

Artykuł naukowy

## Wykorzystanie danych rastrowych do wizualizacji rasowo-etnicznej struktury ludności na przykładzie danych ze Stanów Zjednoczonych

Mapping racial composition in the US using raster data

Anna Dmowska<sup>1</sup>, Tomasz F. Stepinski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut  
Geoekologii i Geoinformacji, Poznań

<sup>2</sup> University of Cincinnati, Department of Geography and GIS, Space Informatics Lab, Cincinnati,  
OH, United States of America

### *Abstract*

*The paper presents two approaches to visualize racial composition using high-resolution raster data (30m). The raster grids represent the results of applying dasymetric modelling to disaggregate US Census data using high-resolution land cover maps. The presented approaches classify race-specific raster grids into several categories. A racial diversity map shows the spatial character of neighbourhoods in a single, easy-to-understand map. Each category depicted by colour indicates the level of diversity and a dominant race. A second approach - the racial landscape method (RL) - results in three maps. Racial landscapes consist of a mosaic of patches (enclaves) formed by adjacent raster grid cells belonging to the same racial category. Furthermore, the RL method can also visualize racial segregation and diversity on any scale. The resulting maps allow visualizing racial composition in any place in the continental United States.*

**Słowa kluczowe:** wizualizacja, zróżnicowanie rasowo-etniczne, segregacja rasowa, dane demograficzne

Keywords: visualization, racial diversity, racial segregation, demographic data

## Wprowadzenie

W dobie zmian zachodzących na świecie społeczeństwa stają się coraz bardziej zróżnicowane pod względem rasowo-etnicznym (Sturgis i in., 2014; Andersson i in., 2018; Frey, 2022). Przedstawienie struktury rasowo-etnicznej na mapach dostarcza istotny materiał edukacyjny i naukowy pokazujący ewolucję struktury rasowo-etnicznej danego obszaru.

Podstawowym źródłem informacji o strukturze demograficznej ludności są Narodowe Spisy Ludności. Podczas spisów ludności dane zbierane są od każdego obywatela, a następnie są agregowane do jednostek przestrzennych o różnej wielkości. Dane takie są wykorzystywane także do przygotowania map. Najczęściej, do przedstawienia rasowo-etnicznej struktury ludności w postaci jednej mapy wykorzystuje różne schematy klasyfikacyjne w wyniku, których danej jednostce agregacji przypisuje się kategorię określającą typ zróżnicowania rasowo-etnicznego (np. obszary zdominowane przez białych, obszary mieszane z dominacją Latynosów itp.). Głównym kryterium brany pod uwagę przy wyznaczaniu typów zróżnicowania rasowo-etnicznego jest procentowy udział grup rasowo-etnicznych oraz poziom zróżnicowania rasowo-etnicznego (Fasenfest i in., 2004, Farrell i Lee, 2011; Holloway i in., 2012). Autorzy klasyfikacji przyjmują różne progi do wyznaczenia obszarów zdominowanych przez daną grupę oraz obszarów „mieszanych” o średnim lub dużym zróżnicowaniu rasowo-etnicznym. Przykładem zastosowania dwuwymiarowej klasyfikacji opartej o procentowy udział grup rasowo-etnicznych oraz entropię określającą poziom zróżnicowania rasowo-etnicznego jest projekt Mixed Metro (<https://mixedmetro.com/>) wykorzystujący kryteria zaproponowane przez Holloway i in. (2012).

Wykorzystanie danych zagregowanych do wizualizacji rasowo-etnicznej struktury ludności wiąże się z licznymi ograniczeniami. (1) Wizualizowana cecha jest przypisywana do całej jednostki, bez uwzględnienia obszarów niezamieszkałych. (2) Jednostki agregacji wyznaczone są zazwyczaj dla celów statystycznych, biorąc pod uwagę kryterium liczby ludności i/lub liczby mieszkań. W efekcie nawet jednostki na tym samym poziomie agregacji różnią się wielkością. (3) Granice jednostek agregacji zmieniają się między latami.

Ponadto dane ze spisów ludności udostępniane są zazwyczaj w formie tabelarycznej, z możliwością dołączenia ich do danych geoprzestrzennych. Stanowi to dodatkowe utrudnienie przy tworzeniu map dla większych obszarów. Rozwiązaniem jest przekształcenie danych zagregowanych do danych rastrowych, które są pozbawione wyżej wymienionych ograniczeń.

Celem opracowania jest przedstawienie różnych metod wizualizacji rasowo-etnicznej struktury ludności w oparciu o dane rastrowe wysokiej rozdzielczości na przykładzie danych opracowanych dla kontynentalnych Stanów Zjednoczonych dla 2020 roku.

### **Dane rastrowe reprezentujące rasowo-etniczną strukturę ludności**

Dane rastrowe o wysokiej rozdzielczości reprezentujące rozmieszczenie grup rasowo-etnicznych w 2020 roku są wynikiem dekompozycji danych zagregowanych zebranych w ramach Amerykańskiego Spisu Ludności. Dekompozycja danych zagregowanych została wykonana za pomocą modelowania dazymetrycznego. Modelowanie dazymetryczne jest jedną z metod pozwalających na przekształcenie danych zaagregowanych do danych rastrowych przy wykorzystaniu danych pomocniczych o wyższej rozdzielczości przestrzennej (Mennis, 2003; Bielecka, 2005; Petrov, 2012; Dmowska, 2019). Jako dane źródłowe w modelowaniu dazymetrycznym wykorzystano dane o strukturze rasowo-etnicznej ludności zagregowane na poziomie bloków spisowych. Bloki spisowe stanowią najniższy poziom agregacji w Stanach Zjednoczonych, dla którego dostępne są dane dotyczące demograficznej struktury ludności. Jako dane pomocnicze wykorzystano dane o pokryciu terenu – National Land Cover Datasets 2019 (NLCD2019). NLCD to porównywalny między latami zbiór danych o pokryciu terenu o rozdzielczości 30m, obejmujący obszar kontynentalnych Stanów Zjednoczonych dostępny dla lat 2001-2019, w odstępach co 2-3 lata, składający się z 20 klas pokrycia terenu. Celem zapewnienia porównywalności z danymi dostępnymi dla roku 1992, kategorie pokrycia terenu przeklasyfikowano do 3 klas (obszary zurbanizowane, obszary niezurbanizowane, obszary niezamieszkałe).

Kluczowym etapem przy konstruowaniu modelu dazymetrycznego jest ustalenie związku między dekomponowaną przestrzennie cechą, a danymi pomocniczymi. Do przygotowania danych dla Stanów Zjednoczonych dla roku 2020 wykorzystano procedurę opisaną przez Dmowską i Stepinskiego (2017) oraz Dmowską (2019). Procedura ta została opracowana i zastosowana do utworzenia danych dla kontynentalnych Stanów Zjednoczonych dla lat 1990-2010.

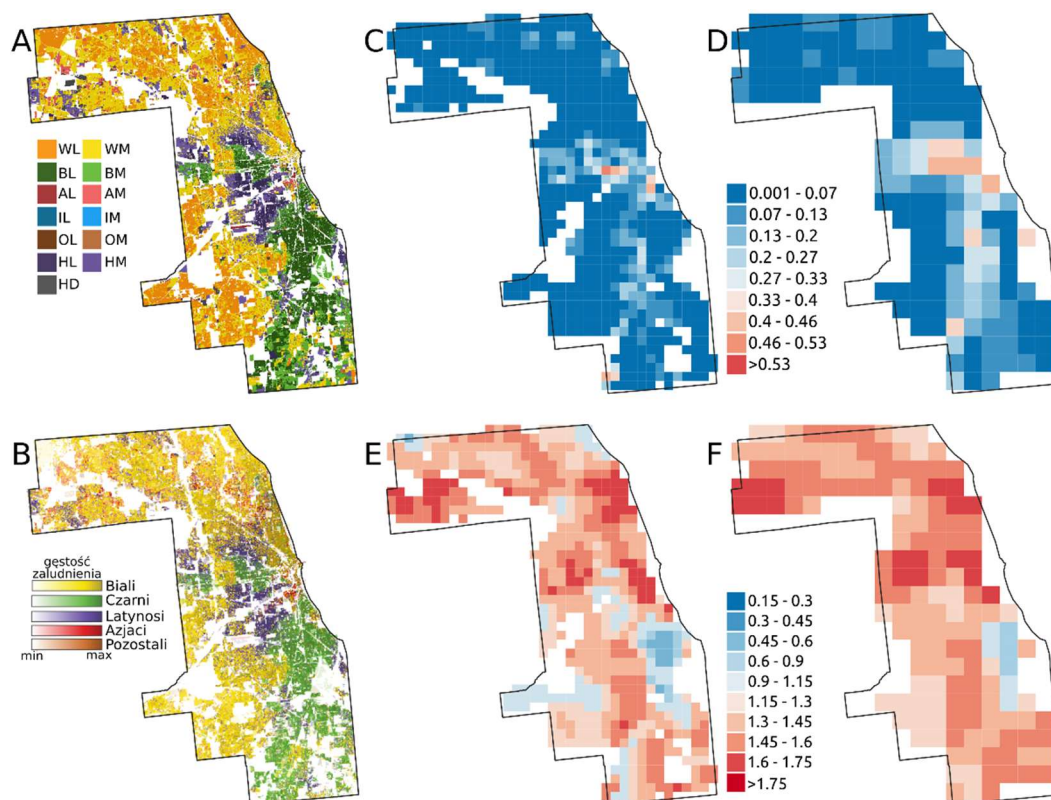
Modelowanie dazymetryczne stosuje się najczęściej do dekompozycji danych dotyczących ogólnej liczby ludności, ale możliwe jest zastosowanie modelu dazymetrycznego także do innych cech struktury demograficznej, np. rasowo-etnicznej struktury ludności (Dmowska i in., 2017). Poszczególne grupy rasowo-etniczne zostały rozłożone do komórek siatki rastrowej w proporcjach ustalonych na podstawie relacji między ogólną liczbą ludności, a kategoriami danych pomocniczych. W związku z tym,

mapa rozmieszczenia danej grupy rasowo-etnicznej nie uwzględnia ewentualnej zmienności poszczególnych grup wewnątrz jednostki agregacji, a zapewnia jedynie dokładniejszą lokalizację przestrzenną każdej grupy, utrzymując ją z dala od niezamieszkałych obszarów (Dmowska i in., 2017).

W efekcie zastosowania modelowania dazymetrycznego opracowano dane rastrowe o rozdzielczości 30m (tj. rozdzielczości odpowiadającej mapie pokrycia terenu) dla obszaru kontynentalnych Stanów Zjednoczonych pokazujące rozmieszczenie ogólnej liczby ludności oraz 7 grup rasowo-etnicznych. Dane dla lat 1990-2020 są dostępne do pobrania ze strony projektu SocScape (<http://socscape.edu.pl>).

### **Wizualizacja rasowo-etnicznej struktury ludności**

Celem ukazania rasowo-etnicznej struktury ludności w postaci jednej mapy, konieczne jest skategoryzowanie danych rasowo-etnicznych do kilku/kilkunastu kategorii. Dmowska i in. (2017) oraz Dmowska i in. (2020) zaproponowali dwa odrębne podejścia pozwalające na przekształcenie danych opracowanych dla poszczególnych grup rasowo-etnicznych do danych skategoryzowanych. W pierwszym podejściu poszczególnym komórkom przypisano typ zróżnicowania rasowo-etnicznego, określony przez proporcje osób różnych grup rasowo-etnicznych występujących w danym obszarze (Dmowska i in. 2017). W drugim podejściu stosuje się metodę analizy krajobrazu rasowo-etnicznego (Dmowska i in. 2020), w celu przypisania każdej komórce jednej z grup rasowo-etnicznych.



**Rys. 1.** Wizualizacja rasowo-etnicznej struktury w 2020 roku w hrabstwie Cook , IL obejmującym centralną część Chicago. Mapa typów zróżnicowania rasowo-etnicznego (A); Krajobraz rasowo-etniczny (B); Mapa segregacji rasowej w skali 3,6 km (C) i 7,2 km (D); Mapa zróżnicowania rasowo-etnicznego w skali 3,6 km (E) i 7,2 km (F).

Figure 1. Maps showing racial composition in 2020 in Cook County, IL (central Chicago). Racial diversity map (A); racial landscape (B); racial segregation at the scale of 3.6 km (C) and 7.2 km (D); racial diversity at the scale of 3.6 km (E) and 7.2 km (F).

### Typy zróżnicowania rasowo-etnicznego

Typy zróżnicowania rasowo-etnicznego przypisywane są na podstawie dwuwymiarowej klasyfikacji określającej poziomu zróżnicowania rasowo-etnicznego (mały, średni lub duży) oraz grupę dominującą (jedną z 6 grup rasowo-etnicznych). W pierwszym etapie klasyfikacji określa się poziom zróżnicowania rasowo-etnicznego na podstawie wartości entropii standaryzowanej (E) oraz procentowego udziału grupy rasowo-etnicznej. Następnie, obszary mało i średnio zróżnicowane są klasyfikowane na podstawie dominującej grupy rasowo-etnicznej (biali, czarni, Azjaci, Latynosi, Rdzenni

Amerykanie, pozostali). Poziom zróżnicowania rasowo-etnicznego określany jest za pomocą następujących kryteriów:

- typ mało zróżnicowany – grupa dominująca stanowi powyżej 80% oraz  $E < 0.414$  (próg entropii standaryzowanej obliczony został dla przypadku, w którym grupa dominująca stanowi 81%, a pozostałe grupy mają równy udział);
- typ o dużym zróżnicowaniu – żadna z grup rasowo-etnicznych nie stanowi powyżej 50%, dwie najbardziej dominujące grupy nie przekraczają 80%,  $E > 0.729$  (próg entropii standaryzowanej obliczony został dla przypadku, w którym grupa dominująca stanowi 50% ogólnej liczby ludności, grupa subdominująca 30%, a pozostałe grupy mają taki sam udział procentowy);
- typ średnio zróżnicowany jest przypisywany wszystkim pozostałym, zamieszkałym komórkom.

Zastosowana klasyfikacja opiera się o kryteria zaproponowane przez Holloway i in., (2012), którzy wykorzystali klasyfikację do określenia typów zróżnicowania rasowo-etnicznego obszarów spisowych (ang. *census tracts*).

W efekcie przeprowadzonej klasyfikacji powstaje mapa tematyczna (mapa zróżnicowania rasowo-etnicznego) składająca się z 13 typów zróżnicowania rasowo-etnicznego. Rycina 1A przedstawia przykład mapy typów zróżnicowania rasowo-etnicznego dla 2020 roku dla hrabstwa Cook, IL obejmującego centralną część Chicago. Każdy z typów określony jest dwuliterowym symbolem; pierwszy określa grupę rasowo-etniczną (W – biali, B – czarni, A – Azjaci, I – rdzenni Amerykanie, H – Latynosi, O – pozostali), a drugi poziom zróżnicowania (L – małe zróżnicowanie, M – średnie zróżnicowanie). Np. typ mało zróżnicowany zdominowany przez białych (kolor pomarańczowy na rys. 1A) oznaczony jest symbolem WL, a poziom o dużym zróżnicowaniu rasowo-etnicznym (kolor szary) to symbol HD. Dla celów wizualizacji każdy z 13 typów zróżnicowania struktury rasowo-etnicznej można również podzielić na podstawie gęstości zaludnienia (mała, średnia, duża), co daje skategoryzowany raster zawierający 40 kategorii (39 kategorii określonych przez poziom zróżnicowania rasowo-etnicznego, dominującą rasę/grupę etniczną, gęstość zaludnienia oraz kategoria obszarów niezamieszkałych). Mapa taka przedstawia (w wysokiej rozdzielczości przestrzennej) strukturę rasowo-etniczną dla dowolnego obszaru kontynentalnych Stanów Zjednoczonych. Mapy typów zróżnicowania rasowo-etnicznego dla lat 1990-2020 klasyfikowane do 40 kategorii dostępne są w aplikacji webowej projektu SocScape ([http://150.254.124.68/socscape\\_usa/](http://150.254.124.68/socscape_usa/)).

### Metoda analizy krajobrazu rasowo-etnicznego

Metoda analizy krajobrazu rasowo-etnicznego (metoda KR) wprowadza nowe podejście do analizy i wizualizacji rasowo-etnicznej struktury ludności. Pozwala ona na wykonanie map przedstawiających rasowo-etniczną strukturę ludności, segregację rasową oraz zróżnicowanie rasowe w dowolnej skali przestrzennej (Dmowska i in. 2020). Metoda KR została zaimplementowana w pakiecie *raceland* w środowisku obliczeniowym R. W metodzie KR struktura rasowo-etniczna reprezentowana jest jako seria stochastycznych realizacji, w których każda komórka ma przypisaną kategorię odpowiadającą jednej grupie rasowo-etnicznej, np. biali, Azjaci, czarni, Latynosi. Realizacje obliczane są na podstawie danych rastrowych zawierających rozkład prawdopodobieństwa występowania ras wykorzystując metodę Monte Carlo. Prawdopodobieństwo wystąpienia danej grupy rasowo-etnicznej określa się na podstawie składu rasowo-etnicznego w danej komórce (odsetka grup rasowo-etnicznych).

Struktura rasowo-etniczna reprezentowana jest przez mozaikę składającą się z różnej wielkości enklaw rasowo-etnicznych utworzonych przez sąsiadujące komórki należące do tej samej grupy rasowo-etnicznej. Taka mozaika, w kolejnym kroku może zostać podsumowana za pomocą dwóch metryk – entropii opisującej zróżnicowanie grup rasowo-etnicznych oraz informacji wzajemnej odzwierciedlającej poziom agregacji komórek o tej samej kategorii. Drugą z miar jest miarą segregacji rasowej – im większe, bardziej zagregowane enklawy utworzone przez sąsiadujące komórki z tą samą kategorią rasowo-etniczną, tym większa segregacja. Realizacje nieco różnią się między sobą, szczególnie w obszarach o dużym zróżnicowaniu rasowym. Metryki obliczane są jako średnia z wielu (np. 30) realizacji. Dla celów wizualizacji wystarczy tylko jedna realizacja.

W metodzie KR, obszar można podzielić na dowolnej wielkości kwadraty. Następnie dla każdego kwadratu można wyliczyć entropię oraz informację wzajemną, co pozwoli na wizualizację zróżnicowania rasowego oraz segregacji rasowej w dowolnej skali przestrzennej. Rycina 1B - 1F przedstawia przykład wykorzystania metody krajobrazu rasowo-etnicznego do wizualizacji rasowo-etnicznej struktury ludności w hrabstwie Cook w 2020 roku. Rycina 1B przedstawia krajobraz rasowo-etniczny składający się z 5 kategorii. Dla celów wizualizacyjnych natężenie koloru zmienia się w zależności od lokalnej gęstości zaludnienia. Ryciny C-F przedstawiają mapy segregacji oraz zróżnicowania rasowo-etnicznego w skali 3,6 km oraz 7,2 km.

## Podsumowanie

Wizualizacja jest pierwszym krokiem do zrozumienia zmian zachodzących w danym obszarze. Przedstawione podejścia (mapa typów zróżnicowania rasowo-etnicznego, metoda KR) dostarczają map pozwalających na analizę różnych aspektów rasowo-etnicznej struktury ludności. Udostępnienie danych w projekcie SocScape (<http://socscape.edu.pl>) zapewnia szerokiej społeczności (nie tylko akademickiej i naukowej) łatwy i bezpłatny dostęp do różnych zestawów map pozwalających na śledzenie ewolucji rasowo-etnicznej struktury ludności w dowolnym miejscu kontynentalnych Stanów Zjednoczonych.

## Literatura (References)

- Andersson, E. K., Malmberg, B., Costa, R., Sleutjes, B., Stonawski, M. J., De Valk, H. A., 2018: A comparative study of segregation patterns in Belgium, Denmark, the Netherlands and Sweden: Neighbourhood concentration and representation of non-European migrants. *European Journal of Population*, 34(2), 251–275.
- Bielecka, E., 2005: A dasymetric population density map of Poland. In Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference (Vol. 9, p. 15).
- Dmowska, A., 2019: Dasymetric modelling of population distribution – large data approach. *Quaestiones Geographicae*, 38(1), 15-27.
- Dmowska, A., Stepinski, T. F., 2017: A high resolution population grid for the conterminous United States: The 2010 edition. *Computers, Environment and Urban Systems*, 61, 13–23.
- Dmowska, A., Stepinski, T. F., Netzal, P., 2017: Comprehensive framework for visualizing and analyzing spatio-temporal dynamics of racial diversity in the entire United States. *PLoS One*, 12(3), e0174993.
- Dmowska, A., Stepinski, T. F., Nowosad, J., 2020: Racial Landscapes – a pattern-based, zoneless method for analysis and visualization of racial topography. *Applied Geography*, 122, 102239.
- Farrell, CR., Lee, BA., 2011: Racial diversity and change in metropolitan neighborhoods. *Social Science Research*, 40(4), 1108–1123.
- Fasenfest, D., Booza, J., Metzger, K., 2004: Living together : A new look at racial and ethnic integration in metropolitan neighborhoods, 1990-2000. Brookings Institution.
- Frey, W., 2022: A 2020 Census Portrait of America's Largest Metro Areas: Population growth, diversity, segregation, and youth. Brookings Mountain West.
- Holloway, S.R., Wright, R., Ellis, M., 2012: The racially fragmented city? Neighborhood racial segregation and diversity jointly considered. *The Professional Geographer*, 64, 63–82
- Mennis, J., 2003: Generating surface models of population using dasymetric mapping. *The Professional Geographer*, 55(1), 31-42.
- Petrov, A., 2012: One hundred years of dasymetric mapping: back to the origin. *The Cartographic Journal*, 49(3), 256-264.
- Sturgis, P., Brunton-Smith, I., Kuha, J., Jackson, J., 2014: Ethnic diversity, segregation and the social cohesion of neighbourhoods in London. *Ethnic and Racial Studies*, 37(8), 1286-1309.



### **Streszczenie**

*W artykule przedstawiono dwa podejścia do wizualizacji składu rasowego przy użyciu danych rastrowych o wysokiej rozdzielczości (30m). Dane rastrowe są wyniki zastosowania modelowania dazymetrycznego do rozłożenia zagregowanych danych zebranych w ramach Amerykańskiego Narodowego Spisu Ludności z wykorzystaniem map pokrycia terenu wysokiej rozdzielczości. Przedstawione podejścia klasyfikują dane rastrowe wykonane dla poszczególnych grup rasowo-etnicznych na kilka kategorii. Mapa typów zróżnicowania rasowo-etnicznego przedstawia przestrzenny charakter rasowo-etnicznej struktury ludności na jednej, łatwej do zrozumienia mapie. Każda kategoria oznaczona kolorem wskazuje poziom zróżnicowania oraz dominującą grupę rasowo-etniczną. Drugie podejście – metoda krajobrazu rasowo-etnicznego (KR) pozwala na wykonanie 3 typów map. Krajobraz rasowo-etniczny przedstawia mozaikę składającą się z różnej wielkości enklaw rasowo-etnicznych utworzonych przez sąsiadujące komórki należące do tej samej grupy rasowo-etnicznej. Ponadto metoda KR może również wizualizować segregację rasową i różnorodność w dowolnej skali. Powstałe mapy pozwalają na wizualizację składu rasowego w dowolnym miejscu w kontynentalnej części Stanów Zjednoczonych.*

Dane autorów / Authors details:

dr hab. Anna Dmowska

ORCID 0000-0001-9333-3768

dmowska@amu.edu.pl

prof. dr Tomasz F. Stepinski

ORCID 0000-0001-6818-203X

stepintz@uc.edu

Przesłano / Received	17.11.2022
Zaakceptowano / Accepted	21.12.2022
Opublikowano / Published	30.12.2022



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).