku zmieszania (CI – ang. *Confusion index*) [Burrough i in. 1997], lub metody graficzne [De Gruijter i in. 1997, 2011].

Cyfrowa postać mapy glebowo-rolniczej powinna być rozumiana nie tylko jako cyfrowy obraz pokrywy glebowej, lecz przede wszystkim jako baza danych przestrzennych. Dzięki temu może stać się ona punktem wyjścia do wielu analiz, w szczególności do szacunku gruntów w procesie scalania czy oceny przydatności gruntów do różnych funkcji. Analizy te cechują się koniecznością uwzględniania dużej liczby atrybutów, również o wartościach przynależności do ciągłej klasy (związanych z modelowaniem rozmytym).

Ważnym elementem cyfrowych map warunków glebowych jest rozmyty system wnioskowania oparty na wiedzy eksperckiej. W pierwszym etapie do danych lub atrybutów wejściowych dopasowane zostają funkcje przynależności. Funkcje przynależności rozpoznawane są na podstawie wiedzy eksperckiej niezbędnej do poprawnego określenia stopnia, w jakim każdy element wejściowy przynależy do danego zbioru rozmytego. W drugim etapie wprowadzane są reguły rozmycia (typu implikacji: jeżeli, to) i rozmyte operatory logiczne prowadzące do decyzji odnośnie rozważanego zjawiska. Metoda ta określana jako FMCDM (*fuzzy multi-attribute decision-making*) była z powodzeniem stosowana przez Odeha do opisu przestrzennej zmienności charakterystyki plamistości w profilach glebowych. Może być wykorzystana również w szacunku gruntów (ang. *land evaluation*) [McBratney i Odeh 1996]. W ostatnich latach nastąpił rozwój dwóch koncepcji związanych z systemami informacji geograficznej: teorii zbiorów rozmytych i metodologii analiz wielokryterialnych. Metoda AHP (proces analizy hierarchicznej ang. *Analytic Hierarchy Process*) pozwala na wyznaczenie wag istotności poszczególnych kryteriów oraz na redukcję liczby kryteriów poprzez budowanie poziomów hierarchii.



dłem informacji o glebach, uwzględniającym w pewnym sensie ich ciągłą, przestrzenną zmienność. Płynne przejście jednego kompleksu przydatności rolniczej w drugi wynika ze specyfiki pokrywy glebowej i jej przestrzennej zmienności. Opracowując mapy glebowo-rolnicze w latach 60., dołożono wszelkiej staranności, aby jak najwierniej przedstawić rozmieszczenie przestrzenne gleb. Jednak dokładność ich przebiegu jest oceniana na około 10–50 m [Kuznicki i in. 1979]. Niepewność przebiegu granic wynika z dokładności nanoszenia konturów glebowo-rolniczych oraz nieuwzględnienia płynności zmian pokrywy glebowej zarówno w przestrzeni geograficznej, jak i przestrzeni opisującej ją atrybutów. Kryteria, na podstawie których wyznacza się kompleksy przydatności rolniczej, nie są ściśle i jednoznaczne (tab. 1).

Tabela 1. Porównanie właściwości gleb zaliczanych do 4. i 5. kompleksu przydatności rolniczej  
Table 1. Comparison of soil properties belonging to the 4th and 5th complex of agricultural usefulness

<b>Właściwość Properties</b>	<b>Kompleks 4 Complex 4</b>	<b>Kompleks 5 Complex 5</b>
Kategoria agronomiczna Agronomic category	Gleby lekkie Light soils	Gleby lżejsze niż w 4 kompleksie lub mające mocniejsze podłoże głębiej położone Lighter soil than in the 4 complex or have a stronger base deeper
Skład granulometryczny Texture of soil	Piaski gliniaste całkowite, piaski gliniaste na glinach lub iłach, pyły Total loamy sands, loamy sands to clays, dusts	Piaski gliniaste lekkie całkowite, piaski na glinach lub iłach, pyły na żwirach i piaskach luźnych, Total light loamy sands, sands to clays, dusts on loose gravels and sands
Trudność uprawy The difficulty of growing	Łatwe Easy	Łatwe Easy
Warunki wodne Water conditions	Prawidłowe Proper	Prawidłowe, ale wrażliwe na suszę Proper but sensitive to drought
Klasa bonitacyjna Soil class	IIIa, IIIb	IVa, IVb
Przydatność rolnicza Agricultural usefulness	Dobra Good	Dość dobra Fairly good

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Strzemski i in. 1964]  
Source: Authors' own study on the basis of [Strzemski i in. 1964]

Powyższy przykład (tab. 1) przedstawia nieprecyzyjne pojęcia stosowane na potrzeby wyznaczania kompleksów przydatności rolniczej. Wszystkie te pojęcia są opisowe i przez to nie są ściśle sprecyzowane. Nie jest to zarzut, taka charakterystyka związana jest ze specyfiką kompleksów przydatności gleb. Z tego względu lepsza wydaje się ciągła klasyfikacja kompleksów przydatności rolniczej w gruntach ornych czy użytkach zielonych niż stosowanie ostrych granic. Uwzględniłoby to bowiem płynne przechodzenie jednego kompleksu w drugi na podstawie właściwości poszczególnych gleb, w tym trudności uprawy z łatwej w trudniejszą, przydatności rolniczej z dobrej w dość dobrą czy gleb z lekkich w jeszcze lżejsze itp. Natomiast w przypadku zmian użytków gruntowych granice kompleksów przydatności rolniczej należy przyjmować w ostrej granicy. Wyjątek stanowią tu lasy, grunty zadrzewione i zakrzewione, które mają duży wpływ na sąsia-



dujące z nimi grunty orne (rys. 2) i użytki zielone, co należałoby uwzględnić w postaci granicy rozmytej na mapie glebowo-rolniczej.



Źródło: A. Bielska  
Source: A. Bielska

Rys. 2. Granica rolno-leśna  
Ryc. 2. Farm/forest boundary

Z powodu nieprecyzyjności pojęć określających kompleks przydatności rolniczej pojawiają się ograniczenia w dokładności pomiaru wynikające z subiektywnej oceny eksperta (klasyfikatora czy gleboznawcy). Dwóch różnych ekspertów może podjąć dwie różne decyzje co do określenia konkretnego atrybutu. Przykładem może być skład granulometryczny, który jest podawany w przedziale zawartości cząstek spławianych i w niektórych przypadkach trudno jednoznacznie stwierdzić, czy jest to utwór pyłowy zwykły, czy piasek gliniasty lekki pylasty. Rysunek 3 przedstawia fragment mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 5000 z roku 1968 i mapy klasyfikacyjnej w skali 1: 5000 z roku 1966 – dla tego samego obszaru. Na mapie klasyfikacyjnej rodzaj gleby oznaczony jest 5 – co oznacza, że są to gleby wytworzone z utworów pyłowych na całym przedstawianym obszarze. Zaś na mapie glebowo-rolniczej dla części obszaru podany jest utwór pyłowy zwykły na glinie lekkiej pylastej, ale dla drugiej części – piasek gliniasty lekki pylasty na piasku luźnym. Oznacza to, że jeden ekspert określił ten sam skład granulometryczny jako utwór pyłowy, a drugi jako piasek gliniasty lekki pylasty.

Jeśli chodzi o dokładność wykreślenia mapy glebowo-rolniczej, to należy podkreślić, że kontury na mapie glebowo-rolniczej oparte są na konturach mapy klasyfikacyjnej. Te zaś zgodnie z Instrukcją techniczną gleboznawczej klasyfikacji gruntów ustalane były z dokładnością 10 m [Strzemski i in. 1964]. Jednak na terenie mało urozmaiconym, na którym zmiana klasy nie wynika ze zmiany wyraźnie rysujących się elementów fizjograficznych takich jak: załamania stoku, krawędź doliny, wyraźna zmiana wilgotności, granica użytku, dokładność zasięgów podawanych na mapie jest mniejsza niż postulowana instrukcją i może spaść do 30 m. Zatem rzeczywista dokładność zasięgów konturów na mapie glebowo-rolniczej może być jeszcze niższa [Kuźnicki i in. 1979]. Wprowadzenie granicy rozmytej pozwoli na uzyskanie, wbrew pozorom, bardziej wiarygodnych danych [de Gruijter i in. 2011]. Będą bowiem wyznaczone obszary, na których jest 100% pew-





Wskazane jest:

1. Stworzenie systemu informacji geograficznej o glebach, zawierającego dane dotyczące przydatności glebowo-rolniczej terenu charakteryzowanej na podstawie głębokości, tekstury, struktury i zawartości cząstek oraz materiału organicznego, kamienistości, erozji gleb i podglebia oraz zdolności zatrzymywania wody.

2. Wykorzystując techniki cyfrowego modelowania gleb oparte na teorii zbiorów rozmytych i logice rozmytej, wprowadzić ciągłą klasyfikację kompleksów przydatności rolniczej – co pozwoli na uwzględnienie płynnego charakteru zmian pokrywy glebowej w przestrzeni geograficznej i w przestrzeni atrybutów (cech na podstawie których wyznaczone są kompleksy).

Ponadto wynikiem cyfrowe mapy glebowo-rolnicze dostarczą dodatkowej informacji o pewności prezentowanych danych, przy czym niepewności prezentowane będą w postaci rozmytych granic kompleksów. Taki materiał wyjściowy posłuży do innych analiz, np. do szacunku porównawczego gruntów uwzględniającego pewność danych, co pozwoli na otrzymywanie bardziej wiarygodnych wyników.

## PIŚMIENNICTWO

- Behrens T., Scholten T., 2006. Review Article digital soil mapping in Germany-a review, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 169, 434–443.
- Białousz S., Chmiel J., Fijałkowska A., Różycki S., 2010. Wykorzystanie zdjęć satelitarnych i technologii GIS w aktualizacji jednostek glebowo-krajobrazowych – przykłady dla opracowań małoskalowych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 21, 2010, 21–32.
- Borouhaki S., Malczewski J., 2008. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS; *Computers & Geosciences*, 34, 399–410.
- Burrough P.A., Van Gaans P.F.M., Hoostmans R., 1997. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries, *Geoderma*, 77, 115–135.
- Burrough P.A., MacMillian R.A., van Deusen W., 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. *J. Soil Sci.*, 43, 193–210.
- Carré F., McBratney A., Mayr T., Montanarella L., 2007. Digital soil assessments: Beyond DSM; *Geoderma*, 142, 69–79.
- Dale M.B., McBratney, A.B., Rusell, J.S., 1989. On the role of expert systems and numerical taxonomy in soil classification. *J. Soil Sci.*, 40, 223–234.
- De Gruijter J.J., Walvoort D.J.J., Van Gams P.F.M., 1997: Continuous soil maps – a fuzzy set approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution models *Geoderma*-Volume 77, Issues 2–4, June 1997, *Fuzzy Sets in Soil Science*, 169–195.
- de Gruijter J.J., Walvoort D.J.J., Bragato G., 2011. Application of fuzzy logic to Boolean models for digital soil assessment, *Geoderma*, 166, 15–33.
- Dobers E.S., Ahl Ch., Stuczynski T., 2010. Comparison of Polish and German maps of agricultural soil quality using GIS *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Volume 173, Issue 2, 185–197.
- Estoński Geoportal, 2012. Estonian Soil Map, <http://geoportaal.maaamet.ee/eng/Maps-and-Data/Estonian-Soil-Map-p316.html> (data pozyskania 10. 05. 2012).
- Grunwald S., 2009. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches, *Geoderma*, 152, 195–207.
- Hopfer A., Urban M., 1975. *Geodezyjne urządzenia terenów rolnych*, PWN, Wrocław.

- Komisja Europejska, 2005. Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network, Office for Official Publications of the European Communities, L-2995 Luxembourg, 128.
- Kuźnicki F., Białousz S., Skłodowski P., 1979. Podstawy gleboznawstwa z elementami kartografii gleb, PWN, Warszawa.
- Mazaheri S.A., Koppi A.J., McBratney A.B., 1995. A fuzzy allocation scheme for the Australian Great Soil Groups classification system. *Eur. J. Soil Sci.*, 46, 601–612.
- McBratney A.B., Odeh I.O.A., 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions *Geoderma* (1997) Volume: 77, Issue: 2–4, 85–113.
- McBratney A.B., 1994. Allocation of new individuals to continuous soil classes. *Aust. J. Soil Res.* 32, 623–633.
- McBratney A.B., De Gruijter J.J., Brus D.J., 1992. Spatial prediction and mapping of continuous soil classes. *Geoderma*, 54, 39–64.
- Nussbaum M., Ettlin L., Çöltekin A., Suter B., Egli M., 2011. The Relevance of Scale in Soil Maps, *Bulletin BGS* 32, 63–70 (2011), 63–70.
- Panagos P., Van Liedekerke M., Montanarella L., 2011. Multi-scale European Soil Information System (MEUSIS): a multi-scale method to derive soil indicators *Comput Geosci*, 463–475.
- Robinson V.B. Frank A.U., 1985. About Different Kinds of Uncertainty in Collections of Spatial Data. *Proceedings of Seventh International Symposium on Automated Mapping: Digital Representations of Spatial Knowledge American Society of Photogrammetry and American Congress on Surveying and Mapping*. Washington, D.C. March 11–14, 440–449. <http://mapcontext.com/autocarto/proceedings/auto-carto-7/pdf/pages460-469.pdf>.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 października 2011 r. w sprawie rodzajów kartograficznych opracowań tematycznych i specjalnych (Dz.U. Nr 222, poz. 1328).
- Saaty T.L., Tran L.T., 2007. On the invalidity of fuzzifying numerical judgments in the Analytic Hierarchy Process *Mathematical and Computer Modelling*, 46, 962–975.
- Saaty T.L., 1979. Applications of analytical hierarchies, *Mathematics and Computers in Simulation* Volume 21, Issue 1, March 1979, 1–20.
- Shi X., Zhu A-X., Burt J. E. Q i F., Simonson D., 2004. A Case-based Reasoning Approach to Fuzzy Soil Mapping *Soil Science Society of America*, 68, 885–894.
- Skłodowski P., Bielska A., 2009. Badanie potrzeb aktualizacji gleboznawczej klasyfikacji gruntów, Wydawnictwo Uczelni Warszawskiej im. Marii Skłodowskiej-Curie, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Strzemski M., Bartoszewski Z., Czarnowski F., Dombek E., Siuta J., Truszkowska R., Witek T., 1964. Instrukcja w sprawie wykonywania map glebowo-rolniczych w skali 1 : 5000 i 1 : 25000 oraz map glebowo-przyrodniczych w skali 1 : 25000, Załącznik do Zarządzenia nr 115 Ministra Rolnictwa z dnia 28 lipca 1964 r. w sprawie organizacji prac gleboznawczo- i rolniczo-kartograficznych (Dz.Urz. Min. Rol. Nr 19, poz. 121), Warszawa.
- Usowicz B., Marczewski W., Łukowski M.I., Lipiec J., Usowicz J.B., 2011. Ocena wilgotności gleby z pomiarów naziemnych i danych satelitarnych w misji ESA SMOS, materiały konferencyjne 28. Kongres Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, Gleba-Człowiek-Środowisko, Toruń, 5–50.
- Ustawa z dnia 4 marca 2010 o infrastrukturze informacji przestrzennych [Dz.U z 2010 r., Nr 76 poz. 489].
- Van Gaans P.F.M., Burrough, P.A., 1993. The use of fuzzy logic and continuous classification in GIS applications [in:] Harts J.J., Ottens H.F.L., Scholten H.J. (Eds.), *Proc. UGIS'93. Utrecht-Amsterdam*, 1025–1034.
- Zhu A-X, 1997. A similarity model for representing soil spatial information, *Geoderma*, 77, 217–242.
- Zhu A-X., Band L.E., Dutton B., Nimlos T.J., 1996. Automated soil inference under fuzzy logic, *Ecological Modelling*, 90, 123–145.

Zhu A-X., Hudson B., Burt J., Lubich K., Simonson D., 2001. Soil Mapping Using GIS, Expert Knowledge, and Fuzzy Logic, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 1463–1472.

## THE APPLICATION OF FUZZY FUNCTIONS AND MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR THE PURPOSES OF DRAFTING DIGITAL SOIL-AGRICULTURAL MAPS

**Abstract.** Information included in soil-agricultural maps at a scale of 1:5,000 can be used for the purposes of drafting other documents, such as soil quality and agricultural suitability maps that facilitate comparative valuation of plots in land consolidation proceedings. This study focuses on monographic review of existing literature on application of fuzzy functions and multi-criteria analysis for the purposes of drafting digital soil maps, as well as on presenting the possible application thereof in Polish conditions. The obtained results indicate that it is necessary to develop a system of geographic information on soils, which should contain data on soil agricultural suitability complexes and on soil properties. Development of such a system requires application of digital soil modeling techniques based on fuzzy set theory and on fuzzy logic, as well as introduction of continuous classification of complexes – which will facilitate reproduction of the continuous nature of soil changes in the geographic space and in the attributes space. Such material could constitute the basis for other analysis – e.g. analysis performed during land valuation process, where the reliability of data would ensure more credible results.

**Key words:** soil agricultural maps, fuzzy functions, multi-criteria analysis

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.06.2012

Do cytowania – For citation: Bielska A., Jaroszewicz J., 2012. Przegląd metod wykorzystujących funkcje rozmyte i analizy wielokryterialne do opracowania cyfrowych map glebowo-rolniczych, *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.* 11(2), 5–15.