POLSKIE TOWARZYSTWO INFORMACJI PRZESTRZENNEJ
**ROCZNIKI GEOMATYKI 2012 ❍ Tom X ❍ Zeszyt 3(53)**

# MAPA GĘSTOŚCI ZALUDNIENIA KRAKOWA – PROPOZYCJA METODYKI OPRACOWANIA ORAZ PRZYKŁADOWE ZASTOSOWANIA*

# POPULATION DENSITY MAP FOR THE CITY OF CRACOW – SUGGESTED METHODOLOGY AND APPLICATION

**Tomasz Pirowski, Wojciech Drzewiecki**

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH w Krakowie

**Słowa kluczowe: mapy dazymetryczna, dane statystyczne, gęstość zaludnienia, fotointerpretacja**
Key words: dasymetric map, statistical data, population density, photo interpretation

## Wprowadzenie

Mapy gęstości zaludnienia stanowią istotne źródło danych dla różnorodnych analiz przestrzennych wykonywanych w systemach informacji geograficznej. Należy je zaliczyć do map wskaźnikowych, gdzie sposób prezentacji danych determinuje metodykę opracowywania produktu. W klasycznym podejściu, do lat 90. XX wieku, najczęstszą formą prezentacji były metoda izolinii oraz metody kartogramiczne – głównie kartogramu właściwego prostego lub mapy kropkowej, na której wielkość i przestrzenne rozmieszczenie ludności przedstawiono za pomocą kropek. Dopiero w ostatniej dekadzie, wraz ze wzrostem dostępności cyfrowych zestawów danych, postępem kartografii i jej coraz ściślejszym związkiem z systemami informacji geograficznej (GIS) wzrosło zainteresowanie metodami dazymetrycznymi, zaliczanymi również do metod kartograficznych (Goleń, Ostrowski, 1994). Opierają się one o pomysł Wright'a z 1936 roku i polegają na rozdzieleniu danych między jednostki powierzchni, w oparciu o dodatkową informację kartograficzną. Różnica pomiędzy kartogramem właściwym a kartogramem dazymetrycznym polega na innym przyjęciu pól odniesienia – w pierwszym przypadku są to arbitralnie narzucone obszary, np. obwody spisowe, jednostki administracyjne. W drugim przypadku układ pól odniesienia wynika z przestrzennego rozkładu zjawiska (Bielecka i in., 2005). W efekcie reprezentacja rozkładu przestrzennego

* Praca zrealizowana w ramach badań statutowych AGH 11.11.150.949.

obrazowanego zjawiska z wykorzystaniem metod dazymetrycznych jest bardziej wiarygodna niż w przypadku kartogramu (Longley i in., 2006; Maantay i in., 2007).

Aktualnie pojęcie „metody dazymetrycznej" czy „kartowania dazymetrycznego" funkcjonuje zarówno w kartografii jak i w GIS. Stąd między innymi wieloznaczność terminów i różne metody wykonania map tą techniką (Bielecka i in., 2005). W podręcznikach kartografii kartogram dazymetryczny definiuje się jako metodę prezentacji kartograficznych, służących do przedstawiania powierzchni statystycznej za pomocą znaków powierzchniowych (Robinson i in., 1988), natomiast w literaturze GIS metoda dazymetryczna to forma interpolacji powierzchniowej danych statystycznych (Eicher, Brewer, 2001).

## Mapy dazymetryczne ludności – przegląd literaturowy

Interpolacja powierzchniowa opiera się na dezagregacji wartości populacji – przeniesieniu danych z jednego zestawu jednostek źródłowych do drugiego zestawu jednostek docelowych nakładających się na jednostki źródłowe. Jest więc to przeliczenie danych statystycznych, takich jak np. liczba mieszkańców, na nowe jednostki. Kluczowe zatem staje się opracowanie metody przeliczania danych o liczbie ludności, ogólnodostępnych, odnoszonych do administracyjnych jednostek terytorialnych, do mniejszych jednostek powierzchniowych. Autorzy opracowań sprzed rozpowszechnienia się GIS, przy braku dostępnych danych cyfrowych, do ich określenia używali map topograficznych. Późniejsze opracowania opierają się na kilku innych źródłach, dostarczających danych wielkopowierzchniowych o większej aktualności, takich jak obrazy satelitarne (Harvey, 2002) czy mapy pokrycia/użytkowania terenu (Eicher, Brewer, 2001; Gallego, Peedell, 2001; Bielecka i in., 2005). Niektóre algorytmy, takie jak Mennisa i in. (2006), generowania ciągłej powierzchni opisującej rozkład populacji w komórkach rastra, zostały zaimplementowane do oprogramowania GIS (Sleeter, Gould, 2007). Dokonuje się też prób określenia dynamicznych zmian w zagęszczeniu ludności związanych z ich przemieszczaniem się w ciągu dnia (Sleeter, Wood, 2006) oraz zwiększaniem ich szczegółowości przestrzennej, opierając się na ekstrakcji z obrazów pojedynczych budynków (Ural i in., 2011) czy dysponując danymi o punktach adresowych, podziale katastralnym działek, sieci komunikacyjnej (Tapp, 2010). Tego typu opracowania wielkoskalowe są szczególnie istotne z punktu widzenia analiz sytuacji kryzysowych.

Projekty wykonywane w krajach Unii Europejskiej charakteryzują się wykorzystaniem mapy pokrycia/użytkowania terenu z projektu CORINE Land Cover (CLC) 2000, co determinuje stopień ich dokładności przestrzennej do 1 ha wydzieleń. Przykładem takich opracowań są prace Gallego (2010), Gallego i Peedella (2001) oraz Bieleckiej (2005).

Bielecka i in. (2005) wskazują, że w naszym kraju ogólnodostępne dane statystyczne o ludności podawane przez GUS, są tylko na poziomie gminy, powiatu lub województwa. W publikacji przeprowadzają dyskusję trzech metod tworzenia dazymetrycznych map ludności. W pierwszej, binarnej, przypisuje się znaną liczbę ludności tylko do obszarów zamieszkanych, definiowanych przez wybrane klasy pokrycia terenu zawarte w CLC 2000. W metodzie agregacji powierzchniowo-wagowej zakłada się odpowiedni procentowy rozkład zamieszkującej ludności w zależności od kategorii pokrycia terenu. W trzeciej metodzie – powierzchniowo-wagowej korelacji – iteracyjnie określa stosunek gęstości zaludnienia pomiędzy parami typów pokrycia terenu. Odniesieniem jest tutaj większa jednostka terytorialna – województwo, a iteracyjnie minimalizuje się różnice pomiędzy wartościami statystycznymi

GUS a obliczonymi dazymetrycznie dla każdej gminy. Dodatkowo, jako zmienna powiązań, uwzględniany jest typ gminy. Autorzy uznają tą metodę za najlepszą z trzech badanych, pomimo nie zachowania objętości danych (liczby ludności) w obrębie gmin. Podkreślają jednak fakt, że mapa tak opracowana przestawia zjawisko w sposób najbardziej zróżnicowany i najwierniej go oddający. Należy jednak pamiętać, że niezależnie od zastosowanej metody, produkt końcowy jest jedynie pewnym przybliżeniem rzeczywistości.

## Propozycja metodyki opracowania szczegółowej mapy gęstości

W prezentowanej pracy podjęto próbę opracowania mapy rozmieszczenia ludności na wysokim poziomie szczegółowości, zarówno przestrzennej, jak i ilościowej, tworząc produkt końcowy w siatce komórek o rozdzielczości 25m. W opracowaniu bazowano na doświadczeniach Gallego i Peedell (2001) oraz Bieleckiej i in. (2005). Podstawowe różnice w stosunku do metody agregacji powierzchniowo-wagowej to:

- zastąpienie danych statystycznych danymi o wyższej dokładności (dane GUS o liczbie ludności na poziomie gmin zastąpiono danymi z obwodów wyborczych),
- zastąpienie administracyjnych jednostek terytorialnych (gmin) obszarami o mniejszej powierzchni (obwodami wyborczymi),
- zastąpienie mapy pokrycia/użytkowania terenu mapą punktowego rozmieszczenia skupisk ludności (lokalizacja domów jednorodzinnych, kamienic, klatek schodowych bloków),
- zastosowanie dla każdego obszaru obliczeniowego (obwodu wyborczego) dodatkowego współczynnika, korygującego rozbieżności pomiędzy faktyczną liczbą ludności a będącą wynikiem otrzymywanym na drodze dazymetrycznej,
- utworzenie mapy liczby ludności zamieszkującej obszar 1/16 ha (zamiast mapy „gęstości" zaludnienia podającej wartości z dokładnością do kilku przedziałów).

Informacje o okręgach i obwodach wyborczych są ogólnodostępne (http://wybory2011.pkw.gov.pl ). Dla obszarów wiejskich obwody są definiowane zazwyczaj przez nazwy sołectw lub – w przypadku większych miejscowości – nazwy przysiółków i/lub ulic. Informacje o obszarze terytorialnym obwodu wyborczego położonego w mieście są podawane poprzez spis przynależnych do niego ulic/osiedli, wraz z zakresem numeracji budynków, gdy ulica wchodzi w skład więcej niż jednego obwodu. Nie ma więc wprost dostępu do graficznej informacji o kształcie obwodów, umożliwiających ich zaimportowanie do oprogramowania GIS.

Dostępne są także dane o liczbie mieszkańców przypadającej na okręg wyborczy (zazwyczaj są to miasta i gminy), a dla okręgów i obwodów – osób uprawnionych do głosowania. Należy zwrócić uwagę, że dane te są o wiele bardziej szczegółowe niż dostępne dane GUS. Przykładowo – dla miasta Krakowa, który był obszarem testowym dla opracowania mapy ludności – liczba obwodów w wyborach w 2011 roku wynosiła 467, co przy liczbie mieszkańców 704 955 daje średnio 1510 osób na obwód (odpowiednio uprawnionych do głosowania: 595 079, na obwód 1275). W rzeczywistości obwody liczyły w 2011 roku od około 300 do 2200 osób uprawnionych do głosowania. Charakteryzowały się też dużymi różnicami powierzchniowymi (obwody zamknięte miały bardzo małą powierzchnię, często ograniczoną do pojedynczych budynków).

Warto też zauważyć, że dane stanowią informacje o osobach zameldowanych oraz osobach, które wnioskowały o wpisanie ich w określonym obwodzie, w celu oddania głosów w

określonych wyborach. Konieczność przyjęcia założenia o stałej proporcji, w każdym z obwodów, liczby mieszkańców w stosunku do liczby osób uprawnionych do głosowania należy uznać za wadę zmniejszająca wiarygodność tego typu danych ilościowych.

Dostępne mapy pokrycia/użytkowania terenu, bazujące na danych satelitarnych, takie jak CLC 2000, są zbyt mało dokładne dla wymienionych wcześniej danych o ludności. Alternatywą jest wykorzystanie ortofotomap ze zdjęć lotniczych bądź wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych. Na drodze fotointerpretacyjnej możliwe jest wskazanie na nich miejsc zamieszkanych przez ludność. Takie podejście jest zbliżone poziomem dokładności do punktowej bazy adresowej, z dwoma istotnymi różnicami: interesujące dla interpretatora są tylko „adresy zamieszkane" oraz – w przypadku rozległych budynków, jak wielkopłytowe wieżowce – „adresy" mogą być uszczegóławiane do poszczególnych klatek schodowych.

W opracowanej metodzie założono przyjęcie w obrębie danego obwodu wyborczego stałej proporcji pomiędzy liczbą ludności przypisaną punktom należącym do poszczególnych rodzajów skupisk ludności. Dokonano ich podziału na cztery kategorie: budynki jednorodzinne, kamienice (stara zabudowa lub tzw. „plomby", głównie w centrum miasta, charakteryzująca się relatywnie dużymi powierzchniami mieszkań, część budynku użytkowana często jako biura i lokale usługowe), klatka schodowa w niskim bloku (do IV pięter), klatka schodowa w wieżowcu. Zliczając liczbę wystąpień punktów w danym obwodzie wyborczym, i na starcie przypisując im arbitralnie proporcje ludnościowe (wynikające z przydzielenia wprost poszczególnym punktom zakładanej liczby mieszkańców, np. w blokach 105, w domach jednorodzinnych 5 – stosunek 21:1), można wyznaczyć pierwszą, teoretyczna liczbę ludności na takim obszarze. Porównując to z dostępnymi danymi o liczbie mieszkańców, obliczanymi w oparciu o liczbę wyborców, otrzymuje się różnicę obu wartości. Wynika ona z błędów interpretacji ortofotomapy (np. pominięcia miejsc zamieszkanych lub odwrotnie – błędnego zakwalifikowania obiektów jako mieszkalne) i – przede wszystkim – przyjętych *a priori* założeń dotyczących liczby mieszkańców zamieszkujących odpowiednią kategorię „punktów". Aby zminimalizować drugi z błędów, przyjęto jako referencyjne dane z większych jednostek powierzchniowych – okręgów wyborczych. Umożliwiło to iteracyjne poszukiwanie optymalnych proporcji (a co za tym idzie – liczby mieszkańców przydzielanych do każdej z kategorii), minimalizując metodą najmniejszych kwadratów różnice pomiędzy wartościami teoretycznie otrzymywanymi a znanymi z danych wyborczych. Na tym etapie odpowiada to w pewnym stopniu podejściu zastosowanemu przez Bielecką i in. (2005), gdzie województwo stanowiłoby odpowiednik okręgu, a gmina – obwodu wyborczego. Następnie – po stabilizacji parametrów w procesie iteracyjnym – porównywano uzyskane wyniki liczbowe dla każdego z obwodów w stosunku do danych o liczbie wyborców. Z proporcji obu wartości uzyskiwano współczynnik korygujący rozbieżność i o taką wartość modyfikowane były iteracyjnie obliczone wartości przydzielone do punktów. Dzięki takiemu zabiegowi, zarówno rozmieszczone dazymetrycznie liczby mieszkańców we wszystkich okręgach wyborczych (jednostkach większych), jak i w poszczególnych obwodach wyborczych (jednostkach podstawowych) zgadzały się z danymi wyborczymi.

Tak opracowana mapa „punktowego" rozmieszczenia ludności, wraz z przypisaną punktom liczbą mieszkańców, umożliwia utworzenie różnych produktów końcowych (zarówno w postaci wektorowej, jak i komórkowej – rastrowej), a także korzystanie wprost z informacji z opracowanej mapy ludności. Agregacja do postaci wektorowej pozwala wyznaczyć jednostki terytorialne o dowolnym kształcie, np. dzielnicy, osiedla czy kwartału ulic. Sprowadzając wynik do postaci komórkowej, sterować można stopniem agregacji przez wiel-

kość pojedynczego piksela. Możliwe jest również przejście od mapy liczby ludności zamieszkującej dany obszar (punkt, komórkę, poligon wyznaczony przez wektor) do wskaźnika gęstości zaludnienia i uzyskanie klasycznej mapy dazymetrycznej w postaci kartogramicznej. Innym interesującym produktem jest mapa liczby ludności zamieszkującej w określonym promieniu wokół rozważanego punktu (komórki rastra). Zamiast więc sztucznego degradowania jednostek podstawowych (przykładowo zwiększania komórki z 25m do 1km), zliczając liczbę mieszkańców w ruchomym oknie o wybranej wielkości, w prosty sposób uzyskuje się faktyczną mapę gęstości zaludnienia. Informacja nie jest jednak w tym przypadku odniesiona do sztucznych pól, ale do każdej komórki mapy rastrowej.

## Opracowanie mapy ludności miasta Krakowa – etap praktyczny

Testową mapę rozmieszczenia ludności opracowano dla obszaru granic administracyjnych miasta Krakowa, dla roku 1999. Dysponowano ortofotomapą Krakowa z roku 1997/98, w skali 1: 5000 (wielkość piksela 0,5 m), opracowaną na bazie zdjęć lotniczych wykonanych w ramach programu Phare. Dane z obwodów wyborczych pozyskano z Urzędu Miasta Krakowa (409 obwodów, liczby osób w pojedynczym obwodzie: 400-2500). Zawierały one nie tylko dane o osobach uprawnionych do głosowania w każdym z obwodów, ale również informację o ogólnej liczbie zameldowanych mieszkańców. Dzięki temu, w tym konkretnym przypadku, wyeliminowano niepewność danych związaną z aproksymowaniem faktycznej liczby mieszkańców.

W pierwszym etapie, bazując na opisach tekstowych, definiujących poszczególne obwody wyborcze, opracowano mapę ich granic. Wykonano to pracując na ortofotomapie, wspierając się planami miasta, zawierającymi informacje teleadresowe (nazwy ulic i numeracje budynków). Plany te były niemetryczne, jednak o dokładności wystarczającej do identyfikacji obiektów i przypisania ich do właściwego obwodu (niedopuszczalne było „dzielenie" budynku wieloklatkowego na dwa lub więcej obwodów). Podobnie jak dla wyżej przedstawionego roku 2011, powierzchnie poszczególnych obwodów w roku 1999 były zróżnicowane. Ogólna tendencja to zwiększanie się ich wielkości terytorialnej na obrzeżach miasta, w strefach zabudowy jednorodzinnej i/lub przemysłowej, charakteryzujących się spadkiem zagęszczenia ludności. Zachowanie odwrotnej proporcji między powierzchnią obwodów a gęstością zaludnienia zapewnia utrzymanie zbliżonej liczby mieszkańców przypadającej na pojedynczy obwód (wartości poniżej 800 osób najczęściej dotyczą obwodów zamkniętych). Z praktycznego punktu widzenia jest to sytuacja korzystna, gdyż duża liczba ludności jest ograniczana obwodami o niewielkiej powierzchni, a co za tym idzie, możliwość popełnienia błędu w jej rozmieszczeniu jest zawężona przestrzennie. I odwrotnie – na dużych obszarach, nawet jeśli zostaną popełnione błędy interpretacyjne, czy przyjęte zostaną złe założenia dla początkowych wielkości populacji przydzielonych do poszczególnych zamieszkanych kategorii, nie będzie posiadało to istotnego wpływu na cały produkt.

W drugim etapie, analizując ortofotomapę, punktowo uszczegółowiono i sklasyfikowano miejsca zamieszkane. Zgodnie z założeniami teoretycznymi dokonano podziału na cztery kategorie: budynki jednorodzinne, kamienice, niskie bloki, wieżowce (rys. 1). Dla ostatnich dwóch kategorii punktami oznaczano klatki schodowe widoczne na ortofotomapie lub przydzielano ich liczbę przez analogię – bazując na długości budynków. W przypadkach niepew-

**Rys. 1.** Zlokalizowane na ortofotomapie miejsca zamieszkania z podziałem na kategorie; osiedla: Na Kozłówce, Prokocim, Bieżanów (pd-wsch. obszar Krakowa)

nych interpretacyjnie – poza planami miasta i poszczególnych dzielnic – dodatkowo posiłkowano się wybranymi planami osiedli, a nawet mapami ewidencyjnymi w skalach 1:500 i 1:1000. Dzięki temu możliwe było odróżnienie z dużą wiarygodnością budynków mieszkalnych od budynków o innych funkcjach (np. przemysłowych, handlowych, urzędów), a także – dzięki informacji o liczbie kondygnacji budynku – poprawne ich przydzielenie do jednej z kategorii (niskie bloki/wieżowce) i wskazanie odpowiedniej liczby klatek schodowych.

W kroku trzecim, po wstępnych próbach, przydzielono arbitralnie następujące liczby mieszkańców przypadające na „punkt mieszkalny": klatka schodowa w wieżowcu: 105 osób; klatka schodowa w niskim bloku: 45 osób; kamienica: 30 osób; dom jednorodzinny: 5 osób. Obszar podzielono na osiemnaście dzielnic (są to jednocześnie okręgi wyborcze) i w ramach każdej z nich obliczono iteracyjnie, startując od wyżej podanych wartości, parametry końcowe (tab. 1).

Dla każdego obwodu wchodzącego w skład określonego okręgu dokonano korekt, aby wystąpiła zgodność liczby mieszkańców z danych wyborczych z obliczonymi na mapie

**Tabela 1.** Liczba mieszkańców przypadająca na poszczególny punkt mieszkalny dla 18 dzielnic Krakowa

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | 5,0 | 4,6 | 4,5 | 4,1 | 4,8 | 2,5 | 3,3 | 3,3 | 5,3 | 3,5 | 3,9 | 4,6 |
| b | 45,1 | 36,2 | 35,8 | 40,4 | 33,5 | 31,4 | 43,1 | 38,6 | 45,0 | 45,2 | 35,2 | 42,0 |
| w | 105,3 | 100,2 | 94,9 | 109,2 | 88,9 | 85,8 | 105,3 | 102,4 | 111,2 | 105,4 | 93,9 | 101,5 |
| k | 19,9 | 24,1 | 30,2 | 30,6 | 13,0 | 29,3 | 25,0 | 28,1 | 29,5 | 30,2 | 30,1 | 30,1 |

| | XIII | XIV | XV | XVI | XVII | XVIII |
|---|---|---|---|---|---|---|
| d | 3,4 | 4,3 | 5.0 | 5,0 | 3,9 | 4,0 |
| b | 36,7 | 40,2 | 48.1 | 54,5 | 41,2 | 31,1 |
| w | 104,1 | 82,5 | 100.6 | 126,4 | 104,2 | 102,0 |
| k | 13,0 | 29,8 | 30.2 | 30,2 | 30,2 | 30,1 |

Oznaczenia: d – domy jednorodzinne, b – niskie bloki do IV pięter, w – wieżowce, k – kamienice

ludności. W ten sposób „przydzielono" poszczególnym punktom ostateczną liczbę ludności. Przykładowe wartości dla obwodów znajdujących się na terenie osiedla Na Kozłówce (dzielnica XII) przedstawia tabela 2 i rysunek 2. Dla tego osiedla zanotowano powtarzające się niedoszacowanie liczby mieszkańców. Wynika ono z faktu wyjątkowego zagęszczenia mieszkań w blokach (małe metraże, budynki z lat 60. i początku 70.), przez co standardowo przyjęte, a potem iteracyjnie doprecyzowane wartości liczby mieszkańców przypadających na „przeciętne" klatki w blokach, są tutaj zbyt niskie.

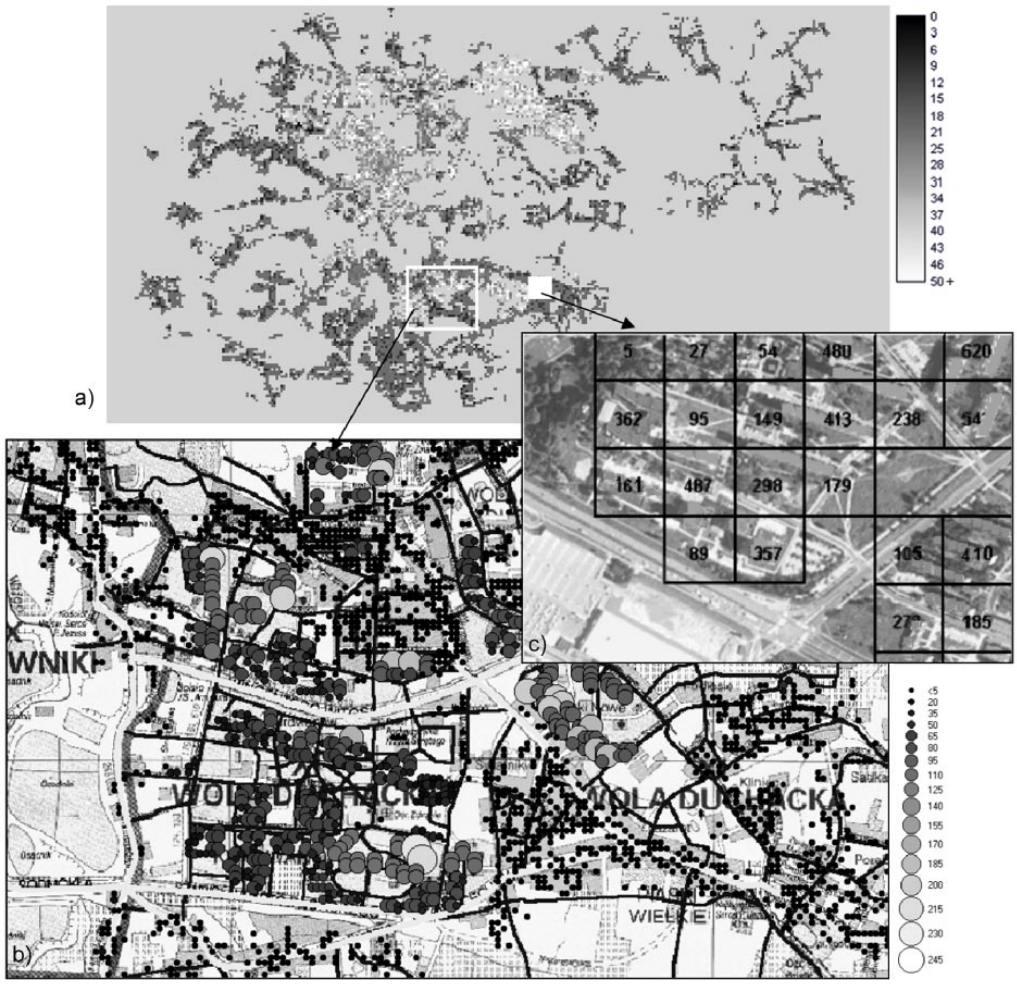
W kroku czwartym, przyjmując rastrowy model reprezentacji graficznej danych jako optymalny do zaawansowanych analiz przestrzennych, dokonano agregacji ludności do wybranego oczka komórki na poziomie 25 m (1/16 ha). Jest to wielkość przyjęta arbitralnie, gdyż takim poziomem dokładności dysponowano na innych mapach tematycznych zgromadzonych dla obszaru Krakowa w tworzonej bazie danych GIS. Produkt ten zilustrowano w różnych formach na rysunku 3.

**Tabela 2.** Liczba mieszkańców przypadająca na poszczególny punkt interpretacyjnie wskazany na ortofotomapie

| Numer obwodu | Liczba pkt | | | | Liczba mieszkańców | | Różn. | Wsp. | Liczba mieszkańców na punkt | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | d | b | w | k | obliczona | z danych wyb. | w % | koryg. | d | b | w | k |
| 247 | 25 | 38 | 4 | 0 | 2116 | 2302 | -8,1 | 1,09 | 5,0 | 45,7 | 110,4 | 32,8 |
| 248 | 3 | 45 | 0 | 0 | 1902 | 1975 | -3,7 | 1,04 | 4,8 | 43,6 | 105,3 | 31,3 |
| 249 | 0 | 36 | 0 | 0 | 1511 | 1999 | -24,4 | 1,32 | 6,1 | 55,5 | 134,2 | 39,9 |
| 250 | 0 | 26 | 4 | 0 | 1497 | 1961 | -23,7 | 1,31 | 6,1 | 55,0 | 132,9 | 39,5 |
| 251 | 79 | 36 | 0 | 0 | 1876 | 1868 | 0,4 | 1,00 | 4,6 | 41,8 | 101,0 | 30,0 |
| 252 | 1 | 36 | 6 | 0 | 2124 | 2725 | -22 | 1,28 | 5,9 | 53,8 | 130,2 | 38,7 |

Oznaczenia: d – domy jednorodzinne; b – niskie bloki do IV pięter, w – wieżowce, k – kamienice

**Rys. 2.** Zasada dazymetrycznego rozmieszczenia liczby mieszkańców – osiedle Na Kozłówce

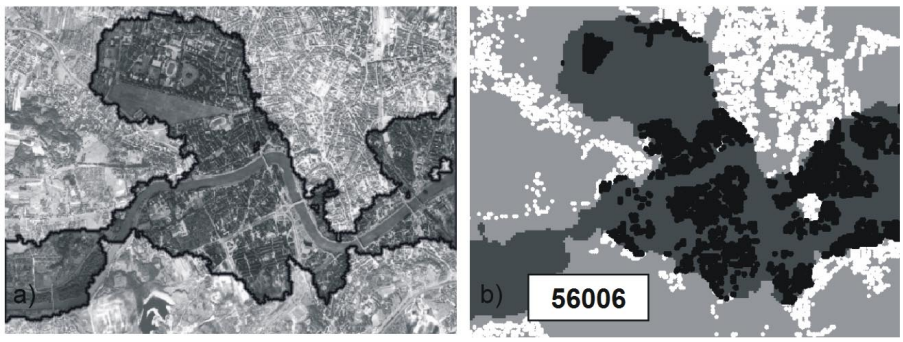



**Rys. 3.** Mapa liczby ludności: a – miasto Kraków, wersja rastrowa, wartości na 1/16 ha (25x25m);
b – powiększony fragment na tle planu miasta, osiedle Wola Duchacka/Kurdwanów/Piaski;
c – powiększony fragment na tle ortofotomapy, osiedle Prokocim, wartości na 1 ha (100x100 m)

## Przykłady wykorzystania mapy ludności w analizach GIS

Szczegółowe dane o rozmieszczeniu i liczbie ludności stanowią istotną warstwę tematyczną w bazie danych GIS. Poniżej przedstawiono przykładowe wykorzystanie opracowanej mapy dla miasta Krakowa w zakresie sytuacji kryzysowych, geomarketingu, analiz komunikacyjnych i wspierania decyzji administracyjnych w oświacie.

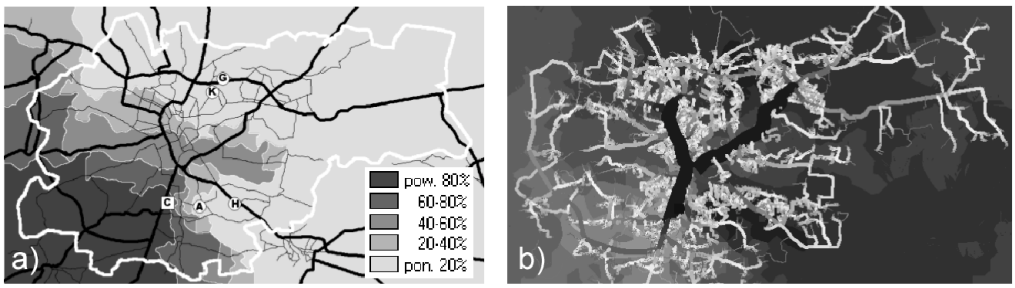
Dane o ludności mogą być wykorzystane do oszacowania liczby mieszkańców zagrożonych wskutek zaistnienia klęsk żywiołowych, nadzwyczajnych zagrożeń środowiska itp. Rysunek 4a (Drzewiecki i in., 1999) przedstawia symulowaną strefę powodziową. Dysponując danymi o ludności można oszacować liczbę zagrożonych osób, w tym wskazanie kluczowych miejsc o ich dużym zagęszczeniu (rys. 4b).




a b

**Rys. 4.** Modelowanie sytuacji kryzysowej: a – strefa zalewowa w centrum Krakowa na tle ortofotomapy (5 metrowa fala powodziowa); b – rozmieszczenie ludności w strefie zagrożenia (kolor czarny) i w jej pobliżu (kolor biały) wraz z liczbą ludności w strefie zagrożenia obliczoną na podstawie mapy ludności

W analizach geomarketnigowych istotną rolę odgrywa informacja o rozmieszczeniu geograficznym siły nabywczej. Najprostsza, ale i najmniej dokładna metoda opracowania rozkładu przestrzennego siły nabywczej bazuje na założeniu o jej proporcjonalności do gęstości zabudowy. Znajomość liczby ludności (potencjalnych klientów) pozwala na uzyskanie dokładniejszego oszacowania, aczkolwiek dla w pełni wiarygodnych wyników należy uwzględnić dodatkowo informacje o ich strukturze społecznej i wiekowej, preferencjach zakupowych, zasobności portfela, itp.. W roku 2000, wykorzystując model Wilsona (2000) opisujący przepływ ludzi lub pieniędzy ze strefy zabudowy do punktu sprzedaży, autorzy przeprowadzili modelowanie zachowania konsumentów w wyborze jednego z pięciu dostępnych wtedy marketów na terenie Krakowa, jako wynik uzyskując rozkład przestrzenny udziału danego punktu w rynku (Pirowski, Drzewiecki, 2000) (rys. 5a). Nieuwzględnienie w analizie informacji o rozkładzie ludności powoduje jednak, iż interpretacja wyników i wskazanie na dominację bądź niszową pozycję danego punktu sprzedaży względem innych, mogły okazać się pochopne, ze względu na istniejące duże dysproporcje w rozmieszczeniu klientów na terenie miasta. Dysponując danymi o ludności, w prosty sposób możliwe jest zliczenie potencjalnych konsumentów, a przez to podanie wiarygodnych wartości udziału w rynku danego marketu, nie opierając się jedynie o analizę terytorialną. Możliwe też jest symulowanie dróg napływu klientów z miejsca zamieszkania do punktu sprzedaży, wraz z analizą ich

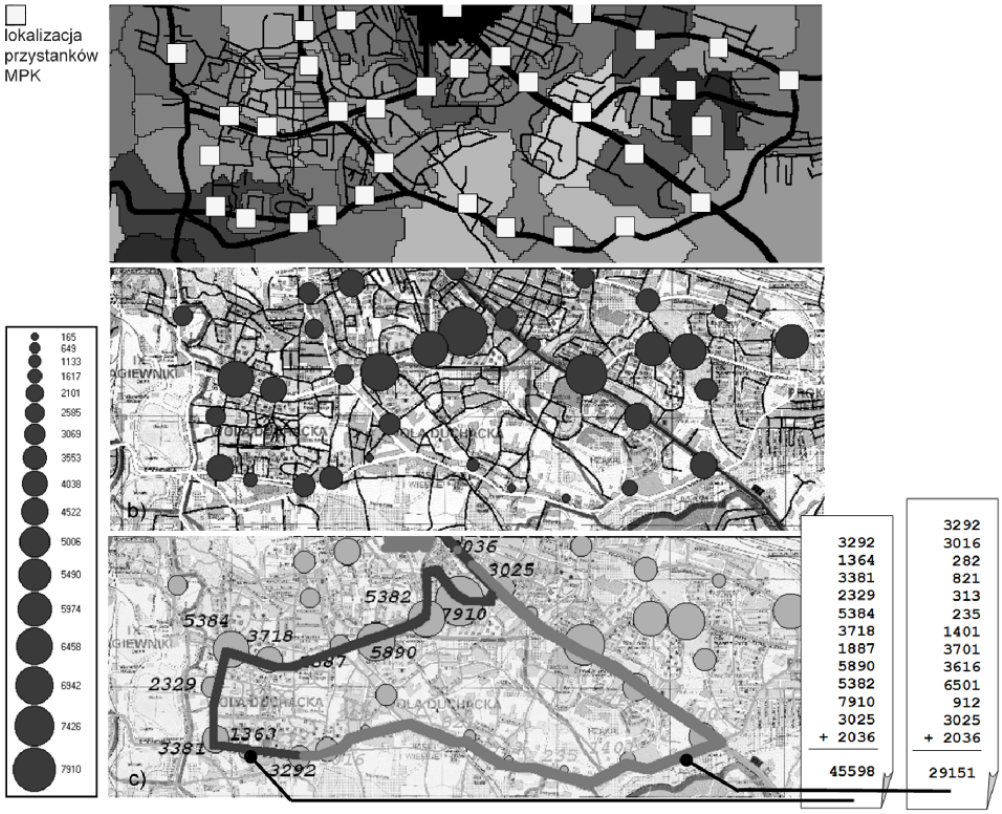



**Rys. 5.** Analizy geomarketingowe: a – względny udział w rynku wybranego obiektu wielkopowierzchniowego; b – modelowanie napływu klientów (im ciemniejsza i grubsza linia, tym większa koncentracja ruchu)

koncentracji. Tego typu modelowanie, przy założeniu wybierania trasy najszybszej do marketu oraz z uwzględnieniem oddziaływania konkurencji, przedstawia rys. 5b. Mapowanie takich informacji umożliwia między innymi precyzyjną akcję reklamy zewnętrznej, a także przewidywanie skutków kolejnych inwestycji dla obciążenia sieci drogowej miasta.

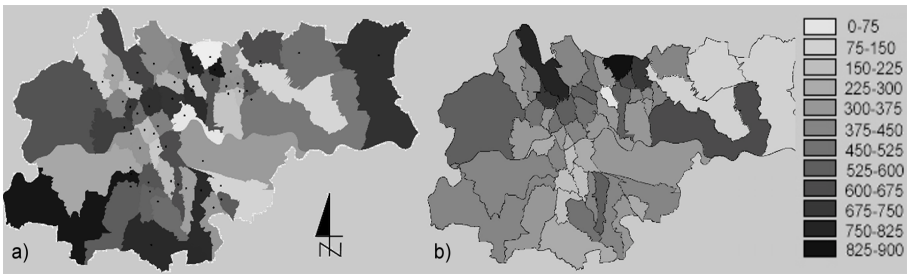
Kolejny przykład przedstawia wykorzystanie danych o ludności do analiz komunikacyjnych. Rysunek 6 ilustruje analizę prowadzoną na południowych osiedlach Krakowa (Kurdwanów, Wola Duchacka, Piaski Wielkie, Na Kozłówce). Modelując pieszą dostępność komunikacyjną do przystanków wg kryterium czasu dotarcia, otrzymuje się ich strefy „oddziaływania" na pasażerów (rys. 6a). Nakładając na tak wyznaczone obszary mapę liczby ludności można zliczyć potencjalne obciążenie poszczególnych przystanków MPK (rys. 6b). Znając trasy linii transportu publicznego łatwo obliczyć, która z nich obsługuje większą liczbę pasażerów (rys. 6c). W celu uzyskania dokładniejszych wyników należałoby uwzględnić dodatkowe parametry, takie jak częstotliwość kursowania poszczególnych linii, ich liczbę na przystankach, możliwość przesiadki, atrakcyjne obiekty w pobliżu przystanku (sklepy, poczta, szkoła) itd.

Zbliżone podejście, jak dla przystanków MPK, zastosowano aby wyznaczyć obciążenie placówek oświatowych (Adamczyk, 2006). Kryterium wyznaczenia optymalnej rejonizacji szkół podstawowych było bezpieczne (jak najmniejsza liczba przecięć dróg i skrzyżowań) i jak najszybsze piesze dotarcie ucznia (rys. 7a). Wyznaczone w ten sposób obszary poddano




**Rys. 6.** Analizy komunikacyjne: a – strefy oddziaływania przystanków MPK; b – obciążenie przystanków MPK; c – obciążenie linii komunikacji miejskiej pasażerami

miedzy innymi analizie średniego czasu dotarcia ucznia do szkoły oraz liczby uczniów przypadających na poszczególne placówki. Wynik potencjalnego obciążenia szkół uczniami w postaci kartogramu przedstawia rysunek 7b. Informacje tego typu mogą stanowic podstawę do decyzji o zwiększeniu liczby placówek, bądź ich likwidacji, a także wprowadzenia odpowiedniej komunikacji dla uczniów.




**Rys. 7.** Wspomaganie decyzji administracyjnych w oświacie: a – optymalizacja rejonizacji szkół; b – kartogram ilustrujący potencjalne obciążenie szkół przez uczniów (za Adamczyk, 2006)

## Dyskusja wyników – konkluzje

Zaproponowana, oparta na podejściu dazymetrycznym, metodyka opracowania mapy rozmieszczenia ludności pozwala na uzyskanie produktu końcowego o stosunkowo wysokim stopniu szczegółowości i dokładności. Jakość uzyskiwanej mapy mogłaby być dodatkowo poprawiona przez wprowadzenie dodatkowych zmiennych, pozwalających na lepsze określenie proporcji pomiędzy kategoriami skupisk ludności (np. przez zróżnicowanie w zależności od charakteru dzielnicy). Możliwe jest również uwzględnienie faktu zamieszkiwania osób niezameldowanych (i nie znajdujących się w spisie wyborców), których liczba mogłaby być oszacowana na przykład przez badania ankietowe.

Proces opracowywania mapy rozmieszczenia ludności może zostać w przyszłości częściowo zautomatyzowany. Można na przykład wyobrazić sobie oparcie go o informacje o położeniu, rozmiarach i liczbie kondygnacji budynków, uzyskiwane na drodze klasyfikacji multisensorycznych zbiorów danych teledetekcyjnych.

Przytoczone w artykule przykłady pokazały przydatność opracowanej mapy rozmieszczenia ludności i uzyskiwanych w oparciu o nią produktów pochodnych w różnorodnych analizach przestrzennych. Nie wyczerpują one oczywiście możliwości jej zastosowań. Ich wielość i różnorodność potwierdza znaczenie tego rodzaju danych, jako źródła informacji przydatnej z punktu widzenia różnych branżowych zastosowań systemów informacji geograficznej. Należy w tym miejscu podkreślić, iż przedstawiona metodyka umożliwia pozyskanie tego typu danych w oparciu o ogólnodostępne informacje.

### Literatura

Adamczyk J., 2006: Próba oceny oraz optymalizacji rozmieszczenia placówek oświatowych w oparciu o analizy GIS i mapę rozmieszczenia ludnosci, praca magisterska pod opieką T. Pirowskiego, AGH, niepublikowana.

Bielecka E., Kuczyk A., Witkowska E., 2005: Modelowanie powierzchni statystycznej przedstawiającej gęstość zaludnienia w Polsce przy pomocy metody dazymetrycznej, *Roczniki Geomatyki* t. 3, z. 2: 9-16, PTIP, Warszawa.

Bielecka E., 2005: A Dasymetric population density map of Poland, Materiały XXII Międzynarodowego Kongresu Kartograficznego, 11-16 lipca A Coruna, Hiszpania.
Drzewiecki W., Hejmanowska B., Pirowski T., 1999: Przykładowe analizy przestrzenne w oparciu o komputerowy atlas Województwa Krakowskiego KAWK, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*,vol. 9.
Eicher, C. L.; Brewer C. A., 2001: Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation, *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 28, No 2: 125-138, April 2001.
Gallego F. J, 2010: A population density grid of the European Union, Population and Environment, vol. 31, No 6: 460-473, July 2010.
Gallego F. J., Peedell S., 2001: Using CORINE Land Cover to map population density. Towards agri-environmental indicators. EEA Topic report 6/2001: 94-105.
Goleń J., Ostrowski W, 1994, Metoda dazymetryczna – rys historyczny, *Polski Przegląd Kartograficzny* 26(1): 3-16.
Harvey J. T., 2002: Population Estimation Models Based on Individual TM Pixels. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 68, No. 11: 1181-1192.
Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2006: GIS. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
Maantay J. A., Maroko A. R., Herrmann Ch., 2007: Mapping Population Distribution in the Urban Environment: The Cadastral-based Expert Dasymetric System (CEDS), *Cartography and Geographic Information Science*, 34(2):77-102. Special issue: *Cartography* 2007: Reflections, Status, and Prediction.
Mennis, J., Hultgren, T., 2006: Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation. *Cartography and Geographic Information Science*, 33(3): 179-194.
Pirowski T., Drzewiecki W., 2000: Wybrane problemy modelowania przestrzennych interakcji zachowań konsumentów z wykorzystaniem GIS, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 10, Kraków – Kalwaria Zebrzydowska.
Robinson A. H., Sale R. D., Morrison J. 1988: Podstawy kartografii. PWN, Warszawa.
Sleeter, R., Gould, M. L., 2007: Geographic information system software to remodel population data using dasymetric mapping methods: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 11-C2, 15 p.
Sleeter, R., N. Wood, 2006: Estimating daytime and nighttime population density for coastal communites in Oregon: Urban and Regional Information Systems Association, Annual Conference, Proceedings, Vancouver, BC, September 26-29, 2006.
Tapp A., 2010: Areal Interpolation and Dasymetric Mapping. Methods Using Local Ancillary Data Sources. *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 37, No. 3: 215-228.
Ural S., Hussain E., Shan J., 2011: Building population mapping with aerial imagery and GIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*,13: 841-852.
Wilson, A.G., 2000: Complex Spatial Systems: The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis. Pearson Education Limited, Harlow.

## *Abstract*

*The paper presents an original method for developing a population density map for the city of Cracow. In the process of making the map there were used aerial orthophotomaps and some generally accessible data about the population within the constituencies in Cracow. Additionally, the city map and, in some districts, the base maps were used. The mentioned materials provided the basis to establish the constituency boundaries. They were obtained in the process of vectorisation of the aerial orthophotomap. The interpretation of orthophotomap allowed to derive detailed information about the location and types of accommodation (detached houses, tenement houses, blocks of flats).*

*Dasymetric method was applied to obtain the results of spatial distribution of population density. The starting point was the real number of people registered in each constituency. The distribution of population within each of these areas was estimated on the basis of an iterative process of establishing proportions among different types of accommodation. Such a population map was processed into a raster map (25m x 25m).*

*The paper also presents possible uses of this type of information to produce various spatial analyses in such fields as public transport, crises management, urban planning, location planning and geomarketing.*

dr inż. Tomasz Pirowski
pirowski@uci.agh.edu.pl
tel. 12 617 22 88

dr inż. Wojciech Drzewiecki
drzewiec@agh.edu.pl
tel. 12 617 22 88