

**METODY PREZENTACJI KARTOGRAFICZNEJ CYFROWYCH MAP  
GLEBOWO ROLNICZYCH Z UWZGLĘDNIENIEM  
NIEPEWNOŚCI DANYCH**

**METHODS OF CARTOGRAPHIC PRESENTATION OF DIGITAL SOIL-  
AGRICULTURAL MAPS WITH CONSIDERATION OF DATA  
UNCERTAINTY**

**Joanna Jaroszewicz, Anna Bielska**

Katedra Gospodarki Przestrzennej i Nauk o Środowisku Przyrodniczym, Wydział Geodezji  
i Kartografii, Politechnika Warszawska

**SŁOWA KLUCZOWE:** mapa glebowo-rolnicza, logika rozmyta, niepewność danych, metody prezentacji kartograficznej

Mapy glebowo-rolnicze w skali 1:5 000 opracowywane były w latach 60-tych w formie analogowej (barwnej i czarno-białej) dla obszaru całego kraju. Powstawały na podstawie istniejących map klasyfikacyjnych, badań terenowych i laboratoryjnych poprzedzonych interpretacją zdjęć lotniczych. Stanowią cenny zbiór informacji o warunkach glebowych, przydatności rolniczej gruntów, oraz pośrednio, o przydatności gruntów dla innych, pozarolniczych funkcji. Stanowią źródło informacji wykorzystywane między innymi przy podejmowaniu decyzji planistycznych. Na mapach tych wydzielano kontury o powierzchni powyżej 0,5 ha, ale przywiązywano wagę do tego aby nie pominąć małych lub wąskich elementów, które dawały istotną informację o rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Dokładność wyznaczenia konturów jest oceniana na około 10–50 m. Wynika ona z faktu, że nie brano pod uwagę płynności zmian pokrywy glebowej zarówno w przestrzeni geograficznej jak i przestrzeni opisujących ją atrybutów. Zdecydowało to o niepewności przebiegu granic konturów glebowo-rolniczych na tych mapach. 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 tematyczne, w tym glebowo-rolnicze mają stać się tematycznymi opracowaniami cyfrowymi, uwzględnianymi w infrastrukturze informacji przestrzennej.

Celem opracowania jest przedstawienie metod prezentacji kartograficznej cyfrowych map glebowo-rolniczych z uwzględnieniem niepewności danych. Większość pojęć opisujących glebę związanych z typologią gleb lub oceną ich jakości i przydatności rolniczej jest stosunkowo mało precyzyjna. W dużej mierze związane jest to ze specyfiką składowej środowiska przyrodniczego jaką jest gleba w przestrzeni geograficznej. Większość procesów glebowych tworzy ciągłe (rozmyte) klasy. Dla mapy glebowo-rolniczej klasami tymi są rozmyte kontury przynależności do danego kompleksu przydatności rolniczej. Brak pewności, wynikający z nieprecyzyjnych znaczeń stosowanych pojęć, modelowany jest przy zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych i logiki rozmytej. Rozkład przestrzenny wartości przynależności zjawiska glebowego do pojedynczej rozmytej klasy może być przedstawiony na mapie za pomocą konwencjonalnej metody kartograficznej. Jednak powstaje wówczas tyle map ile zostało wyznaczonych klas, co nie prowadzi automatycznie do wyznaczenia przestrzennie ciągłych klas, które można przedstawić w postaci jednej prezentacji.

Istnieją metody opracowania wynikowej mapy prezentującej rozmieszczenie badanego zjawiska z uwzględnieniem rozmycia granic między wyznaczonymi klasami, można podzielić je na trzy kategorie: wyostżenia klasyfikacji (*ang. defuzzification*), oparte na współczynniku zmieszania (CI – *ang. Confusion index*) oraz metody graficzne.

W artykule przedstawiono przegląd wybranych metod prezentacji kartograficznych wraz z ich adaptacją na potrzeby mapy glebowo-rolniczej. Skale barw zostały opracowane w percepcyjnej przestrzeni barw CIECAM (CAM *ang. Color Appearance Model*) niezależnej od urządzeń reprodukcujących barwy oraz od warunków obserwacji. Podano również ich odniesienie do przestrzeni barw CIE Lab dla określonych, typowych warunków obserwacji, oraz wartości RGB dla przyjętego standardowego monitora.

## 1. WSTĘP

Warunki glebowe są jednym z podstawowych elementów wpływających na jakość życia, wysokość produkcji na obszarach rolnych, walory estetyczne i ekologiczne na terenach rekreacyjnych i obszarach zabudowy mieszkaniowej. Już w roku 1909 Sławomir Miklaszewski napisał: „z glebą wiąże nas wszystko, żyjemy na niej i z niej”. Te słowa nie straciły aktualności do dnia dzisiejszego. Wprawdzie zdecydowanie mniej ludzi jest zatrudnionych bezpośrednio w rolnictwie (według danych FAO - 53% w 1950r i 19% w 2005r.), ale na obszarach wiejskich rozwijają się również funkcje poza rolnicze, dla których gleba jest bardzo istotnym czynnikiem. Wobec tego, niezmiernie ważne jest jej szczegółowe uwzględnienie w opracowaniach ekofizjograficznych, będących podstawą sporządzania studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy oraz miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego [Koreleski, 2008]. Analiza warunków glebowych jest istotna dla wszystkich obszarów wiejskich, a nie tylko przeznaczonych pod produkcję rolniczą. Uwzględnianie warunków glebowych w procesie planowania przestrzennego daje podstawę ochrony środowiska przyrodniczego (wód powierzchniowych, krajobrazu), jak również jest pomocne przy ocenie walorów turystycznych oraz kreowania krajobrazu [Koreleski, 2008]. Dzięki temu można uzyskać pozytywne wyniki w przekształcaniu i gospodarowaniu przestrzenią i wpływać znacznie na rozwój gospodarczy obszaru [Bielska, 2012].

Najwięcej danych dotyczących warunków glebowych zawierają mapy glebowo-rolnicze w skali 1:5000 opracowane w latach 60-tych dla całego kraju, na podstawie istniejących map klasyfikacyjnych oraz na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych poprzedzonych interpretacją zdjęć lotniczych [Witek, Ochalska, 1968]. W trakcie wykonywania map wydzielano kontury o powierzchni powyżej 0,5 ha, ale przywiązywano wagę do tego, aby nie pominąć małych lub wąskich elementów, które dawały istotną informację o rolniczej przestrzeni produkcyjnej [Strzemiński i in., 1964]. Można zatem uznać, że mapy glebowo-rolnicze wykonywane bezpośrednio w terenie są bardzo cennym źródłem informacji o glebach uwzględniającym, w pewnym sensie, ich ciągłą, przestrzenną zmienność. Dokładność ich przebiegu jest oceniana na około 10–50 m [Kuźnicki, Białousz, Skłodowski, 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 ścisłe ani jednoznaczne. Wprowadzenie klasyfikacji rozmytej pozwala na uzyskanie, wbrew

pozorem, bardziej wiarygodnych danych [de Gruijter i in. 2011]. Wyznaczone obszary są bowiem zróżnicowane pod względem możliwości ich przyporządkowania do poszczególnych klas. Ocena pewności granic kompleksów przydatności rolniczej ma istotne znaczenie przy podejmowaniu decyzji planistycznych. Ciągła klasyfikacja zjawisk glebowych była z powodzeniem stosowana w wielu pracach badawczych [m. in. Van Gaans, Burrough, 1993, McBratney i in. 1992, McBratney, 1994, Burrough i in. 1992] jak również w praktyce [np. Mazaheri i in. 1995].

Ustawa z dnia 4 marca 2010 r. o infrastrukturze informacji przestrzennej [Dz. U. z 2010r., 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. Do trzeciej grupy tematycznej załącznika do ustawy należy temat gleby, charakteryzowanej na podstawie określenia: głębokości, tekstury, struktury, materiału organicznego, kamienistości, erozji, a w niektórych przypadkach, przeciętnego nachylenia oraz przewidywanej zdolności zatrzymywania wody. Na podstawie art. 9a ustawy z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne [Dz. U. z 2010 r. Nr 193, poz. 1287] rozporządzenie Rady Ministrów z 3 października 2011 r. w sprawie rodzajów kartograficznych opracowań tematycznych i specjalnych [Dz. U. z 2011r., Nr 222, poz. 1328], określa, że Główny Geodeta Kraju opracowuje i udostępnia kartograficzne opracowania tematyczne w postaci cyfrowej. Wśród wymienionych w rozporządzeniu są mapy glebowo-rolnicze – przedstawiające w szczególności informacje dotyczące przydatności glebowo-rolniczej terenu charakteryzowanej na podstawie głębokości, tekstury, struktury i zawartości cząstek oraz materiału organicznego, kamienistości, erozji gleb i podglebia i zdolności zatrzymywania wody [Dz. U. z 2011r., Nr 222, poz. 1328]. Uwarunkowania prawne otwierają możliwość opracowania nowej jakości cyfrowych map glebowo-rolniczych, uwzględniających ciągłą zmienność gleb.

W artykule poruszono problematykę opracowania kartograficznej metody prezentacji cyfrowych map glebowo-rolniczych opartych na ciągłej klasyfikacji i uwzględniających niepewność granic wydzielonych kompleksów. Dokonano przeglądu literatury tematu, przedstawiono wybrane przykłady rozwiązań dla opracowanego fragmentu mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 5 000 oraz zaproponowano własne rozwiązania.

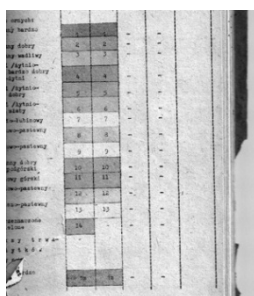
## **2. BARWY ZNAKÓW KOMPLEKSÓW PRZYDATNOŚCI ROLNICZEJ**

Kompleksy przydatności rolniczej mają cechy zarówno danych jakościowych jak i rangowych (porządkowych). Stosuje się podział jakościowy na kompleksy gruntów ornych i użytków zielonych. Granica między kompleksami różnych użytków jest ostra (pewna) i wyznaczona na podstawie granicy rodzaju użytku. Podział na kompleksy w ramach tego samego użytku oparty jest na ilościowej ocenie produktywności gleby dla poszczególnych roślin wskaźnikowych od których pochodzą nazwy kompleksów przydatności rolniczej. W gruntach ornych na terenach nizinnych i wyżynnych wyróżniono 9 kompleksów dzieląc je na 3 grupy: pszenne (1, 2, 3), żytnie (4, 5, 6, 7) i zbożowo-pastewne (8, 9). W ramach tych grup kompleksy są uszeregowane od najlepszego

do najsłabszego biorąc pod uwagę produktywność (rys. 1) i jest to odzwierciedlone w nazwie kompleksu np.: kompleks 4 – żytni bardzo dobry, 5 – żytni dobry. W użytkach zielonych dla gruntów nizinnych i wyżynnych wyróżniono tylko trzy kompleksy przydatności rolnej: 1z – użytki zielone bardzo dobre, 2z – użytki zielone średnie i 3z – użytki zielone słabe. Biorąc pod uwagę produktywność tych gleb, tak jak nazwa wskazuje, są one ułożone od najlepszych do najsłabszych

Barwa jest zmienną graficzną pozwalającą zarówno różnicować obraz mapy jakościowo jak i porządkować wizualnie dane. Atrybuty percepcyjne barwy: kolor (*hue*), jasność (*lightness*) i nasycenie (*chroma*) pozwalają na tworzenie barwnych skal: barw jednakowej głębi różniących się tylko atrybutem koloru, leżących na jednej „płaszczyźnie percepcyjnej” oraz skal natężenia barwy (jednoczesna przeciwstawna zmiana jasności i nasycenia). Natężenie barwy bardzo silnie porządkuje obraz mapy. Nieco słabszy porządek można również osiągnąć za pomocą postępu zmian koloru odpowiadającego skali widmowej.

Barwy znaków powierzchniowych kompleksów przydatności rolnej zostały określone w instrukcji do map glebowych z lat 60-tych [Strzemiński i in., 1964]. Określenie to polegało na podaniu nazwy barwy oraz numeru ołówka (w tym przypadku kredki z zestawu 455 Color Technica Pruszków). Instrukcja w wersji barwnej zawierała reprodukcję barw uzyskanych za pomocą pokolorowania podanymi kredkami.



Rys. 1. Fragment instrukcji do mapy glebowo-rolnej zawierający wzorce barw kompleksów przydatności rolnej. Reprodukacja z [Strzemiński i in., 1964]

Stan techniczny instrukcji jest na ogół bardzo słaby. Papier uległ znacznemu żółknięciu a barwy wypłowały i wyblakły. Tabela 1 przedstawia opisowe określenie barw zawarte w instrukcji,

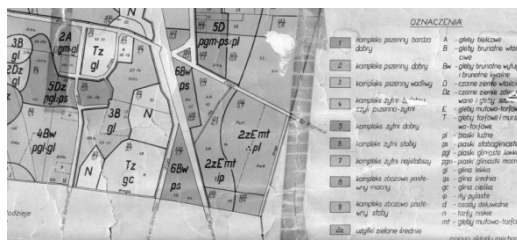
Tabela 1. Opis wzorców barw kompleksów przydatności rolnej według instrukcji do mapy glebowo-rolnej, opracowanie własne na podstawie instrukcji [Strzemiński i in., 1964]

Kompleksy przydatności rolnej	Kolor - nr ołówka w zestawie 455 Color Technica Pruszków
1 - kompleks pszenno-żytni bardzo dobry	Sepia - 3
2 - kompleks pszenno-żytni dobry	Brunatny - 4
3 - kompleks pszenno-żytni wadliwy	Siena palona - 6
4 - kompleks żytni bardzo dobry (pszenno-żytni)	Karmin - 10
5 - kompleks żytni dobry	Szkarłat - 9
6 - kompleks żytni słaby	Pomarańczowy - 12

Metody prezentacji kartograficznej cyfrowych map glebowo-rolniczych z uwzględnieniem niepewności danych.

7 - kompleks żytni bardzo słaby	Żółty - 13
8 - kompleks zbożowo-pastewny mocny	Błękitny - 20
9 - kompleks zbożowo-pastewny słaby	Błękitny - 19
1z	Zieleń chromowa - 17
2z	Zieleń soczysta - 16
3z	Zieleń wiosenna - 15

Można spotkać, niezbyt liczne, przykłady barwnych map glebowo-rolniczych z tamtego okresu (np. rysunek 2), w których znaki i ich barwy oparte były na wytycznych podanych w instrukcji.



Rys. 2. Fragment barwnej mapy glebowo-rolniczej w skali 1: 5 000, reprodukcja z załącznika do książki pt. „Przydatność rolnicza gleb Polski” (Siuta J., Witek T.– PWRiL Warszawa 1973r.)

Wspomniany wcześniej zły stan techniczny zarówno instrukcji jak i map tworzonych zgodnie z jej wytycznymi oraz niejednoznaczne określenie barw utrudniają ich cyfrowe odtworzenie. Na rysunku 3 przedstawiono próbę odtworzenia barw znaków dla kompleksów od 1 do 9. Tabela 2 zawiera wyznaczone percepcyjne atrybuty barw w modelu CIECAM02 i w modelu Munsell'a oraz odpowiadające im wartości w przestrzeni CIE XYZ oraz przestrzeni przyjętego standardowego monitora RGB (temperatura barwowa bieli: D65, współczynnik gamma dla kanałów RGB równy 1,8 oraz współrzędne chromatyczne CIE xy zgodne z wzorcem Apple RGB).

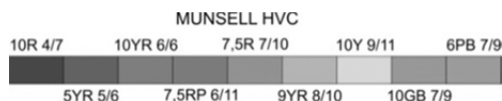


Rys. 3. Odtworzona skala barw (wersja czarno biała ilustracji barwnej); opracowanie własne

Tabela 2. Wyznaczone parametry barw odtworzonych barw kompleksów 1-9; opracowanie własne

kompleks	Monitor			CIE			Munsell			CIECAM02		
	R	G	B	X	Y	Z	H	V	C	H	J	C
1	131	59	29	16,198	12,364	3,615	0,9 YR	4,03	7,56	33,60	33,58	44,32
2	180	125	75	34,828	32,614	15,450	5,7 YR	6,25	5,76	56,32	55,68	31,85
3	225	195	135	61,286	63,647	40,083	1,8 Y	8,29	4,27	82,72	79,02	24,01
4	195	100	135	39,486	30,210	33,534	9,7 RP	6,06	8,29	386,46	54,29	40,05
5	220	110	100	44,862	35,096	22,146	6,3 R	6,47	8,89	10,49	59,08	43,99
6	242	179	90	60,487	59,087	23,911	9,8 YR	8,05	7,26	72,65	76,58	39,87
7	225	225	150	68,245	76,383	48,774	9,7 Y	8,91	4,51	121,70	86,53	25,66
8	110	138	250	38,177	35,680	94,246	7,1 PB	6,48	12,04	313,83	56,31	53,69
9	210	225	255	75,403	79,228	105,292	5,5 PB	9,03	2,91	309,91	87,86	17,35

Barwy odtworzonej skali poddano modyfikacji - tak aby został wyrównany poziom widoczności kompleksów z zachowaniem subtelnych zmian natężenia w ramach poszczególnych grup. Rysunek 4 przedstawia wyznaczoną skalę barw wraz z ich określeniem w modelu Munsell'a.



Rys. 4. Propozycja barw dla kompleksów (wersja czarno biała ilustracji barwnej); opracowanie własne

### 3. PREZENTACJA KARTOGRAFICZNA KOMPLEKSÓW PRZYDATNOŚCI ROLNICZEJ JAKO WYNIKU CIĄGŁEJ KLASYFIKACJI

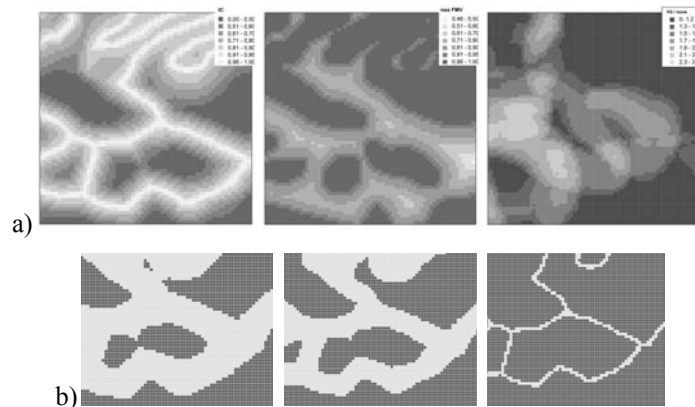
Rozkład przestrzenny wartości przynależności zjawiska glebowego do pojedynczej rozmytej klasy wyznaczony metodami geostatystycznymi może być przedstawiony na mapie za pomocą konwencjonalnej metody kartograficznej. Powstanie wówczas tyle map ile wyznaczonych zostało klas [Burrough i in. 1997]. Przyjęcie 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 zjawisk glebowych z uwzględnieniem rozmycia granic między wyznaczonymi klasami. Najczęściej można spotkać następujące metody: wyostrenia klasyfikacji [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].

Logika rozmyta ma szerokie zastosowanie w kartografii i systemach informacji geograficznej. W ostatnich latach opracowanych zostało wiele metod prezentacji kartograficznej wyników ciągłej klasyfikacji obiektów geograficznych. Generalnie można podzielić je na dwie kategorie: pierwsza, w której wyznacza się „rdzeń” klasy oraz jej rozmytą granicę oraz druga, w której bazuje się bezpośrednio na wartościach funkcji rozmytej przynależności do wyznaczonych klas.

#### 3.1. Metody oparte na wyznaczeniu granic rozmytych

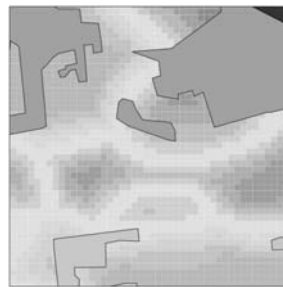
Granice rozmyte wyznaczane są na podstawie granicznych wartości: maksymalnych wartości funkcji rozmytej przynależności ( $p(x)_{\max}$ ), współczynnika zmieszania (IC) lub entropii (H) [Zhang J., Kirby R. P., 2000]. W pierwszym przypadku, jako rozmyte uważa się lokalizacje, w których maksymalna wartość funkcji przynależności jest mniejsza niż założona wartość graniczna. Współczynnik zmieszania IC może być obliczony według wzoru [Burrough i in. 1997]:  $CI = 1 - (p(x)_{\max} - p(x)_{(\max-1)})$ ; gdzie: gdzie  $p(x)_{\max}$  i  $p(x)_{(\max-1)}$  to odpowiednio największa i druga co do wielkości wartość funkcji przynależności w lokalizacji  $x$ . Przyjęta minimalna wartość współczynnika IC będzie wyznaczała granicę rozmytą dla wszystkich większych wartości. Wyznaczenie entropii w danej lokalizacji oparte jest na założeniu, że jednoznaczna klasyfikacja przypisuje w danej lokalizacji dużą wartość funkcji rozmytej przynależności tylko do jednej klasy. Im większa liczba klas ma duże wartości przynależności – tym mniej pewna klasyfikacja

i większa entropia. Entropię w danej lokalizacji można obliczyć według wzoru [Foody G. M., 1995]:  $H(p(x)) = -\sum_{i=1}^c p_i(x) \log_2 p_i(x)$ ; gdzie:  $H(p(x))$  - wartość entropii w lokalizacji  $x$ ;  $p_i(x)$  - wartość funkcji rozmytej przynależności do  $i$ -tej klasy w lokalizacji  $x$ , przy czym wartość  $i$  zmienia się od 1 do  $c$ .



Rys. 5. a) granice rozmyte wyznaczone na podstawie, odpowiednio:  $p(x)_{max}$ , IC oraz H; b) granice rozmyte wyznaczone dla różnych wartości granicznych IC; opracowanie własne

Do najczęściej stosowanych metod graficznych do reprezentowania niepewności danych [zobacz np.: Kardos J., Moore A., Benwell G., 2008, Jiang B., 1998] można zaliczyć: stosowanie zmiennej jasności, nasycenia barwy, mieszania pikseli i tworzenia wynikowych barw, stosowanie kontrastowego desenia wywołującego wrażenie migotania, nachodzących deseni, zamglenia, rozmycia, zmniejszania rozdzielczości, stosowania filtrów wprowadzających szumy graficzne, wprowadzania animacji (np. migające barwy pikseli, czy efekty rolety) oraz prezentacje 3D.



Rys. 6. Fragment mapy z rozmytymi granicami na podstawie współczynnika IC przedstawionymi w postaci skal natężenia barwy oraz uzupełnionej konturami kompleksów użytków zielonych i terenów zainwestowanych; opracowanie własne (wersja czarno-biała mapy barwnej)

Na rysunku 6 przedstawiono granice rozmyte na podstawie wartości współczynnika zmieszania IC, niepewność danych reprezentowana jest przez spadek natężenia barwy. Skale natężenia barwy zostały rozwinięte względem wyznaczonych uprzednio barw

kompleksów w modelu Munsell'a. Operowanie samą jasnością lub nasyceniem nie wydaje się dobrym działaniem, gdyż w znacznym stopniu utrudnia wyrównanie poziomów skali.

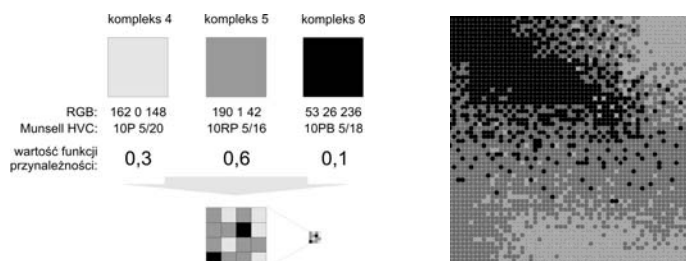
Kompleksy użytków zielonych i tereny zainwestowane przedstawiono w ostrych granicach z mapy glebowo-rolniczej. W tabeli 3 zestawiono oznaczenia barw skal natężenia barwy.

Tabela 3. Oznaczenia skali barw kompleksów w modelu Munsell'a; opracowanie własne

kompleks 2		kompleks 4		kompleks 5		kompleks 6		kompleks 7		kompleks 8		kompleks 9	
H	V/C	H	V/C	H	V/C	H	V/C	H	V/C	H	V/C	H	V/C
5YR	5/6	7,5RP	6/11	7,5R	7/10	9YR	8/10	10Y	9/14	10BG	7/9	6PB	7/9
	6/5		7/8		7,5/8		8,2/6,3		9/10		7,5/7,5		7,5/7,5
	7/3		8/4		8/5		8,6/4,5		9/6		8/5,5		8/5
	8/2		8,5/2		8,5/2		8,8/2,5		9/2,5		8,5/3		8,5/3
	9/1		9/1		9/1		9/1		9/1		9/1		9/1

### 3.2. Metody oparte bezpośrednio na wartościach funkcji rozmytej przynależności

Do metod tych można zaliczyć: Metodę mieszania pikseli i Metodę mieszania barw [Hengl T. et al. 2004]. Metoda mieszania pikseli opracowana dla map glebowych Holandii przez De Gruijter'a Walvoort'a i Van Gams'a w 1997 roku polega na podziale pól jednostek podstawowych (pikseli) na mniejsze pola (pod-piksele) a następnie na przypisaniu barw poszczególnych klas do liczby pod-pikseli proporcjonalnej do wartości funkcji przynależności. Rozmieszczenie poszczególnych pod-pikseli poddaje się procedurze losowości tak by uniknąć tworzenia niekorzystnych układów odbieranych jako wzory [De Gruiter'a et al. 1997 ]. Metoda ta była stosowana z powodzeniem w praktyce.

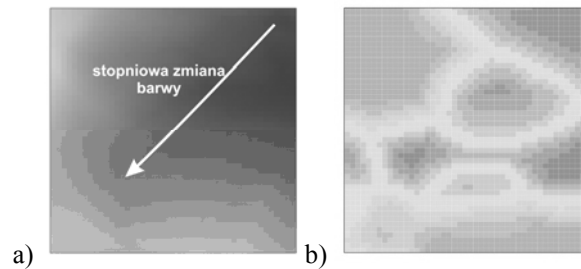


Rys. 7. Schemat techniki mieszania pikseli. Liczba pod-pikseli danej barwy jest proporcjonalna do wartości funkcji przynależności pikseli do danego kompleksu; opracowanie własne na podstawie: Hengl T. et al. 2004

W metodzie mieszania barw wynikową barwę pikseli reprezentującego daną lokalizację wyznacza się jako średnią ważoną z wartości RGB barw przypisanych do poszczególnych klas. Wagami są znormalizowane wartości funkcji rozmytej przynależności. W bardziej zaawansowanej technice barwy są transformowane do przestrzeni HSV (pochodnej RGB). Jasność i nasycenie mogą być dodatkowo modyfikowane w oparciu o współczynnik zmieszania IC [Hengl T. et al. 2002]. Niewątpliwą zaletą tej metody jest łatwość jej realizacji jako kompozycji trzech kanałów RGB. Niestety posiada liczne wady i ograniczenia tj. niemożność opracowania legendy, trudności w interpretacji czy nieprzewidywalność efektów barwnych przy większej liczbie



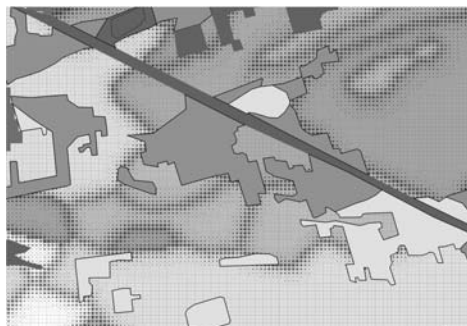
klas. Zadawalające wyniki są możliwe do osiągnięcia tylko przy odpowiednio dobranych barwach wyjściowych (leżących stosunkowo blisko w przestrzeni barw) oraz niewielkiej liczbie klas. W przypadku mapy glebowo-rolniczej i wyznaczonych wcześniej wzorcowych barw dla każdej klasy efekt, pomimo wizualnej atrakcyjności, jest trudny do zinterpretowania.



Rys. 8. Fragment opracowania a) metodą mieszania barw (wersja czarno-biała ilustracji barwnej) b) metodą wyznaczenia granic rozmytych na podstawie wartości IC i przy zastosowaniu skal natężenia barwy (wersja czarno-biała ilustracji barwnej); opracowanie własne

### 3.3. Metoda graficzna

Metody graficzne oparte są na zasadzie graficznej metafory. Kardos i inni zastosowali na przykład sieć zmienno gęstą drzewa ufności (ang. *trustree*) [Kardos, et al. 2008]. Jednak w przypadku, gdy uwagę odbiorcy chcemy skierować na granicę między obiektami powierzchniowymi i unaocznić niepewność ich przebiegu lepszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie kartodiagramu ciągłego wartości współczynnika zmieszana IC. Jest to bardzo prosta i szybka metoda prezentacji niepewności przebiegu granic. Przy odpowiednim doborze wielkości diagramów można osiągnąć bardzo dobre efekty graficzne – prezentujące w sposób czytelny i łatwy do interpretacji niepewność przebiegu granic wyznaczoną w modelu ciągłej klasyfikacji gleb opartym na logice rozmytej.



Rys. 9. Fragment opracowania metodą graficzną – kartodiagramu ciągłego wartości IC (wersja czarno-biała ilustracji barwnej); opracowanie własne

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE

Uwarunkowania prawne skutkują koniecznością opracowania cyfrowej mapy glebowo-rolniczej. Polska ma bogaty zbiór danych w postaci szczegółowych analogowych map glebowo-rolniczych z lat 60-tych w skali 1: 5 000. Pozyskanie informacji z tych map i przetworzenie jej do postaci cyfrowej, zorganizowanej w bazie danych przestrzennych pozwoli na szersze wykorzystanie tych danych. Jednocześnie w badaniach światowych widoczne są tendencje do uwzględniania płynnej ciągłości zmian zjawisk geograficznych w tym również związanych z glebą. Ciągła klasyfikacja oparta na logice rozmytej opracowana na potrzeby modeli wnioskowania o glebie pozwala między innymi uwzględnić w większym stopniu płynną, rozmytą naturę granic oraz obrazować niepewności klasyfikacji danych. Podejście to stawia wyzwania również przed metodyką kartograficzną. Jak dotąd nie ma wypracowanych, sprawdzonych metod prezentacji kartograficznej otrzymanych wyników ciągłej klasyfikacji dla map glebowo-rolniczych. Z jednej strony obowiązuje konwencja graficzna wypracowana w latach 60-tych ubiegłego wieku, z drugiej strony należy dopasować metody prezentacji kartograficznej do nowoczesnych metod modelowania informacji o środowisku glebowym. Z pośród wielu metod, których przegląd ze względu na ograniczenia redakcyjne, przedstawiono tu jedynie w zarysie, najbardziej obiecujące są dwie: metoda oparta na wyznaczeniu granic rozmytych na podstawie współczynnika zmieszania IC przy wprowadzeniu skal natężenia barwy rozwiniętych dla wyjściowych barw kompleksów oraz metoda oparta na wartościach funkcji przynależności określana jako mieszanie pikseli. Przy czym pierwsza z wymienionych wiąże się z koniecznością wyznaczania barw w percepcyjnych modelach barwy takich jak CIECAM02 lub model barw Munsell'a.

#### 5. LITERATURA

- Bielska A., 2012: Wpływ procesu scalenia gruntów na wielofunkcyjny, zrównoważony rozwój obszarów wiejskich, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 1/II/2012, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, s. 5-17.
- 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, s. 193-210.
- Burrough P. A., van Gaans P. F. M., Hootsman, R., 1997. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries *Geoderma*, vol. 77, Issue 2, s. 115-135.
- Foody G. M., 1995. Cross-entropy for the evaluation of the accuracy of a fuzzy land cover classification with fuzzy ground data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1995 (50) s. 2-12.
- de Grujter J.J., Walvoort D.J.J., Bragato G., 2011: Application of fuzzy logic to Boolean models for digital soil assessment, *Geoderma* 166 s.15-33.
- Hengl T., Walvoort D. J. J., Brown A., Rossiter D. G., 2004. A double continuous approach to visualization and analysis of categorical maps. *Int. J. Geographical Information Science*, vol. 18, nr 2, s. 183-202.
- Jiang B., 1998 Visualisation of Fuzzy Boundaries of Geographic Objects, *Cartography*, vol.27 nr 2, s. 41-46.

- Kardos J., Moore A., Benwell G., 2008. Exploring Tessellation Metaphors in the Display of Geographical Uncertainty Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, *Geospatial Vision*, s. 113-140.
- Koreleski K., 2008. Problematyka ochrony i kształtowania środowiska w dokumentach służących realizacji zrównoważonego rozwoju gmin, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, Nr 2/2008, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, s. 39-46.
- 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, s. 601-612.
- McBratney A. B., De Gruijter J. J., Brus D.J., 1992. Spacial prediction and mapping of continuous soil classes. *Geoderma* 54, s. 39-64.
- McBratney A.B., 1994. Allocation of new individuals to continuous soil classes. *Aust. J. Soil Res.* 32, 623-633.
- Siuta J., Witek T., 1973. Przydatność rolnicza gleb Polski. PWRiL Warszawa, załącznik.
- 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.
- Strzemski M., Siuta J., Witek T., 1973: Przydatność rolnicza gleb Polski, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- 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, s. 1025 - 1034.
- Van Gams P. F. M., Walvoort D. J. J. De Gruijter J. J., 1997. Continuous soil maps - a fuzzy set approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution models. *Geoderma* Vol. 77, Issues 2-4, s. 169-195 Fuzzy Sets in Soil Science.
- Witek T., Ochalska L. 1968. Przydatność zdjęć lotniczych w sporządzaniu wielkoskalowych map glebowych i glebowo-rolniczych. *Fotointerpretacja w geografii*, Tom 6 1, 73-85.
- Zhang J., Kirby R. P., 2000 A comparison of alternative criteria for defining fuzzy boundaries on fuzzy categorical maps *Geo-spatial Information Science* Vol.3, No.2, p.26-34.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z 3 października 2011 r. w sprawie rodzajów kartograficznych opracowań tematycznych i specjalnych (Dz. U. Nr 222, poz. 1328).
- Ustawa z dnia 4 marca 2010 o infrastrukturze informacji przestrzennych [Dz. U z 2010r., Nr 76 poz. 489].

## METHODS OF CARTOGRAPHIC PRESENTATION OF DIGITAL SOIL-AGRICULTURAL MAPS WITH CONSIDERATION OF DATA UNCERTAINTY

KEY WORDS: soil-agricultural map, fuzzy logic, data uncertainty, cartographic presentation methods

### Summary

Soil-agricultural maps at a scale of 1:5 000 were prepared in the 1960's in the analogue form (colour and black and white) for the area of the entire country. They were developed based on the existing classification maps as well as field and laboratory studies preceded by the interpretation of aerial photographs. They constitute a valuable collection of information on the soil conditions, agricultural usefulness of land, and indirectly on the usefulness of the land for other, non-agricultural functions. They constitute a source of information used in taking planistic decisions. Contours with an area of more than 0.5 ha were marked on the maps. Small or narrow elements providing significant information on the agricultural production space were included. The accuracy of the contours distinguished is estimated for approx. 10-50 m. The uncertainty of the location of the boundaries results from the accuracy of marking of soil-agricultural contours, and lack of consideration of the continuity of changes in the soil cover both in the geographical space and in the space of attributes describing it. Currently, based on the order of the Council of Ministers of 3 October 2011 on types of thematic and special cartographic documents [Journal of Laws No. 222, item 1328], thematic maps, including agricultural maps, are to become thematic digital documents considered in the spatial information infrastructure.

The objective of the paper is to present methods of cartographic presentation of digital soil-agricultural maps with consideration of data uncertainty. Majority of terms describing soil, related to soil typology or assessment of soil quality and agricultural usefulness, is relatively little precise. This is related to the specificity of the geographical phenomenon of soil. Majority of soil processes form continuous (fuzzy) classes. For a soil-agricultural map, they are constituted by fuzzy contours of belonging to a given agricultural usefulness complex. Lack of certainty, resulting from imprecise markings of terms applied, is modelled with the application of the theory of fuzzy sets and fuzzy logic. The spatial distribution of values of belonging of a soil phenomenon to an individual fuzzy class can be presented on the map by means of the conventional cartographic method. This generates a number of maps equal to the number of distinguished classes. This does not automatically lead to the determination of spatially continuous classes in the form of one presentation. There are methods of development of a result map presenting the distribution of a given phenomenon with consideration of the fuzziness of boundaries between the distinguished classes. They can be divided into three categories: defuzzification, methods based on the Confusion index, and graphic methods.

The article provides a review of selected methods of cartographic presentation with their adaptation for the purposes of a soil-agricultural map. The colour scales were developed in the CIECAM (CAM - Colour Appearance Model) perceptual colour space independent from the devices reproducing colours, and from the observation conditions. Moreover, their relation to the CIE Lab colour space for specified, typical observation conditions was determined, as well as RGB values for the standard monitor adopted.

Dane autorów:

Dr inż. Joanna Jaroszewicz  
e-mail: j.jaroszewicz@gik.pw.edu.pl  
telefon: 22 234 71 42

Dr inż. Anna Bielska  
e-mail: a.bielska@gik.pw.edu.pl  
telefon: 22 234 55 87