

acta universitatis łodziensis

FOLIA GEOGRAPHICA SOCIO-OECONOMICA

14

GIS W NAUCE

pod redakcją
Iwony Jażdżewskiej i Jacka Urbańskiego



WYDAWNICTWO
UNIwersYTETU
ŁÓDZKIEGO

acta
universitatis
lodziensis



WYDAWNICTWA
UNIwersytetu
ŁÓDZKIEGO

acta universitatis łodziensis

FOLIA GEOGRAPHICA SOCIO-OECONOMICA

14

GIS W NAUCE

pod redakcją
Iwony Jażdżewskiej i Jacka Urbańskiego



WYDAWNICTWO
UNIwersytetu
ŁÓDZKIEGO

ŁÓDŹ 2013

REDAKCJA NAUKOWO-DYDAKTYCZNA
„FOLIA GEOGRAPHICA SOCIO-OECONOMICA”

Mariusz Kulesza (redaktor), *Iwona Jażdżewska* (z-ca redaktora), *Marcin Wójcik* (z-ca redaktora)
Tomasz Figlus (sekretarz), *Marek Sobczyński* (redaktor tematyczny)
Piotr Cybula (redaktor statystyczny), *Maria Magdalena Nowakowska* (redaktor językowy)
Stanisław Mordwa, *Agnieszka Rochmińska*, *Andrzej Rykała*

RADA REDAKCYJNA

Stanisław Liszewski – Uniwersytet Łódzki, *Tadeusz Marszał* – Uniwersytet Łódzki
Andrzej Matczak – Uniwersytet Łódzki, *Jolanta Jakóbczyk-Gryszkiewicz* – Uniwersytet Łódzki
Marek Sobczyński – Uniwersytet Łódzki, *Andrzej Suliborski* – Uniwersytet Łódzki
Tomasz Kaczmarek – Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Remus Anghel – Romanian Institute for Research on National Minorities, Cluj (Rumunia)
Annegret Haase – Centrum Badań Środowiska im. H. von Helmholtza, Lipsk (Niemcy)
Rene Matlovič – Uniwersytet w Preszowie (Słowacja), *Bohdan Posatsky* – Uniwersytet Lwowski (Ukraina), *Tadeusz Siwek* – Uniwersytet Ostrawski (Czechy), *Sokol Axhemi* – Uniwersytet w Tiranie (Albania), *Vladimir Székely* – Słowacka Akademia Nauk, Bratysława (Słowacja)
Alessandro Vitale – Uniwersytet Bicoca, Mediolan (Włochy)

RECENZENCI

Stanisław Białousz, *Paweł Churski*, *Mariusz Kistowski*, *Jacek Kozak*, *Elżbieta Lewandowicz*
Przemysław Śleszyński, *Bogumił Szady*, *Piotr Werner*, *Zbigniew Zwoliński*

EDYCJA TEKSTU, SKŁAD I ŁAMANIE

Anna Araszkiewicz

MAPY i RYSUNKI

Anna Wosiak

OKŁADKĘ PROJEKTOWAŁA

Barbara Grzejszczak

Wydrukowano z gotowych materiałów dostarczonych do Wydawnictwa UŁ

ISSN 1508-1117

© Copyright by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2013
Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.06429.13.0.Z

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego
90-131 Łódź, ul. Lindleya 8
www.wydawnictwo.uni.lodz.pl
e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl
tel. (42) 665 58 63, faks (42) 665 58 62
Druk i oprawa: Quick Druk

Iwona Jazdzewska, Jacek Urbański

GIS W NAUCE

Artykuł prezentuje podejście świata nauki do roli, jaką odgrywa GIS w jej ramach. Przedstawia dyskusję, jaka miała miejsce w 1993 r. w ramach debaty GIS-L, jej najważniejsze wnioski zaprezentowane w pracy D.J. Wrighta, M.F. Goodchilda i J.D. Proctora (1997), a także przyszłość Systemów Informacji Geograficznej widzianą oczami M. Goodchilda (2010). Na tle tych rozważań autorzy przedstawili własne doświadczenia związane z GIS w polskiej nauce oraz podejście do GIS jako nauki.

Słowa kluczowe: *GIS, GISscience, Polska*

1. Wstęp

Pierwszy System Informacji Geograficznej (ang. *GIS*) powstał na potrzeby rządu kanadyjskiego w 1963 r. do określenia zasobów naturalnych Kanady i ich przyszłego wykorzystania, a kolejny dla Amerykańskiego Urzędu Statystycznego do przeprowadzenia spisu ludności w 1970 r. w Stanach Zjednoczonych. Nauka włączyła się w rozwój GIS równolegle z jego praktycznym zastosowaniem, dzięki utworzeniu w 1963 r. Harvardzkiego Laboratorium Grafiki Komputerowej i Analiz Przestrzennych. Jej główny rozwój nastąpił w latach 80. XX w., pojawiło się wówczas wiele publikacji z tego zakresu o światowym znaczeniu, m.in. D.F. Marbl'a, H. Calkinsa, D. Peuqueta (1984), P.A. Burrougha (1986), D.J. Maguire'a, M.F. Goodchilda, D.W. Rhinda (1991) oraz pierwsze czasopismo „International Journal of Geographical Information Systems” (1987) redagowane przez Terrego Coppocka¹, które rozpoczęły naukowe podejście do zagadnień GIS (Longley i in. 2005).

W 2010 r. minęło 20 lat, kiedy po raz pierwszy użyto terminu *geographic information science* i powstało amerykańskie National Center for Geographic Information and Analysis, finansowane przez National Science Foundation. Okres ten podsumował M. Goodchild (2010) w artykule pt. *Twenty years of progress: GIScience in 2010*, przypominając w nim początki GIS, osiągnięcia naukowe i instytucjonalne z tego okresu oraz jego perspektywy rozwoju, a także obrady *4th International Symposium on Spatial Data Handling*, które miały

¹ Obecnie „International Journal of Geographical Information Science”.

miejsce w 1990 r. i w czasie których po raz pierwszy sformułował termin „GISscience”. Przypomniał on może najbardziej kompleksowe podejście do definiowania GIScience, które zostało opublikowane przez Davida Marka w 2003 r. Była to definicja przyjęta przez Konsorcjum Uniwersyteckie Geographic Information Science: „The development and use of theories, methods, technology, and data for understanding geographic processes, relationships, and patterns.” W raporcie The National Science Foundation, będącym wynikiem warsztatów odbywających się w 1999 r., zdefiniowano GIScience jako: „podstawową dziedzinę badań naukowych, która zmierza do przedefiniowania pojęć geograficznych oraz ich zastosowania w kontekście systemów informacji geograficznej” (Mark 2003).

2. Rola GIS w nauce

Dyskusja nad tym, czy GIS jest pełnoprawną dyscypliną naukową trwa na całym świecie od wielu lat, a jej konkluzje można znaleźć w artykule z 1997 r. o znamienym tytule *Demystifying the persistent ambiguity of GIS as 'tool' versus 'science'*² autorstwa Dawna J. Wrighta, Michaela F. Goodchilda i Jamesa D. Proctora. W dużej mierze poświęcony jest on debacie GIS-L, która odbyła się 1993 r. za pomocą korespondencji e-mailingowej, umieszczonej na specjalnym serwerze, podczas której użytkownicy wypowiadali się na ten temat. Ich stanowisko było różne, ale koncentrowało się wokół trzech zagadnień (Wright i in. 1997):

1. GIS jako narzędzie, z którego korzysta się podczas badań naukowych.
2. Rozwój narzędzi – głównie informatycznych – wykorzystywanych w GIS.
3. GIS jako nauka.

Pierwsze ma miejsce w sytuacji, gdy GIS jest wykorzystywany na pewnym etapie badania naukowego, w którym niezbędne są dane przestrzenne, a ich analiza jest wykonana za pomocą konkretnego oprogramowania i sprzętu. GIS może być jednym z wielu narzędzi wykorzystywanych podczas rozwiązania problemu naukowego i ma go jedynie przyspieszyć. Nie jest to narzędzie uniwersalne, jak np. kalkulator czy edytor tekstu, które mogą służyć wielu dziedzinom. GIS jest narzędziem, które może być wykorzystywane w każdej dyscyplinie badającej zjawiska występujące na Ziemi, dlatego jest szczególnie przydatny w geografii (Wright i in. 1997). Dyskutanci uważali, że program komputerowy nie może być opisany jako nauka, a raczej jako narzędzie lub technika, czyli należy on do dziedziny inżynierii, a nie nauki. Jedynym wyjątkiem, w którym dyskutanci widzieli w GIS naukę, było jego wykorzystanie w dyscyplinie, jaką jest geografia (Wright i in. 1997).

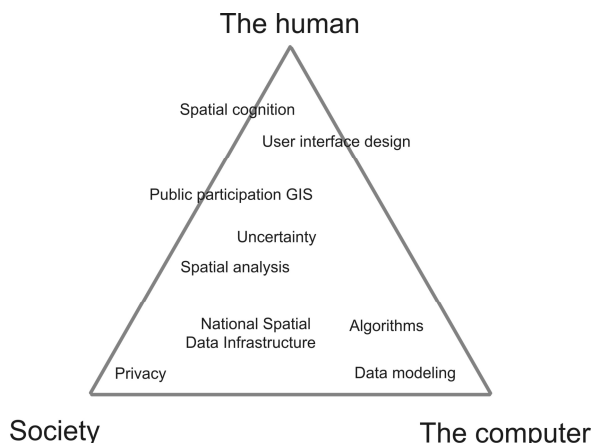
² Artykuł dostępny online: <http://dusk.geo.orst.edu/annals.html>.

W poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie, czy GIS jest narzędziem czy nauką, pojawiło się w dyskusji GIS-L kolejne pośrednie stanowisko – wskazano na rozwój informatyczny narzędzi GIS. Jego twórcami są specjaliści różnych dyscyplin, w tym: informatyki, matematyki i geografii. Forum dyskutantów wskazało na unikatowe zdolności geografów m.in.: doskonałe zrozumienie pojęć geograficznych, metod analizy przestrzennej oraz umiejętność integracji i zrozumienia wielu procesów wpływających na różnorodne zjawiska na powierzchni Ziemi, które są przydatne w tworzeniu oprogramowania w ramach GIS. Przy okazji omawiania tej kwestii wskazywano na zagadnienia społeczne związane z GIS i rozwojem jego narzędzi. Chodziło m.in. o społeczne skutki powszechnie przyjętych narzędzi, których aplikacje obejmują pełny zakres działalności człowieka, np. gospodarki, polityki. Jest to zagadnienie skomplikowane, które może obejmować wszystkie skutki informatyzacji społeczeństwa, niezależnie od celu, jaki postawili sobie twórcy Systemów Informacji Geograficznej (Wright i in. 1997).

Największe kontrowersje wzbudzało podejście do GIS jako nauki, czy jest mu bliżej do informatyki czy do geografii. Na wstępie tej części dyskusji część uczestników forum GIS-L stawiało pytania „Co to jest nauka?”; „Czy istnieją hipotezy i teorie, które mogą być stworzone i przetestowane przez GIS?”; Dyskutanci GIS-L wskazywali, że związki GIS z geografiami są najsilniejsze, a GIS nie jest jedynie subdyscypliną informatyki. Jak wskazał D. Bartlett (1993), wielu pionierów GIS było geografami (np. Coppock, Rhinda, Bickmore i Unwin z Wielkiej Brytanii, Tomilson, Garrison, Berry, Tobler, Marble z Ameryki Północnej) i że geografowie bardziej niż specjaliści innych dyscyplin potrafią zidentyfikować, zrozumieć relacje przestrzenne oraz technologie komputerowe (Wright i in. 1997).

Dyskusja na temat GIS jako nauki ma szerszy, filozoficzny kontekst i wpisuje się w długotrwałą debatę na temat różnych podejść geografii jako nauki. Są wśród nich pozytywizm, krytyczny racjonalizm Karla Poppera z 1959 r. oraz indywidualne, humanistyczne ujęcie nauki R.J. Johnstona z 1986 r. Debatą wynikająca z niejednoznaczności GIS jako nauki wynika również z kontekstu szerszych trendów w nauce i społeczeństwie. GIS wpisuje się w tradycyjny nurt nauki uwzględniający matematyczne założenia, testowanie hipotez, generalizacje oraz bardziej ogólne podejście poszukiwania wiedzy (Wright i in. 1997).

W podsumowaniu dwudziestolecia istnienia GIS jako nauki M. Goodchild (2010) przypomniał początki rozwoju Systemów Informacji Geograficznej i wskazał, w którym kierunku podążają. Jako przykład konceptualizacji GIS jako nauki wskazał zaproponowane przez amerykańskie NCGIA (*National Center for Geographic Information and Analysis*) proste ramy koncepcyjne, które pozwolą badaczom podejmować tematy. Każdy temat badawczy był postrzegany jako połączenie trzech obszarów w różnych proporcjach: komputera, użytkownika i społeczeństwa (rys. 1).



Rys. 1. Konceptualizacja GIScience przez NCGIA (*US National Center for Geographic Information and Analysis*) w 1996 r.

Źródło: M. Goodchild (2010, s. 7)

Z kolei M. Goodchild (2010) widzi przyszłość GIS w pięciu aspektach związanych z szybkim rozwojem technologii:

1. GPS i Galileo, telefony komórkowe dają możliwość monitorowania pozycji pewnych typów obiektów w czasie rzeczywistym. Może wystąpić potrzeba zarządzania tym ogromem informacji przestrzennej, ponadto będą wymagane nowe metody analizy, modelowania i wizualizacji oraz należyte wykorzystanie takich informacji, np. w czasie sytuacji kryzysowych.

2. Coraz bardziej powszechna dostępność obywateli do informacji przestrzennej, świadomości potęgi GIS wśród ogółu społeczeństwa powodują zmianę podejścia do tego zagadnienia. Powstają grupy społecznościowe, które same zasilają system danymi w ramach wolontariatu i mogą być niezwykle przydatne w sytuacjach zagrożenia, np. katastrof.

3. Rozwój technologii jest tak szybki, że oprócz wspomnianych wcześniej można spodziewać się wzrostu liczby różnego typu urządzeń, czujników zarówno statycznych, jak i mobilnych do monitorowania skażeń, sieci transportowej, ognisk chorobowych i innych. Informacje przez nie zebrane mogą być analizowane na poziomie lokalnym i globalnym. Powstają pytania o metody i zakres ich archiwizowania, udostępniania, a następnie analizy, modelowania i upowszechniania.

4. Pomimo wielu postępów w badaniach nad trzecim wymiarem przestrzennym i czasowym, GIS pozostaje głównie dwuwymiarowe, gdyż jego wyniki są przedstawiane w formie wydruku. Przyszłość może należeć do włączenia kolejnych wymiarów do analiz GIS.

5. Zarówno GIS, jak i GISciene należy włączyć do dyskusji o roli edukacji. Rozwój nowych technologii powoduje, że nawet 10-letnie dzieci potrafią posłu-

giwać się GoogleMaps. Dlatego do ich edukacji jest potrzebna grupa dobrze przygotowanych specjalistów, która nauczy je nie tylko posługiwania się narzędziami GIS, ale i krytycznego myślenia.

Nie są to zapewne wszystkie możliwości rozwoju nowych kierunków GIS, gdyż trudno przewidzieć, jakie rozwiązanie technologiczne będą „motorem” rozwoju GIS, należy je jednak śledzić i wykorzystywać (Goodchild 2010).

3. GIS w polskiej geografii

Pierwsze prace z zakresu fotogrametrii cyfrowej oraz zastosowania informatyki w geodezji ukazały się w latach 70. XX w. (Gaździcki 1975, Jachimski i in. 1999). W Polsce rozwój Systemów Informacji Geograficznej przypada na początek lat 90. ubiegłego wieku. Wynikło to z dwóch powodów politycznego i cywilizacyjnego. Odgródzenia polskiej nauki „żelazną kurtyną” od nowości technicznych i po części naukowych spowodowało, że przepływ informacji naukowej był utrudniony, a rozwiązania techniczne wykorzystywały potencjał Polski i krajów w ramach RWPg. Kiedy w Stanach Zjednoczonych w pierwszej połowie lat 80. XX w. firmy ESRI, Intergraph, MapInfo upowszechniały swoje pierwsze produkty, w tym czasie w Polsce powszechnie stosowano komputery typu ODRA, RIAD, produkowane i użytkowane w krajach socjalistycznych (z czytnikiem kart dziurkowanych). Dopiero pod koniec lat 80. i na początku 90. ubiegłego wieku rozwój sprzętu komputerowego i oprogramowania – pojawienie się pierwszych mikrokomputerów typu PC – umożliwił ich wykorzystanie przez niewielką grupę polskich badaczy. Przede wszystkim byli oni postrzegani jako osoby o zainteresowaniach informatyczno-technicznych, które inaczej niż ówcześni polscy kartografowie opracowywali mapy. Pracowali w różnych ośrodkach akademickich i szukali własnej naukowej drogi z wykorzystaniem GIS, równocześnie propagując go w działalności dydaktycznej. Już w 1990 r. geodeta J. Gaździcki wydał podręcznik pt. *Systemy informacji przestrzennej*, a w następnych latach geografowie wydawali kolejne podręczniki akademickie służące pomocą w zagłębianiu tej nowej dla nich dziedziny nie tylko studentom, ale i pracownikom naukowym geografii (Werner 1992, Iwańska, Kistowski 1997, Kozak 1997, Urbański 1997, Widacki 1997, Magnuszewski 1999³). Zważywszy na opóźnienia cywilizacyjne, jakie miała Polska po 1989 r. na początku transformacji ustrojowej, należy z uznaniem patrzeć na pierwsze prace dydaktyczne i równoległe z nimi prowadzone badania naukowe z wykorzystaniem GIS.

Pierwsze prace naukowe z lat 90. XX w. były poświęcone przybliżeniu społeczności akademickiej w Polsce GIS i możliwości jego wykorzystania (np.

³ Równoległe z pracami geografów pojawiały się publikacje geodetów.

Baranowski 1991, Kistowski 1993, Werner 1993a, b, Paszczyk i in. 1994, Fiejdasz, Widacki 1995, Hencz (obecnie Jażdżewska) 1995, Urbański 1997), a kolejne wykorzystywały Systemy Informacji Geograficznej w badaniach naukowych (Werner, Prokop 1999). Ich przeglądu pod znamienym tytułem *Systemy informacji geograficznej – niechciane dziecko czy nadzieja dla geografii polskiej? Geografia a GIS w Polsce w latach 1990–1999* dokonał M. Kistowski (2001).

Na przełomie XX i XXI w. coraz więcej prac geograficznych wykorzystujących Systemy Informacji Geograficznej ukazywało się drukiem, lecz nie zawsze ich autorzy umieszczali GIS w tytule, częściej w słowach kluczowych. Fakt nieumieszczenia akronimu GIS w tytule może świadczyć o tym, że był on traktowany jako narzędzie wykorzystywane podczas procedury badawczej. Natomiast jego podkreślenie w tytule oznacza kompleksowe podejście do rozwiązania problemu naukowego za pomocą GIS. Niekiedy autorzy – zamiast wprost – w sposób pośredni wskazywali na szerokie wykorzystanie metod numerycznych lub matematycznych w tytułach prac na stopień (Jażdżewska 1999, 2008). Dlaczego w tytułach pierwszych polskich publikacji brakowało akronimu GIS? Prace naukowe – zwłaszcza na stopień – wymagają oceny kompetentnych samodzielnych pracowników nauki z danej dyscypliny, a do niedawna w Polsce brakowało recenzentów, którzy reprezentowali naukowe podejście do GIS, a zatem młodzi adepci nauki nie mogli liczyć na kompetentnych recenzentów z tytułem profesora.

W polskich uczelniach dyskusja nad rolą GIS w nauce trwa, rozmowy na ten temat toczą się podczas spotkań naukowych w ramach subdyscyplin geografii oraz przy próbach uruchomienia kierunków studiów na polskich uczelniach, np. geoinformacja. Uczestnicy VI i VII Forum Geografów, które miały miejsce w 2010 r. w Krakowie i w 2011 r. w Poznaniu, wymieniali uwagi na temat roli GIS w nauczaniu i prezentowali wyniki swoich badań naukowych. Temat GIS w trakcie obrad Forum Geografów był odbierany – niestety przez większość uczestników – jako zagrożenie, a nie wzmocnienie geografii jako nauki. Po dziesięciu latach słowa M. Kistowskiego z 2001 r. „Systemy informacji geograficznej – niechciane dziecko czy nadzieja dla geografii polskiej?” były nadal aktualne. Tylko nieliczni uczestnicy Forum, np. prof. Z. Zwoliński, prof. I. Jażdżewska, prof. G. Węławowicz, byli przekonani o jego naukowej przyszłości, większość dyskutantów widziała w nim jedynie narzędzie, a proponowany kierunek studiów geoinformacja nie uzyskał akceptacji.

Nawiązując do stanowiska, jakie mieli geografowie w debacie GIS-L (Wright i in. 1997), można wskazać podobne trzy podejścia do tego problemu przez polskich geografów⁴. Po pierwsze postrzegają oni GIS jako narzędzie. Wielu polskich geografów – na pewnym etapie badań – wykorzystuje dane prze-

⁴ Warto by podjąć ogólnopolską dyskusję na ten temat.

strzenne, np. ortofotomapy, mapy wektorowe i inne, które zazwyczaj wymagają do ich zarządzania i analizy oprogramowania należącego do Systemu Informacji Geograficznej. W tym wypadku GIS jest dla nich narzędziem bardziej wyrażanym niż kalkulator, które ma głównie opracować zebrane dane i przyspieszyć proces badawczy. W tym podejściu polscy badacze, podobnie jak ich zagraniczni koledzy, wykorzystują znane metody ilościowe opracowane w formie narzędzi (funkcji w oprogramowaniu GIS) lub zlecają informatykom zaprojektowanie nowych algorytmów i programów. Rzadko zdarza się, aby – w takim podejściu do GIS jako narzędzia – osoba prowadząca badania samodzielnie rozwijała oprogramowanie z zakresu GIS. Zazwyczaj tworzone są zespoły badawcze, w skład których wchodzi programiści-informatycy, lub zadanie powierza się zewnętrznej firmie.

Po drugie, jak wspomniano wcześniej, współpraca geografów z informatykami prowadzi do innego spojrzenia na rolę GIS w nauce, efektem czego jest rozwój oprogramowania będącego elementem GIS. Jest to niezwykle ważna rola, w której geografowie inspirować rozwój Systemu Informacji Geograficznej, ale projekty tworzą informatycy. Pojawianie się osób, które mają wykształcenie i doświadczenie w obydwu dziedzinach, powstanie nowych kierunków studiów geoinformatyki, geomatyki czy geoinformacji, powoduje coraz szybszy rozwój oprogramowania GIS. Trzeba jednak przyznać, że rozwój komercyjnych rozwiązań w tej dziedzinie jest szybszy niż rozwój badań naukowych proponujących nowe aplikacje komputerowe.

Po trzecie GIS jako nauka. Autorzy artykułu od kilkunastu lat „uprawiają” GIS i uważają, że warto, aby większa liczba polskich badaczy włączyła się do światowego nurtu GISscience. Skoro poszukuje się odpowiedzi na pytanie, czy GIS jest nauką, należałoby na wstępie zastanowić się czy istnieją teorie i hipotezy, które mogą być stworzone i przetestowane w ramach GIS.

Autorzy są przekonani, że GIS może być traktowany przez naukowca jako uniwersalny warsztat do stawiania i weryfikacji hipotez odnoszących się do danych przestrzennych. Dotyczy to sytuacji, gdy System Informacji Geograficznej służy do rozwiązania problemu naukowego w sposób kompleksowy. Począwszy od postawienia hipotezy badawczej, poprzez zebranie danych źródłowych, ich opracowanie, analizę przestrzenną, weryfikację hipotezy aż po wnioskowanie, proces badawczy odbywa się w ramach Systemu Informacji Geograficznej. Można uznać, że metoda GIS (rys. 2) powinna uwzględniać wszystkie wymienione etapy, a inne metody badań naukowych (np. analizy historyczne, badania społeczne, badania chemiczne itd.) mogą być jej uzupełnieniem, a nie metodą wiodącą.

W praktyce cały projekt naukowy może być zrealizowany za pomocą warsztatu tworzonego przez GIS. Dogłębna znajomość danego problemu badawczego, uzyskana w rezultacie zapoznania się z aktualnym stanem wiedzy, i wstępna analiza potrzebnych danych pozwalają na zbudowanie hipotezy badawczej.



Rys. 2. Konceptualizacja GIS jako nauki

Źródło: opracowanie własne

Dane mające lokalizację odznaczają się swoistą specyfiką, polegającą na różnorodności rodzajów danych i ich formatów, bardzo dużą liczebnością zbiorów, wzajemną zależnością przestrzenną oraz wielowymiarowością. Są one wykorzystywane w różnych dziedzinach i specjalnościach naukowych. Zakres dziedzin i problemów nie ogranicza się do nauk przyrodniczych i społecznych, ale obejmuje także nauki humanistyczne czy ekonomiczne. Analityczna moc Systemu Informacji Geograficznej polega na gromadzeniu w nich różnorodnych metod analizy danych przestrzennych rozwijanych w różnych dziedzinach naukowych w postaci gotowych do użycia narzędzi, spełniających wymagania stawiane naukowym sposobom analizy. Dzięki temu badacz ma do wyboru szerokie spektrum metod, które może wykorzystać w swojej pracy. Uniwersalny sposób zapisu danych i wspólna platforma powodują, że metody te nie są ograniczone pod względem ich użycia do wąskiego kręgu specjalistów z danej dziedziny, ale dostępne dla wszystkich użytkowników GIS. Umożliwia to nowatorskie stosowanie metod pochodzących z innych dziedzin do rozwiązania problemu badawczego o aspektach przestrzennych zachodzących na Ziemi.

Kolejnym etapem jest wybór metod potrzebnych do udowodnienia postawionej na wstępie hipotezy. Ze względu na przestrzenny charakter danych, GIS stanowi właściwe miejsce do pozyskania potrzebnych metod. Ich użycie daje rezultaty, które następnie są poddawane dyskusji. Dodatkowo wszystkie wykresy, rysunki i mapy ilustrujące rozwiązanie problemu mogą być tworzone w GIS.

GIS jest warsztatem otwartym do wprowadzania i rozwijania nowych metod analizy. Na obecnym etapie rozwoju systemy te pozwalają nie tylko na integrację z zewnętrznymi modelami procesów przyrodniczych i społecznych, ale także stanowią środowisko, w którym te modele mogą być tworzone. Różne narzędzia dostępne w systemie, z punktu widzenia osoby tworzącej nowy model lub metodę analizy, mogą być traktowane jako biblioteki z funkcjami służącymi do geoprzetwarzania dostępnymi z poziomu tworzenia programu komputerowego będącego implementacją modelu. W danym środowisku programistycznym funkcje te mogą być łączone z funkcjami innych bibliotek, np. numerycznych i statystycznych, co daje praktycznie nieograniczone możliwości.

Przykładem prac, które mogą spełniać założenia GIScience, są artykuły zebrane w niniejszym tomie. Prezentują one różnorodną tematykę – od geografii fizycznej przez społeczno-ekonomiczną po geografie historyczną. Rozwiązywane problemy mają szeroki kontekst naukowy, dobrze opisane źródła i wyczerpująco opisany warsztat, w którym wykorzystano zarówno własne, jak i komercyjne oprogramowanie. Ich lektura wskazuje na duże zaangażowanie autorów, wręcz pasję w uprawianiu GIS. Są oni częścią młodego i średniego pokolenia geografów polskich, którzy będą rozwijać GIS jako naukę.

Literatura

- Baranowski M., 1991, *Rozwój kartografii komputerowej i systemów informacji geograficznej w Polsce na tle tendencji światowych*, „Polski Przegląd. Kartograficzny”, 23, (1–2), s. 8–13.
- Bartlett D., 1993, *Re: GIS as a Science (Discussion)*. *Geographic Information Systems Discussion List* (Online) November 6:
Available e-mail: GIS-L@UBVM.CC.BUFFALO.EDU.
- Burrough P.A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for land resource assessment*, Oxford University Press, Oxford.
- Burrough P.A., Frank A.U., 1995, *Concepts and paradigms in spatial information: Are current Geographical Information Systems truly generic?*, „International Journal of Geographical Information Systems”, 9, s. 101–116.
- Fiejdasz W., Widacki W. (red.), 1995, *GIS dla obszarów chronionych*, Instytut Geografii UJ, Kraków.
- Gaździcki J., 1975, *Informatyka w geodezji i kartografii*, PPWK, Warszawa.
- Gaździcki J., 1990, *Systemy informacji przestrzennej*, PPWK, Warszawa.

- Goodchild M., 2010, *Twenty years of progress: GIScience in 2010*, „Journal of Spatial Information Science”, 1, s. 3–20.
- Hencz I., 1995, *Mapa numeryczna terenu. Materiały z konferencji pt. Zadania badawcze geografii społecznej i ekonomicznej w obliczu transformacji ustrojowej*, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław–Szklarska Poręba, s. 121–125.
- „International Journal of Geographical Information Systems”, 1987.
- Jachimski J., Mierzwa W., Mularz S., Pyka Krystian, 1999, *Cyfrowa fotogrametria i teledetekcja w Polsce*:
http://home.agh.edu.pl/~zfiit/publikacje_pliki/Jachimski_Mierzwa_Mularz_Pyka_1999.pdf.
- Jażdżewska I., 1999, *Wykorzystanie programu MapInfo do analizy przestrzennej*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Seria Konferencja Multimedia nr 1 (zapis na CD), Wrocław.
- Jażdżewska I., 2008, *Przemiany miejskiej sieci osadniczej w Polsce w świetle metod matematycznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Johnston R.J., 1986, *Philosophy and human geography: an introduction to contemporary approaches*, Edward Arnold, London.
- Kistowski M., 1993, *Cyfrowe bazy informacji geograficznych*, „Ekobałtyk”, 11, s. 22–23.
- Kistowski M., 2001, *Systemy informacji geograficznej – niechciane dziecko czy nadzieja dla geografii polskiej? Geografia a GIS w Polsce w latach 1990–1999*, „Przegląd Geograficzny”, 73 (1–2), s. 143–162.
- Kistowski M., Iwańska M., 1997, *Systemy Informacji Geograficznej. Podstawy techniczne i metodyczne. Przegląd pakietów oprogramowania i zastosowań w badaniach środowiska przyrodniczego*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Kozak J., 1997, *Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej – ćwiczenia*, Instytut Geografii UJ, Kraków.
- Longley P., Goodchild M.F., Maguire D., Rhind D., 2005, *Geographic Information Systems and science*, Jon Wiley & Sons, Chichester.
- Marble D.F., Calkins H.W., Peuquet D.J., 1984, *Basic readings in geographic information systems*, SPAD Systems, Williamsville.
- Mark D.M., 2000, *Geographic Information Science: Critical issues in an emerging cross disciplinary research domain*, „Journal of the Urban and Regional Information Systems Association”, 12 (1), s. 45–54.
- Mark D.M., 2003, *Geographic information science: Defining the field*, [w:] Duckham M., Goodchild M.F., Worboys M.F. (red.), *Foundations of Geographic Information Science*, Taylor and Francis, New York, s. 1–18.
- Maguire D.J., 1991, *An overview and definition of GIS*, [w:] Maguire D.J., Goodchild M., Rhinds D. (red.), *Geographical Information Systems: Principals and applications*, Longman, London, s. 9–20.
- Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W., 1991, *Geographical Information Systems: Principals and applications*, Longman, London.
- Magnuszewski A., 1999, *GIS w geografii fizycznej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Paszczyk J., Wiśniewski M., Wlaz P., 1994, *System gromadzenia numerycznej informacji o terenie – NIT*, „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska”, sec. B, 49 (25), s. 355–363.
- Urbanski J., 1997, *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Werner P., 1992, *Wprowadzenie do geograficznych systemów informacyjnych*, Wydawnictwo WGiSR UW, Warszawa.
- Werner P., 1993a, *Mapa numeryczna a techniki informatyczne. Materiały Seminarium nt. „Mapa numeryczna. Systemy informacji przestrzennej”*, Centrum Promocji Informatyki, Międzynarodowe Targi Poznańskie, Infosystem, Poznań.
- Werner P., 1993b, *Konstrukcja baz danych przestrzennych i atrybutów w geograficznych systemach informacji. Materiały Wrocławskiej Jesiennej Szkoły Kartograficznej*, Instytut Geografii UW, Wrocław.
- Werner P., Prokop P., 1999, *Zastosowania systemów informacji geograficznej w geografii polskiej*, [w:] Domański B., Widacki W. (red.), *Geografia polska u progu trzeciego tysiąclecia*, t. 4, Instytut Geografii UJ, Kraków, s. 275–291.
- Widacki W., 1997, *Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej*, Instytut Geografii UJ, Kraków.
- Wright D.J., Goodchild M.F., Proctor J.D., 1997, *Demystifying the persistent ambiguity of GIS as 'tool' versus 'science'*, „Annals of the Association of American Geographers”, 87 (2), s. 346–362.

GIS IN SCIENCE

The paper demonstrates how the role of GIS is understood in science. It presents the discussion, known as the GIS-L debate, which took place in 1993. The most important results of this discussion were presented in Wright, Goodchild and Proctor (1997). Present understanding of the future of GIS has been given by Goodchild (2010). Against the background of the results of these discussions the authors present their own experience in using GIS and show how GIS science is understood in Poland.

Keywords: *GIS, GISscience, Poland*

Dr hab. Iwona Jażdżewska, prof. UŁ
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji
e-mail: iwona.jazdzewska@gmail.com

Dr hab. Jacek Urbański, prof. UG
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Centrum GIS
e-mail: cgisju@ug.edu.pl

Bogumił Szady

CZASOWO-PRZESTRZENNE BAZY DANYCH JAKO NARZĘDZIE W GEOGRAFII HISTORYCZNEJ

Artykuł odnosi się do trudności w praktycznym zastosowaniu czasowo-przestrzennych baz danych w badaniach geograficzno-historycznych. Praktyka badawcza, oprócz bezsprzecznych zalet włączenia narzędzi bazodanowych do prac historycznych, przynosi także istotne trudności związane z niepewnością, niepełnością oraz brakiem precyzji informacji historycznych. Cechy te, a także subiektywizm (interpretacyjność) wnioskowania historycznego, powinny być uwzględniane w budowaniu historycznych systemów informacji geograficznej. Gromadzone w ten sposób informacje historyczne stają się łatwo dostępne do wtórnej interpretacji (schemat źródłowy). Schemat krytyczny bazy danych, konstruowany wspólnie przez historyków, ontologów inżynierskich oraz specjalistów od modelowania danych, powinien uwzględniać zarówno „wydarzeniowość”, jak i „procesowość” zjawisk historycznych, a także skomplikowaną charakterystykę obiektów czasowo-przestrzennych (spór między endurantystami i perdurantystami).

Słowa kluczowe: *historical GIS, czasowo-przestrzenne bazy danych, geografia historyczna*

1. Wstęp. Wokół pojęć

Rzeczywistość historyczna, ale także współczesna, jest wielowarstwowa oraz wielowymiarowa. Innymi słowy – bardzo złożona. Historyk obserwuje jedynie wybrane jej elementy, a postulaty historii globalnej, mimo że wciąż rozwijane, zostały częściowo zrealizowane poprzez zmianę tematyki badań, a nie jej poszerzenie. Trudności w aplikowaniu rozwiązań informatycznych, takich jak bazy danych czy też systemy informacji przestrzennej w naukach humanistycznych, wyjaśnia częściowo kontrowersja wokół koncepcji dwóch kultur – naukowej i humanistycznej – Charlesa P. Snowa z 1959 r. Historia należy do świata romantyczno-humanistycznego, natomiast bazy danych czy systemy informacji geograficznej do świata naukowo-pozytywnego. Powstaje kwestia, w jaki sposób te dwa światy i dwie kultury mogą wzajemnie się wspomagać w lepszym i pełniejszym zrozumieniu zarówno rzeczywistości nas otaczającej, jak i rzeczywistości minionej. Nie ulega wątpliwości, że przyjęty przez C.P. Snowa podział, jak każda klasyfikacja, dotyczy metod poznania, opisu i prezentacji rzeczywistości, a nie jej samej. Ta bowiem jest jedna. Dlatego też doskonałym pomo-

stem, który może służyć do połączenia romantycznego (humanistycznego) i pozytywnego (naukowego) opisu rzeczywistości, stanowi ontologia, która próbuje – choć trzeba powiedzieć, że z różnym skutkiem – wypracować jednolite metody i kryteria do oceny oraz opisu (prezentacji) występujących w świecie bytów, a także relacji między nimi (Bodenhamer 2010, Kemp 2010).

Możliwość zapisu w bazach danych atrybutów geograficznych oraz związanych z nimi danych historycznych czyni z nich istotne narzędzie w gromadzeniu, porządkowaniu oraz udostępnianiu informacji geograficzno-historycznej. Wielodostępowość systemów bazodanowych (rozwiązania serwerowe) sprawia, że stają się one istotnym narzędziem dla zespołów badawczych geograficzno-historycznych. Jednakże ocena przydatności narzędzi informatycznych w naukach humanistycznych, w tym w historii, polaryzuje dość wyraźnie środowiska naukowe. Obok entuzjastycznych postaw można spotkać opinie sceptyczne, kwestionujące przydatność rozwiązań komputerowych w badaniach historycznych. Skrajne postawy, czyli bezkrytyczna akceptacja tych metod, jak również krytyka jakichkolwiek prób w tym zakresie, wynikają z nieznamośności samych narzędzi, w tym ograniczeń i trudności, jakie stwarza ich stosowanie. Głównym celem niniejszego artykułu jest wstępna i ogólna ocena praktycznych trudności, jakie przynosi wykorzystanie czasowo-przestrzennych baz danych w geografii historycznej. Już samo zawężenie tematu w zakresie metod komputerowych do czasowo-przestrzennych baz danych powinno uświadamiać, że równorzędne traktowanie wszystkich rozwiązań zarówno w zakresie oprogramowania, jak też metodologii ich stosowania jest błędem. Narzędzie powinno być dobrane do przedmiotu badań.

Mimo że artykuł jest skoncentrowany wokół trudności związanych ze stosowaniem baz danych przestrzennych w badaniach historycznych, już wstępne użycie tego typu narzędzi wskazuje także na olbrzymie zalety ich stosowania. Ułatwiają one gromadzenie masowego materiału geograficzno-historycznego oraz bardzo efektywną analizę przestrzenną oraz geostatystyczną. Metoda kartograficzna w odniesieniu do zjawisk historycznych, dzięki bazom danych oraz aplikacjom GIS, zyskuje nową jakość. Polega ona nie tylko na szybkości analiz, ich dokładności czy sugestywnej wizualizacji. Bazy danych przestrzennych rozwiązują jeden z najważniejszych problemów nękających badania podstawowe związane z geografiami historyczną – umożliwiają gromadzenie materiału źródłowego w sposób trwały i uporządkowany. Dotychczasowe mapy czy opracowania geograficzno-statystyczne publikowały głównie wyniki prac badawczych. Zgromadzony materiał źródłowy pozostawał w zasobach autorów czy zespołów badawczych, często niszczał lub ulegał rozproszeniu. Efektywna krytyka opracowań czy map z ostatniego stulecia wymaga często ponownego sięgania do archiwów i rozpoczynania poniekąd prac od początku. Dzięki czasowo-przestrzennym bazom danych kwerendy, prowadzone przez pojedynczych badawczy i całe zespoły, będą budowały swoisty bank informacji o miejscach w prze-

szłości (*places in past*), zjawiskach, ludziach i wydarzeniach z nimi związanych. Umożliwią powrót do dyskusji na temat historii globalnej pisanej na podstawie przestrzeni.

Rozumienie geografii historycznej na gruncie polskiej nauki historycznej i geograficznej dość mocno różni się od obowiązującego w krajach Europy Zachodniej. Wiele nieporozumień wprowadza tutaj zawężanie geografii historycznej do historii kartografii lub kartografii historycznej, które pełnią jedynie funkcję narzędziową w stosunku do geografii historycznej i historii. Należy pamiętać, że nie można zajmować się historią bez znajomości geografii ani odrywać przestrzeni geograficznej od jej kontekstu historycznego. Wszystko, co nasz otacza, jest bowiem wynikiem procesów historycznych. Trafnie ujął to ostatnio D.R. Kelley (2010, s. 22): „Historia była zawsze geohistorią”.

Ostatnia poważna dyskusja metodologiczna, tzn. taka, w której brali udział zarówno historycy, jak i geografowie, odbyła się w 1953 r. Głównymi polemistami byli wówczas G. Labuda (1953) i M. Dobrowolska (1953). Do refleksji w podobnym tonie wrócili we wstępie do polskiego wydania książki F. Braudela pt. *Morze Śródziemne i świat śródziemnomorski w epoce Filipa II* B. Geremek i W. Kula (2004), którzy przypomnieli wprowadzone i dyskutowane przez F. Braudela pojęcie „geohistoria”. Faktem pozostaje jednak, że w ostatnim pięćdziesięcioleciu geografia historyczna była uprawiana, a także rozumiana, odrębnie przez historyków i geografów. Najlepszym wyrazem tej odrębności i jednocześnie świadomości potrzeby refleksji metodologicznej nad geografiami historyczną jest wydana 2003 r. w serii „Cambridge Studies in Historical Geography” praca Alana Bakera pod znamienym tytułem *Geography and History. Bridging the Divide*.

Nie wdając się w szerokie rozważania metodologiczne na temat relacji między antropogeografią, geografiami historyczną i geohistorią, należy geografii historyczną konstituować jako subdyscyplinę stojącą na dwóch filarach: geografii i historii. Przedmiotem geografii historycznej jest szeroko rozumiane, tzn. w wymiarze fizycznym i kulturowym, środowisko geograficzne w przeszłości. Geografów o wiele częściej interesuje przeszłość krajobrazu naturalnego (np. zmiany geomorfologiczne), natomiast historyków krajobrazu kulturowego (np. osadnictwo, granice, socjogeografia). Stąd geografiami historyczną często klasyfikuje się także jako część geografii humanistycznej, geografii człowieka lub geografii kultury (Holdsworth 2003). Początek XXI w. cechuje przywracanie historii przestrzeni – mówi się wprost o *spatial turn* (Schlögel 2009, Withers 2009). W polskiej historiografii można to traktować jako przypomnienie i ponowne odczytanie zdań dwóch, powszechnie uznawanych za autorytety, polskich historyków: W. Semkowicza (1948, s. 33: „Bez karty geograficznej i bez znajomości warunków geograficznych (zwłaszcza topografii) dzisiejszy historyk nie jest w możności ująć i ustalić całego szeregu zjawisk dziejowych”) i J. Topolskiego (1998,

s. 26: „Do minimalnej charakterystyki przeszłości zalicza się, poza czasem i przestrzenią, działania ludzkie”).

Pod pojęciem „baza danych” powszechnie rozumie się:

- rodzaj oprogramowania komputerowego, które umożliwia gromadzenie danych, ich przechowywanie oraz analizę (np. MS Access, Oracle, PostgreSQL etc.),
- konkretny zbiór danych zgromadzony na podstawie oprogramowania bazodanowego (np. baza danych pracowników, baza danych obiektów sakralnych w XVIII w.).

Bazy danych zasadniczo dzielą się na bazy relacyjne, obiektowe oraz relacyjno-obiektowe. Najbardziej rozpowszechnione są te pierwsze. Do nich zalicza się także czasowo-przestrzenne bazy danych (Spatio-Temporal Databases, STDBMS), które rozwinęły się w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat (Abraham, Roddick 1999). W stosunku do klasycznych systemów bazodanowych wyróżniają się one możliwością zapisu, poprzez specjalnie zaprojektowaną typologię pól, danych czasowych i przestrzennych. Przechowywaniu danych czasowych służą rozbudowane pola datowe – oprócz klasycznej kategorii „DATE”, występują także „TIMESTAMP”, „TIME”, „INTERVAL”, w bardziej zaawansowanych systemach także „PERIOD”. Istnieje oczywiście także szereg operatorów czasowych, które można stosować w zapytaniach.

Drugim elementem wyróżniającym czasowo-przestrzenne systemy baz danych jest możliwość zapisu w nich atrybutów geograficznych, które w swojej głównej topologii dzielą się na punkty, linie i poligony. Podobnie jak w przypadku danych czasowych, towarzyszą im specjalne operatory, które umożliwiają zapytania dotyczące odległości, powierzchni obiektów, długości, przecinania się, przylegania, pokrywania etc. Zestawy funkcji pozwalają z kolei na modelowanie danych przestrzennych w zależności od zgromadzonych danych zarówno geograficznych, jak i opisowych. Do najczęściej wykorzystywanych baz danych, które pozwalają zapisywać dane przestrzenne, należą: wśród aplikacji komercyjnych Oracle (rozszerzenie Spatial), wśród aplikacji bezpłatnych – PostgreSQL (rozszerzenie PostGIS) oraz MySQL (od wersji 5).

Potrzeba dostosowania baz danych do wymogów nauki historycznej, w tym geografii historycznej, doprowadziła do powstania odrębnego określenia dla historycznych systemów baz danych – HDBMS (Sarda 1990), które mogą być obecnie – na skutek rozwoju baz danych przestrzennych – dookreślane jako geograficzno-historyczne systemy baz danych (GHDBMS). Ian N. Gregory w swoim podręczniku poświęconym historycznym systemom informacji geograficznej używa określenia „Historical GIS Databases” (Gregory, Ell 2007, s. 41). Najogólniej rzecz ujmując, czasowo-przestrzenne systemy baz danych umożliwiają gromadzenie i analizę danych oraz prezentację informacji o zjawiskach (atrybuty opisowe) w ich wymiarze przestrzennym (atrybuty geograficzne) przy uwzględnieniu chronologii (atrybuty czasowe).

2. Wokół trudności

Znaczny przyrost ilościowy literatury związanej z czasowo-przestrzennymi bazami danych nie zaowocował, jak dotąd, dojrzałą refleksją metodologiczną nad ich zastosowaniem w geografii historycznej. Historycy, geografowie i informatycy koncentrują się raczej na ukazywaniu praktycznych zastosowań i prezentacji swoich badań prowadzonych z wykorzystaniem narzędzi informatycznych. Zdecydowanie góruje w nich refleksja technologiczna nad historyczną refleksją metodologiczną. Więcej pisze się o stosowaniu baz danych jako narzędzia do prezentowania wyników badań niż jako narzędzia heurystyczno-hermeneutycznego, zwłaszcza hermeneutycznego. Podstawową trudność w pełnym stosowaniu narzędzi bazodanowych przynosi bowiem ich wykorzystanie na etapie gromadzenia i krytyki materiału źródłowego oraz przełożenia wyników tej krytyki na zapis w postaci rekordów w bazach danych.

W większości opisywanych w literaturze historycznych systemów bazodanowych, które najczęściej dotyczą XIX i XX w. (np. The Great Britain Historical GIS, Historical GIS Germany), bazy danych traktuje się jako miejsce przechowywania danych administracyjnych, demograficznych itp. Wykorzystywane źródła i spisy mają charakter systematyczny i masowy, natomiast mapy stanowiące podstawę atrybutów geograficznych cechują się dość wysoką precyzją. Rzadziej i z większymi trudnościami stosuje się je w badaniach nad epoką przedstatystyczną. Historyk epoki nowożytnej, a w większym jeszcze wymiarze mediewista, staje przed trudniejszym zadaniem. Musi brać pod uwagę te cechy źródeł historycznych, które znacznie komplikują ich wykorzystanie w systemach bazodanowych. Chodzi mianowicie o niepełność, niepewność oraz niedokładność informacji, jakie zawierają. Wymienione wyżej cechy mogą dotyczyć wszystkich cech informacji historycznej: czasu, miejsca oraz samej treści (Plewe 2002). Przy pozyskiwaniu danych dla atrybutów opisowych historyk napotyka na trudności nieznane klasycznym systemom informacyjnym. Wspomniana niepewność, niepełność i niedokładność informacji źródłowych, zarówno w warstwie przedmiotu badań, jak i chronologii i datowania (Bodenhamer 2010), wymusza na badaczach wypracowanie odmiennego od klasycznego modelu pracy z bazami danych.

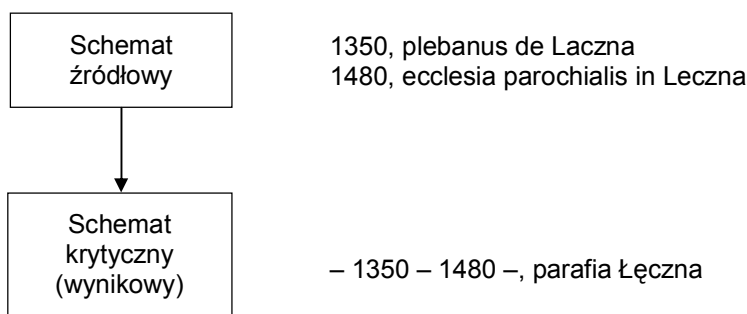
Charakterystyczny dla humanistyki subiektywizm interpretacji uwarunkowany formacją, przygotowaniem, a nawet cechami psycho-mentalnymi badacza wpływa już na poziomie pojęciowym (ocena: rzeka, strumyk, potok). Drugim elementem, na który należy zwrócić w kontekście budowania historycznych systemów baz danych, jest konieczność uwzględnienia relacji wydarzenie (*Event*) – proces (*Process*). O ile źródła historyczne informują najczęściej jedynie o jednostkowych, datowanych z różną precyzją faktach, które można określić jako *Snap Shot Events* albo *Episodes*, o tyle w narracji operuje się zazwyczaj

procesami (*Processes, Time Lines*) budowanymi na podstawie tych wydarzeń oraz całego rozbudowanego aparatu metodologicznego (Styliadis, Vassilakopoulos 2005). Jedną z podstawowych trudności jest informatyczne przekształcenie owych *Snap Shot Events* w procesy rejestrowane jako rekordy z atrybutami „DATA_START” oraz „DATA_END”. Biorąc pod uwagę charakterystykę GIS jako genetycznie statycznych systemów (O’Sullivan 2005), lepiej można je wykorzystywać w badaniach nad tzw. *Snap Shot Events*, niż w odniesieniu do długotrwałych procesów.

Jak zostało wcześniej powiedziane, bazy danych przestrzenno-czasowych umożliwiają przechowywanie nie tylko danych historycznych, lecz pozwalają również na zapis geograficznego obrazu przeszłości. Obraz ten jest najczęściej wytworem współpracy historyka i kartografa, którzy dla jego sporządzenia wykorzystują pisane oraz kartograficzne źródła historyczne. W systemach informacji geograficznej, opartych zarówno na bazach danych przestrzennych, jak i formatach plikowych, wyróżnia się pozyskiwanie danych przestrzennych ze źródeł pierwotnych (*primary data capture*) lub wtórnych-pośrednich (*secondary data capture*). W przypadku pozyskiwania danych historycznych dominują zdecydowanie źródła wtórne, np. dawne mapy (Gregory, Ell 2007, s. 42). Wykorzystanie dawnych map jako podstawy w przygotowaniu map historycznych jest obarczone wieloma trudnościami. Wynikają one przede wszystkim ze słabej precyzji. Im mapy starsze, tym ich dokładność maleje. W przypadku obszaru Polski dopiero XIX w. i kartografia państw zaborczych przyniosły prace, które mogą być wykorzystane w aplikacjach GIS. Wcześniejsze mapy na czele z pomnikowymi pracami Karola Pertheesa z drugiej połowy XVIII w. nie dają się wykorzystać jako podkład kartograficzny, nawet przy wykorzystaniu najnowszych rozwiązań georeferencyjnych (Szady 2012).

3. Wokół rozwiązań

Wymienione wyżej problemy mogą być, przynajmniej w pewnym zakresie, rozwiązane poprzez właściwe zastosowanie oraz konstrukcję baz danych czasowo-przestrzennych. Jedną z propozycji może być podział schematu bazy danych na dwie części: źródłową oraz krytyczną (wynikową). Oba schematy powinny być ze sobą połączone siecią odpowiednich relacji. W schemacie źródłowym bazy danych powinny być przechowywane uporządkowane dane w ich dosłownym brzmieniu historycznym, natomiast w schemacie krytycznym przetworzone przez historyka ustalenia wyprowadzone na podstawie zawartości warstwy źródłowej. Dla przykładu: w części źródłowej zostanie zapisana informacja: 1350, plebanus de Laczna; 1480, ecclesia parochialis in Leczna, w części krytycznej zaś informacja: parafia Łeczna powstała przed 1350 r. i funkcjonowała w 1480 r.



Rys. 1. Podział historycznej bazy danych na schematy źródłowy i krytyczny
Źródło: opracowanie własne

Zasadność takiego postępowania określa potrzeba prac zespołowych, w których historyk dokonujący krytyki musi mieć do dyspozycji pełną podstawę źródłową. Przyjęcie zaproponowanego podziału rozwiązuje częściowo problem zapisu danych niepewnych i niepełnych, znajdujących się w schemacie źródłowym i w każdej chwili mogą stać się przedmiotem powtórnej refleksji krytycznej po ewentualnym uzupełnieniu informacji. Pozwoli to także na opanowanie systematycznie gromadzonego materiału źródłowego. Dotychczasowe doświadczenia badawcze w zakresie osadnictwa, czy też historii administracji państwowej i kościelnej stanowią w zasadzie zamknięte projekty. Każdy kolejny badacz, zwłaszcza młodszego pokolenia, stoi przed zadaniem ustosunkowania się do wyników tych badań. Właściwa krytyka ustaleń zmusza niejednokrotnie do sięgania do źródeł już wcześniej analizowanych i rozpisywanych. Za przykład niech posłużą wykazy zawarte chociażby w pracach *Atlasu historycznego Polski* (1998, 2008) z historii osadnictwa i administracji terytorialnej czy prace S. Litaka (1996, 2006) z geografii historycznej Kościoła łacińskiego. Każda osoba, pragnąca pogłębiać i poszerzać zagadnienia podjęte w wymienionych pracach, jest zmuszona w zasadzie do ponownej lektury źródeł.

Teoretyczne rozważania dotyczące reprezentacji oraz ontologii przestrzeni geograficznej w odniesieniu do systemów informacji przestrzennej i baz danych czasowo-przestrzennych nie przełożyły się, jak dotąd, na wypracowanie jednolitych standardów czy specyfikacji (Grossner 2010a, b). Geografowie historyczni nadal gromadzą dane przestrzenne oraz atrybuty opisowe w sposób dość chaotyczny, nie uwzględniając nawet zaproponowanego wyżej podziału na dwa schematy – źródłowy i krytyczny. Doraźne rozważania są niekiedy prowadzone jedynie w stosunku do konkretnych problemów praktycznych – jak w przypadku zapisu oraz gromadzenia danych dotyczących podziałów administracyjnych (Gregory 2002, Szady 2010).

Zaproponowany schemat źródłowy (rys. 1) jest dość prosty i może się składać, zgodnie z podziałem przyjętym w klasycznym warsztacie historyka, z tabeli

dla fisz bibliograficznych oraz tabeli dla fisz materiałowych. Model i struktura schematu krytycznego następcza zdecydowanie więcej trudności ze względu na konieczność wypracowania ontologicznie ufundowanego modelu bazy danych dla konkretnych zagadnień i problemów. Dotychczasowe modele historycznych baz danych opierają swoje założenia na dwóch podstawach: w części z nich głównym przedmiotem będzie obiekt (dla studiów osadniczych może to być miejscowość), natomiast inne modele opierają się na procesach (wydarzeniach). Z ontologicznego punktu widzenia, włączając w to także koncepcje czasu i przestrzeni, dochodzi tutaj do pewnego rodzaju konfliktu między endurantystami (wymiar czasowy obiektu jest odrębny od wymiaru przestrzennego i stanowi jedynie atrybut tego obiektu, Field Based) oraz perdurantystami, którzy stoją na stanowisku, że obiekt istnieje w czterech wymiarach (Object Based) – hiperobiekty (Galton 2004, O'Sullivan 2005, Goodchild, Yuan, Cova 2007, Liu i in. 2008). Jakie kryteria można wziąć pod uwagę np. przy konceptualizacji jednostki osadniczej? Należy pamiętać, że nazwa miejscowości, jej zasięg geograficzny oraz typologia (miasto/wieś) mogły ulec zmianie. Trzeba rozstrzygnąć kwestię, czy miejscowość w momencie translokacji, a zdarzały się też takie sytuacje, nie traciła swoich własności konstytutywnych (endurant). Problemów o takiej naturze nie da się rozwiązać bez pogłębionej wspólnej refleksji ontologów oraz historyków. Potrzebę takiej refleksji przy konstrukcji historycznych baz danych potwierdził eksperyment przeprowadzony w środowisku historyków, informatyków oraz ontologów inżynierskich na Katolickim Uniwersytecie Lubelskim. Dotyczył on budowy struktury bazy danych przestrzennych dla historycznych podziałów administracyjnych Kościoła katolickiego, budowanej na podstawie ontologii DOLCE (Fonseca i in. 2002, Couclelis 2010, Garbacz i in. 2010).

Krytycznego przeglądu modeli czasowo-przestrzennych baz danych dokonali w 2010 r. K. Reis Ferreira, G. Camara i A.M. Vieira Monteiro (2010). Wśród 10 wyszczególnionych modeli (Time-Slice Snapshot, 1988; Space-Time Composite Model, 1988; Unified Spatio-Temporal Object Model, 1994; Event Oriented Spatio-Temporal Data Model, 1995; Three Domain Model, 1999; Moving Object Model, 1999; Geospatial Lifeline Model, 1999; Hierarchal Model, 2001; Geospatial Event Model, 2004; The Moving Feature Model, 2008) najbardziej komplementarna pod względem teoretycznym i praktycznego zastosowania dla gromadzenia danych historycznych jest propozycja M. Yuan (1999) – Three Domain Model (rys. 2). Schemat ten składa się z czterech tabel, po jednej dla każdej dziedziny (czas, miejsce, obiekt) oraz tabeli łączącej, i może być z powodzeniem zaimplementowany w bazach danych przestrzennych, jak Oracle Spatial czy PostGIS.

a) semantic table

Sem. ID	Landcover	Management	Address
1	Old growth	USFS	12 Forest Rd.
2	Clear-cut	A.Log Co.	3 Clear Dr.
3	Bum	USFS	12 Forest Rd.
4	Clea-cut	R. Log Co	45 Pine Ave.

b) time table

Time ID	Time	Operator ID
1	1600	2439
2	1700	2439
3	1800	7473
4	1950	1029
5	1960	1029

c) space table

Space ID	Area	Perimeters
4	A ₁	P ₁
6	A ₂	P ₂
8	A ₃	P ₃
9	A ₄	P ₄
10	A ₅	P ₅
11	A ₆	P ₆
12	A ₇	P ₇
13	A ₈	P ₈
14	A ₉	P ₉
15	A ₁₀	P ₁₀

d) domain link table (links among temporal, semantic, and spatial objects)

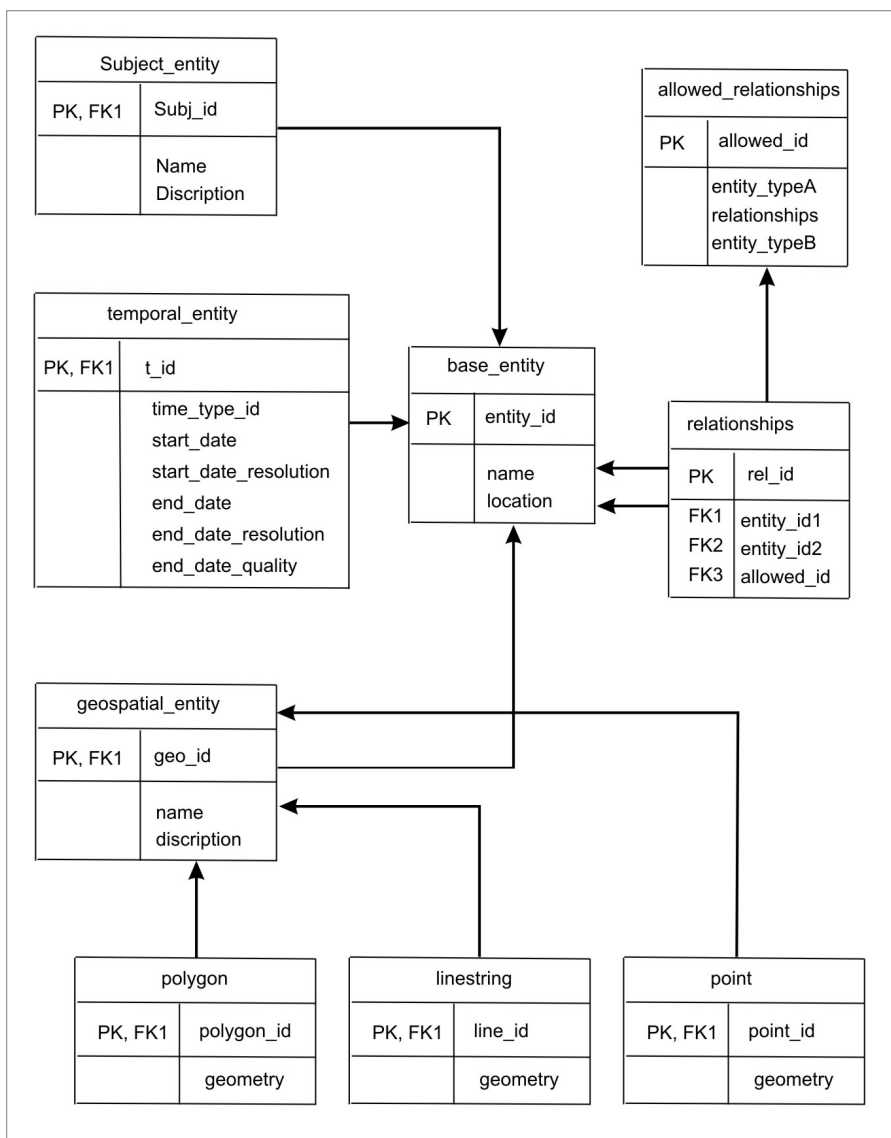
Sem. ID	Time ID	Space ID List
1	1	1
1	2	2
2	2	3
3	2	4
1	3	5
2	3	3,6
1	4	7, 10
4	4	8, 9
1	5	10, 11, 13
2	5	6, 12
3	5	4, 14, 15

Rys. 2. Wykorzystanie modelu trzech domen (Three Domain Model) do reprezentacji informacji czasowo-przestrzennej na przykładzie przeobrażeń lasu

Źródło: M. Yuan (1999, s. 147)

Jako rozwinięcie tej koncepcji, chociaż bez bezpośredniego odwołania, można potraktować propozycję R. Fazala z 2009 r., opartą na metodzie ORM (Object Role Modeling). Autor artykułu omówił nie tylko teoretyczne i metodyczne

podstawy przedstawionego modelu danych przestrzenno-czasowych, ale także sposób jego implementacji w środowisku oprogramowania Open Source (GeoDjango, PostGIS). Zawarty w publikacji i zamieszczony diagram ERD pozwala na weryfikację koncepcji na podstawie konkretnych danych historycznych (rys. 3).



Rys. 3. Diagram ERD przykładowej relacyjnej czasowo-przestrzennej bazy danych
Źródło: R. Fazal (2009)

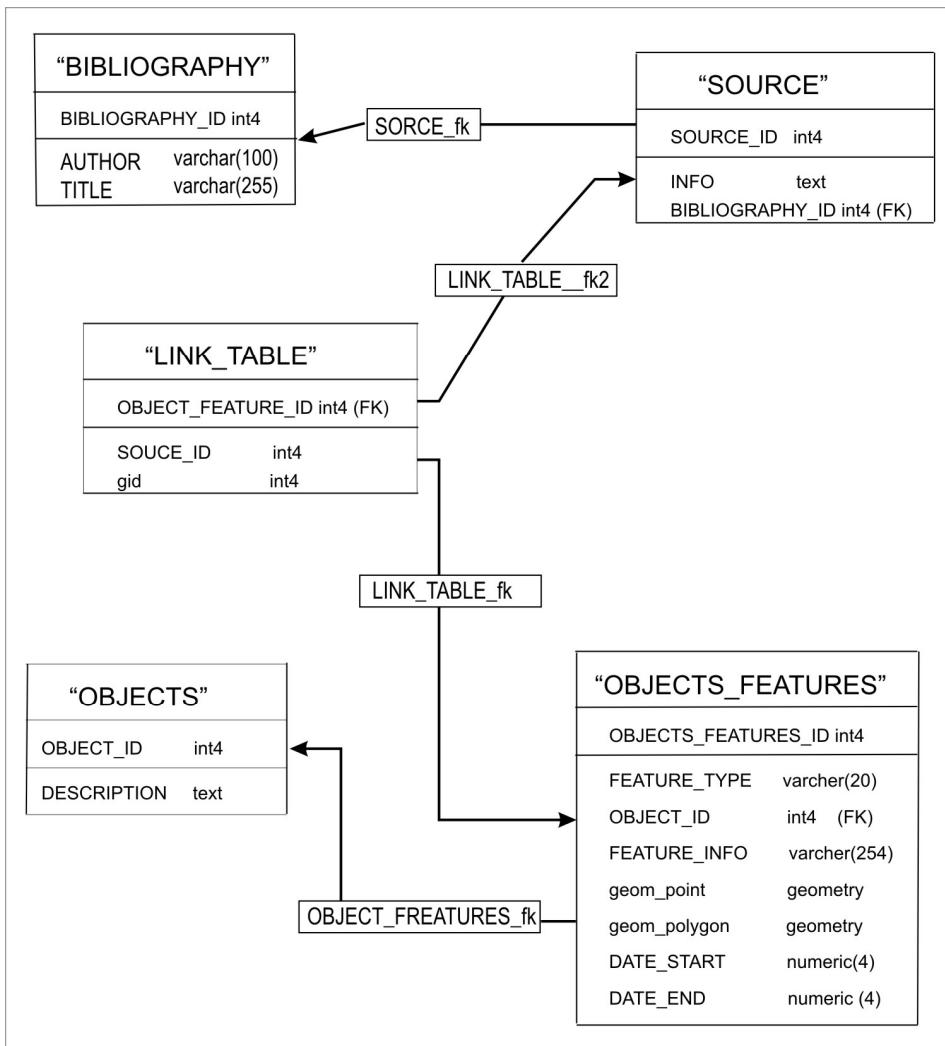
Zastosowanie przedstawionych propozycji w praktyce badawczej napotyka na dość istotne problemy. Wyodrębnienie tabeli z czasem, zaproponowane w obu schematach (M. Yuan – Time Table, R. Fazal – Temporal Entity, rys. 2–3) i uzasadnione z teoretycznego punktu widzenia, nie znajduje pełnego uzasadnienia w praktyce, gdyż połączenie obiektu semantycznego (M. Yuan – Semantic Table, R. Fazal – Subject Entity) z przestrzennym (M. Yuan – Space Table, R. Fazal – Geospatial Entity) zachodzi zawsze w czasie. O wiele prościej jest operować w bazie danych kategorią czasu, wiążąc ją z każdym z elementów w tabeli łączącej (M. Yuan – Domain Link Table, R. Fazal – Base Entity). Drugą kwestią jest brak w obu schematach cech obiektów. Historyczne bazy danych, nawet te o dość prostych strukturach, zawierają dodatkowe dane o obiektach – w przypadku miejscowości może to być np. charakter własności lub też typ miejscowości (miasto, wieś), w przypadku świątyni – jej wezwanie lub typ (parafialna, filialna). Trzecim problemem pozostaje nieuwzględnienie w projektach baz danych schematu źródłowego, który był postulowany wyżej.

Przyjmując założenie, że każdy obiekt istniejący w przeszłości jest definiowany przez czas, położenie geograficzne oraz atrybuty opisowe, można zaproponować nieco prostszą strukturę bazy danych, uwzględniającą także schemat źródłowy (przy pełnej świadomości częściowego odejścia od reguł teorii relacji). Przedstawiony diagram ERD zawiera podstawowy szkielet dość prostej bazy danych, jednakże wykazującej wszystkie cechy charakterystyczne dla zapisu oraz krytyki danych historycznych (rys. 4). Wprowadzenie tabeli łączącej (LINK_TABLE) było konieczne ze względu na potrzebę uniknięcia redundancji danych. Należy pamiętać, że cechy obiektu będą mogły się odnosić do wielu informacji źródłowych, natomiast na podstawie jednej informacji źródłowej będzie możliwe określenie więcej niż jednej cechy opisywanego obiektu.

Kluczowymi tabelami zawierającymi główne dane są tutaj „SOURCE” – dla danych źródłowych oraz „OBJECTS_FEATURES” – dla danych krytycznych. Tabela „OBJECTS_FEATURES” umożliwia przechowywanie danych opisowych („FEATURE_INFO”) i atrybutów geograficznych („geom_point” oraz „geom_polygon”) i czasowych („DATE_START”, „DATE_END”). W dotychczasowych rozwiązaniach bazodanowych historycy najczęściej wprowadzali pola date_start i date_end, dla oznaczenia trwania jakiegoś zjawiska w czasie. Problem polega na tym, że w średniowieczu i okresie nowożytnym o wiele częściej źródła informowały o istnieniu zjawiska w określonym czasie niż o fakcie jego początku i końca. Sporadycznie znana jest dokładna data powstania miasta czy kościoła parafialnego. Należy więc wprowadzić obok atrybutów czasowych uzupełniające pola logiczne w rodzaju „terminus ante quem” czy „terminus post quem”, które będą precyzowały, czy określona data jest tylko wzmianką o istnieniu, czy oznacza początek jakiegoś zjawiska. Odrębną kwestią jest rozwiązanie problemu datowania przybliżonego do roku czy miesiąca. Być może także na-

leży tutaj wprowadzić pole określające precyzję daty z wyborem między y=year, m=month, d=day.

Typ przechowywanego w rekordzie atrybutu (położenie, typ własności, typ miejscowości) określa pole „FEATURE_TYPE”. Możliwe jest oczywiście wzbogacenie tej struktury o dodatkowe pola, np. „OBJECT_TYPE” (tabela „OBJECTS”) czy też, jak proponował R. Fazal, „DATE_RESOLUTION”, „DATE_QUALITY”, „SPATIAL_QUALITY” (tabela „OBJECTS_FEATURES”).



Rys. 4. Diagram ERD szkieletu historycznej bazy danych

Źródło: opracowanie własne

W tak ujętą strukturę bazodanową (rys. 4) można wprowadzać zarówno dane źródłowe (schemat źródłowy), jak i wyniki krytyki historycznej (schemat wynikowy). Za przykład niech posłuży kwestia lokalizacji kościoła parafialnego w Łęcznej. Z literatury przedmiotu wiadomo, że jego pierwotne usytuowanie jest dyskusyjne – część historyków uważa, że obecne położenie świątyni jest pierwotne, natomiast część przypuszcza jej translokację (Chachaj 2010, Jop 2010). Występuje więc tutaj zjawisko niepewności i niepełności informacji oraz wielość opinii. Nie można wykluczyć, że w świetle dalszych kwerend kwestia ta zostanie pełniej naświetlona. Wszystkie zgromadzone źródła oraz dane dotyczące położenia świątyni wprowadzono do bazy danych, pozostawiając rzecz jasna możliwość dodania kolejnej informacji na ten temat (schemat źródłowy). Jeżeli informacja ta zmieni stan naszej wiedzy na temat pierwotnego położenia kościoła, można przenieść punkt, ewentualnie dodać drugi punkt na mapie i powiązać go z podstawą informacyjną („LINK_TABLE”). Taka konstrukcja bazy danych umożliwia przechowywanie w bazie danych nawet dwóch lokalizacji dla tego samego obiektu, przy określeniu stopnia pewności – „certainty rating” (Gregory, Kemp, Mostern 2001). Wygenerowanie mapy (tabeli) wynikowej jest dość prostym zabiegiem i nie stanowi końca projektu, a jedynie dokumentuje aktualny stan prac nad nim.

Literatura

- Abraham T., Roddick J.F., 1999, *Survey of spatio-temporal databases*, „GeoInformatica” 3 (1), s. 61–99.
- Atlas historyczny Polski*, 1998, 2008, Warszawa.
- Bodenhamer D.J., 2010, *The potential of spatial humanities*, [w:] Bodenhamer D.J., Corrigan J., Harris T.M. (eds.), *The spatial humanities. GIS and the future of humanities scholarship*, Bloomington–Indianapolis, s. 14–30.
- Chachaj J., 2010, *Powstanie parafii Łęczna, jej duchowieństwo, wierni i świątynia w czasach staropolskich*, [w:] Jop R. (red.), *Studia z dziejów parafii pw. św. Marii Magdaleny w Łęcznej*, Łęczna, s. 57–64.
- Couclelis H., 2010, *Ontologies of geographic information*, „International Journal of Geographical Information Science”, 24 (12), s. 1785–1809.
- Dobrowolska M., 1953, *Przedmiot i metoda geografii historycznej. Uwagi o referacie prof. dra G. Labudy*, „Przegląd Geograficzny”, 25 (1), s. 57–69.
- Fazal R., 2009, *Models for complex spatio-temporal relationship and their implementation using open source components*, *Computer Applications to Archeology*: [http://www.caa2009.org/articles/Fazal_Contribution378_c%20\(2\).pdf](http://www.caa2009.org/articles/Fazal_Contribution378_c%20(2).pdf) (dostęp: 29.09.2012 r.).
- Fonseca F., Egenhofer M., Agouris P., Câmara G., 2002, *Using ontologies for integrated Geographic Information Systems*, „Transactions in GIS”, 6 (3), s. 231–257.

- Galton A., 2004, *Fields and objects in space, time, and space-time*, „Spatial Cognition and Computation”, 4 (1), s. 39–68.
- Garbacz P., Trypuz R., Szady B., Kulicki P., Grądzki P., Lechniak M., 2010, *Towards a formal ontology for history of church administration*, [w:] Galton A., Mizoguchi R. (red.), *Formal ontology in information systems*, Amsterdam, s. 345–358.
- Geremek B., Kula W., 2004, *Fernand Braudel i „Morze Śródziemne”*, [w:] Braudel F., *Morze Śródziemne i świat śródziemnomorski w epoce Filipa II*, t. 1, Warszawa, s. 6–13.
- Goodchild M.F., Yuan M., Cova T.J., 2007, *Towards a general theory of geographic representation in GIS*, „International Journal of Geographical Information Science”, 21 (3), s. 239–260.
- Gregory I.N., 2002, *Time-variant GIS databases of changing historical administrative boundaries: A European comparison*, „Transactions in GIS”, 6 (2), s. 161–178.
- Gregory I.N., Ell P.S., 2007, *Historical GIS. Technologies, Methodologies and Scholarship*, Cambridge.
- Gregory I.N., Kemp K., Mostern R., 2001, *Geographical information and historical research: current progress and future directions*, „History and Computing”, 13, s. 7–23.
- Grossner K., 2010a, *Representing historical knowledge in Geographic Information Systems*, University of California, Santa Barbara.
- Grossner K., 2010b, *Event objects for spatial history*, GIScience 2010, Sixth International Conference on Geographic Information Science: http://www.giscience2010.org/pdfs/paper_185.pdf (dostęp 30.09.2012).
- Holdsworth D.W., 2003, *Historical geography: new ways of imaging and seeing the past*, „Progress in Human Geography”, 27 (4), s. 486–493.
- Jop R., 2010, *Zmiany w przestrzeni miejsc sakralnych w Łęcznej w XVI–XVIII wieku – kościół św. Marii Magdaleny i św. Ducha*, [w:] Jop R. (red.), *Studia z dziejów parafii pw. św. Marii Magdaleny w Łęcznej*, Łęczna, s. 91–100.
- Kelley D.R., 2010, *Oblicza historii. Badanie przeszłości od Herodota do Herdera*, Warszawa.
- Kemp K.K., 2010, *Geographic Information Science and spatial analysis for the humanities*, [w:] Bodenhamer D.J., Corrigan J., Harris T.M. (red.), *The spatial humanities. GIS and the future of humanities scholarship*, Bloomington–Indianapolis, s. 31–57.
- Labuda G., 1953, *Uwagi o przedmiocie i metodzie geografii historycznej*, „Przegląd Geograficzny”, 25 (1), s. 5–56.
- Leavis F.R., 1962, *Two cultures? The significance of C.P. Snow*, London.
- Litak S., 1996, *Kościół łaciński w Rzeczypospolitej około 1772 roku. Struktury administracyjne*, Lublin.
- Litak S., 2006, *Atlas Kościoła łacińskiego w Rzeczypospolitej Obojga Narodów w XVIII wieku*, Lublin.
- Liu Y., Goodchild M.F., Guo Q., Tian Y., Wu L., 2008, *Towards a general field model and its order in GIS*, „International Journal of Geographical Information Science”, 22 (6), s. 623–643.

- O'Sullivan D., 2005, *Geographical information science: time changes everything*, „Progress in Human Geography”, 29 (6), s. 749–756.
- Ortolano G., 2009, *The two cultures controversy: science, literature and cultural politics in postwar Britain*, Cambridge.
- Plewe B., 2002, *The nature of uncertainty in historical geographic information*, „Transactions in GIS”, 6 (4), s. 431–456.
- Reis Ferreira K., Camara G., Vieira Monteiro A.M., 2010, *Towards a dynamic geospatial database model*: http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2010/09.20.14.15/doc/2010_worcap_karineferreira.pdf (dostęp: 27.09.2012 r.).
- Rutkowski H. (red.), 1998, *Województwo sieradzkie i województwo łęczyckie w drugiej połowie XVI wieku*, [w:] *Atlas historyczny Polski*, Warszawa.
- Rutkowski H. (red.), 2008, *Województwo krakowskie w drugiej połowie XVI wieku*, [w:] *Atlas historyczny Polski*, Warszawa.
- Sarda N.L., 1990, *Extensions to SQL for Historical Databases*, „IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering”, 2 (2), s. 220–230.
- Schlögel K., 2009, *W przestrzeni czas czytamy. O historii cywilizacji i geopolityce*, Poznań.
- Semkowicz W., 1948, *Rozwój nauk pomocniczych historii w Polsce*, Kraków.
- Snow C.P., 1959, *The two cultures and the scientific revolution*, Cambridge.
- Styliadis A.D., Vassilakopoulos M.G., 2005, *A spatio-temporal geometry-based model for digital documentation of historical living systems*, „Information and Management”, 42, s. 349–359.
- Szady B., 2010, *Granice powiatu łukowskiego w II połowie XVIII wieku – model liniowy i sieciowy*, [w:] Barańska A., Matwiejczyk W. (red.), *Narrata de fontibus hausta. Studia nad problematyką kościelną, polityczną i archiwistyczną ofiarowane Janowi Skarbowskiemu w siedemdziesiątą rocznicę urodzin*, Lublin, s. 831–845.
- Szady B., 2012, *Mapa województwa lubelskiego Karola Perthéesa z 1786 roku jako źródło kartograficzne i historyczne*, [w:] Konopska B. (red.), *Dawne mapy jako źródła historyczne*, Warszawa, s. 26–35.
- Topolski J., 1998, *Wprowadzenie do historii*, Poznań.
- Withers Ch.W.J., 2009, *Place and the „Spatial Turn” in geography and in history*, „Journal of the History of Ideas”, 70 (4), s. 637–658.
- Yuan M., 1999, *Use of a three-domain representation to enhance GIS support for complex spatiotemporal queries*, „Transactions in GIS”, 3 (2), s. 137–159.

SPATIO-TEMPORAL DATABASES AS A TOOL FOR HISTORICAL GEOGRAPHY

The present article deals with problems of the practical application of spatio-temporal databases in geo-historical studies. Research practice – besides the indisputable advantages of applying database tools for analysis of historical data – also includes the significant problems of uncertainty, incompleteness and lack of precision of historical sources. These features, as well as the subjectivism (interpretability) of should be taken

into account while building historical geographical information systems. Existing solutions consider to only a small extent the properties of the research process appropriate to historical geography. One of the solutions suggested in the present article is a division of a database structure into two interrelated schemes: a source scheme and a critical scheme. Historical information thus gathered becomes easily accessible for secondary interpretation (the source scheme). The critical scheme of the database, which is collectively constructed by historians, engineering ontologists and specialists in database modelling, should consider both the event and the process character of historical phenomena as well as the complex characteristics of spatio-temporal objects (the dispute between endurantists and perdurantists).

Keywords: *historical GIS – Spatio-Temporal Databases – historical geography*

Dr hab. Bogumił Szady, prof. KUL
Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Instytut Historii
<http://hgis.kul.lublin.pl/lab>
e-mail: szady@kul.pl

Elżbieta Lewandowicz, Alicja Packa, Szymon Kondratowicz

PRZEKSZTAŁCANIE DANYCH TOPOLOGICZNYCH, GEOMETRYCZNYCH I ATRYBUTOWYCH GIS DO MODELI ANALITYCZNYCH

Artykuł prezentuje przekształcanie danych GIS w celu otrzymania modeli analitycznych. Modele te opierają się głównie na topologii, a są wizualizowane w postaci grafów. Na podstawie fragmentu mapy katastralnej zaprezentowano budowę modelu sieci drogowej i dostępności z pasa drogowego do parcel. Uzyskane modele mogą być wykorzystywane w analizach sieciowych. Wizualizacje modeli w formie grafów uwidaczniają struktury katastralne. Fragmenty grafów w formie gwiazdистой wskazują na uporządkowaną strukturę.

Słowa kluczowe: *kataster, model struktur katastralnych*

1. Wstęp

Przekształcania danych w GIS na potrzeby analiz przestrzennych wiążą się z budową modeli analitycznych (Molenaar 1998, Sullivan, Unwin 2002). Mogą one przyjmować różne postacie, ale najczęściej są to modele oparte na strukturach grafowych (Theobald 2001, Lee, Yunus 2003). Przedstawiają one powiązania obiektów geograficznych (Lee, Zlatanova 2008), zwykle w formie sieci (Ahuja, Magnanti, Orlin 1993, Zhan 1998). Budowane są na bazie podstawowych elementów zbioru danych GIS: geometrii, atrybutów, topologii, relacji.

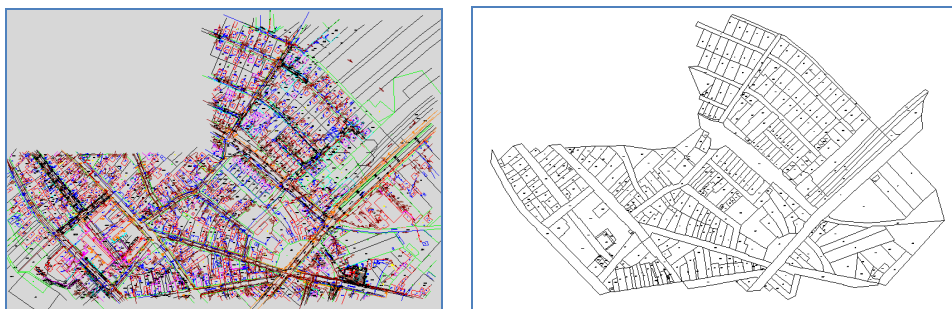
Topologia odgrywa w tych przekształceniach bardzo istotne znaczenie. Znamy ją z literatury (Longley i in. 2010), a w formie tabelarycznej jest prezentowana w każdym podręczniku GIS. Wiąże się ona z informacją o sąsiedztwie obiektów geometrycznych. Matematycy topologię powszechnie zapisują w formie grafów (Kulikowski 1986). Modele analityczne w GIS także są budowane jako modele grafowe (Zhao, Zhou 1999, Bera, Claramunt 2003). Na tych modelach stosuje się głównie algorytmy sieciowe (Loudon 1999).

We wcześniejszych publikacjach (Lewandowicz 2009, 2011, 2012) przedstawiono zapis topologii w postaciach macierzowych. Ta forma była podstawą badań, sprzyjała algebraicznemu przetwarzaniu danych. Obecnie przygotowano prezentację obrazującą inną metodykę przekształceń. Podstawą ich są dane opisowe, topologiczne i geometryczne, zapisane w tabelach atrybutowych. Głównie

nym celem artykułu jest uzyskanie różnych modeli danych katastralnych. Realizacja przyjętego celu wiązała się z wykorzystaniem wcześniejszych doświadczeń z przekształceń algebraicznych i ich implementacji w dostępnych aplikacjach GIS.

2. Dane wyjściowe

Do realizacji pracy wykorzystano fragmenty danych katastralnych terenów miejskich. Pozyskano je z PODGiK z programu EWMAPA w formie plików dxf. Otrzymany zbiór danych wektorowych był w topologicznym modelu spaghetti w formie niezależnych linii granicznych i tekstów informujących o numerze działki ewidencyjnej. Ze zbioru danych należało wybrać obiekty, które stanowiłyby obszar ograniczony liniami granicznymi opisującymi zwarty obszar opracowania (rys. 1). Dysponując przedstawionymi danymi, zdecydowano się na przekształcenie ich do formy topologicznej z zapisem danych opisowych w tabelach atrybutowych. Ta forma pozwala na przekształcenia danych CAD do formy klas obiektów, która jest bardziej przyjazna do pracy w narzędziach GIS.



Rys. 1. Dane źródłowe i wybrane do opracowania
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych PODGIK

Realizując cel pracy, wykorzystano systemy GIS: AutoCad Map, ArcGIS. Są to oprogramowania, które mają podobne, ale i uzupełniające się funkcje. W AutoCad Map są dostępne dla użytkowników podstawowe modele topologiczne: punktowy, sieciowy i obszarowy. W ArcGis mamy możliwość budowania własnych modeli topologicznych z dostępnych narzędzi, za pomocą reguł. W AutoCad Map jest dostęp do danych topologicznych, w ArcGis jest on utrudniony.

3. Budowa topologii obszarowej na podstawie geometrycznych danych katastralnych

Pozyskane geometryczne zbiory danych katastralnych stanowiły zbiór linii granicznych. Wiadomo, że wizualizują one działki ewidencyjne, które powinny być określone w topologicznym modelu obszarowym. Topologię należało zbudować, stosując dostępne narzędzia. Jak powszechnie wiadomo, w topologii nie mówi się o punktach, lecz o węzłach. Podobnie linie graniczne to krawędzie, a powierzchnie działek to obszary lub regiony. Na rysunku 2 przedstawiono wizualizację utworzonych danych topologicznych po wyeksportowaniu do plików zapisanych w różnych formach. Przedstawione dane topologiczne odpowiadają klasycznym zapisom znanym z literatury (Longley i in. 2010). Działki katastralne są identyfikowane centroidą (id regionu). Linie graniczne opisane są za pomocą id łamanej (krawędzi), a dodatkowo za pomocą id węzłów (początkowego i końcowego). Każda krawędź (linia graniczna) w topologii ma przypisany lewy i prawy region (sąsiadujące działki).

Topologia:Działki		id_krawedzi; id_wezla_pocz; id_wezla_kon; lewy_region; prawy_region				
Typ	Łamana regionu	1730; 668; 670; 1103; 842				
Identyfikator	2088	1729; 616; 628; 842; 840				
Węzeł początkowy	103	1728; 628; 632; 841; 840				
Węzeł końcowy	88	1727; 609; 632; 840; 839				
Kierunek przepływu	Dwukierunkowa	1726; 602; 609; 1101; 839				
Opór zgodny	18.4769	1725; 602; 638; 839; 838				
Opór przeciwny	18.4769	1724; 588; 602; 1101; 838				
Lewy region	1043	1723; 632; 673; 841; 837				
Prawy region	1006	1722; 638; 632; 839; 837				
		1721; 638; 677; 837; 836				
		1720; 643; 682; 836; 835				

Topologia:Działki		id_krawedzi; id_wezla_pocz; id_wezla_kon; lewy_region; prawy_region				
Typ	Centroida regionu					
Identyfikator	1021					
Obszar	784.2891					
Obwód	114.9723					
Połączenia	5					

id_krawedzi	id_wezla_pocz	id_wezla_kon	lewy_region	prawy_region
1730	668	670	1103	842
1729	616	628	842	840
1728	628	632	841	840
1727	609	632	840	839
1726	602	609	1101	839
1725	602	638	839	838
1724	588	602	1101	838
1723	632	673	841	837
1722	638	632	839	837
1721	638	677	837	836
1720	643	682	836	835

Rys. 2. Dane topologiczne w topologii obszarowej zapisane w różnych formatach

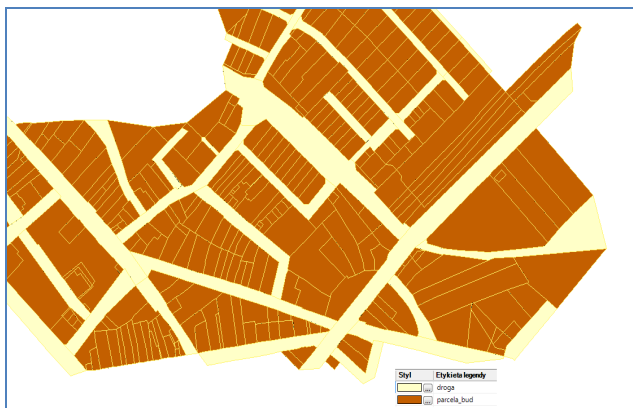
Źródło: opracowanie własne

Dostępność do plików opisujących dane topologiczne, geometryczne i atrybutowe stwarza możliwości przetwarzania danych i tworzenia nowych modeli, które mogą być wykorzystane do nowych zadań analitycznych. We wcześniejszych opracowaniach (Lewandowicz 2009, 2011) przedstawiano przekształcenia topologii na podstawie zapisów w formie algebraicznej. Pokazywano przekształcenia algebraiczne i wizualizowano je grafami geometrycznymi. Obecnie podobne przekształcenia wykonano na podstawie powiązań danych topologicznych, geometrycznych i atrybutowych, zapisanych w tabelach atrybutowych.

4. Opracowania tematyczne na podstawie topologii, geometrii i atrybutów

Dane topologiczne uzupełniają dane geometryczne i atrybutowe. Zbiory tych danych są wykorzystywane w przetwarzaniu (Lee, Yunus 2003). Najczęściej są

stosowane w narzędziach do przekształceń zbiorów (Zhao, Zhou 1999) z formy topologicznej do obiektowej, zwykle z formy CAD do klas obiektów (SDF, SHP).



Rys. 3. Mapa ewidencyjna po przekształceniach z dxf (rys. 1) do SDF z wyróżnieniem działek pasa drogowego
Źródło: opracowanie własne

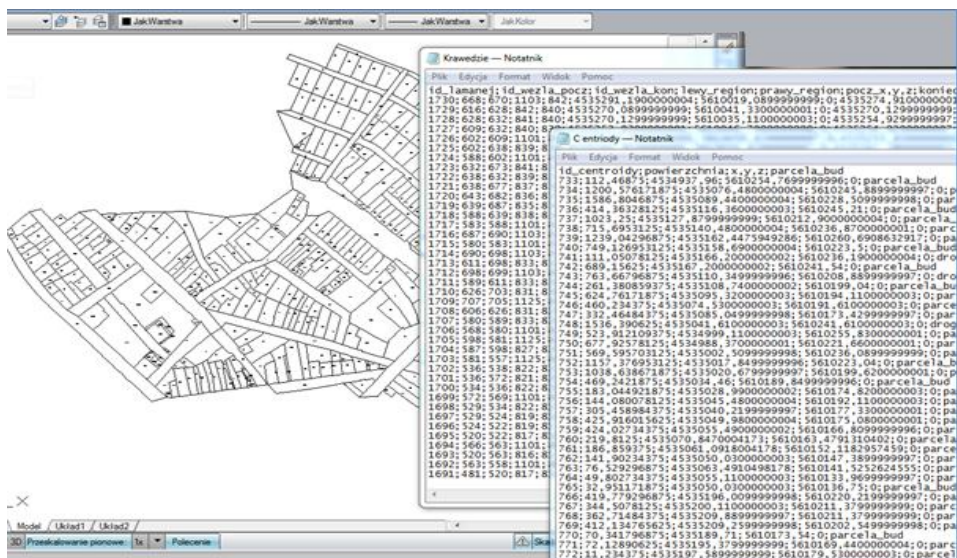
Rysunek 3 pokazuje efekty takich przekształceń. Na podstawie atrybutów wykonano prezentację tematyczną, obrazującą wyróżnienie działek pasa drogowego. Takie przekształcenia wykorzystujące topologię są najczęściej stosowane.

4.1. Eksport danych topologicznych, geometrycznych i atrybutowych

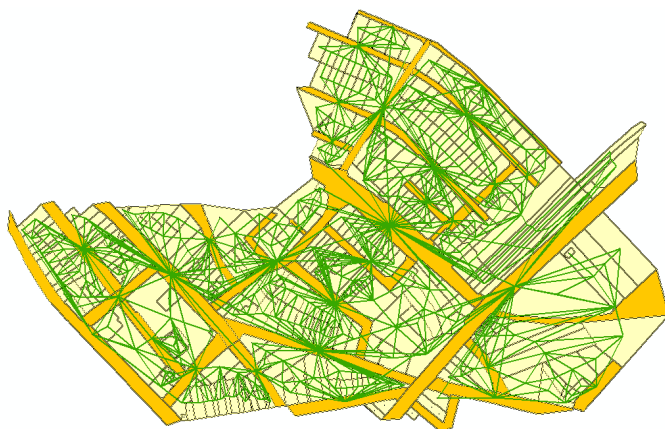
W oprogramowaniu GIS, poprzez zapytania SQL, można uzyskać raport z wybranymi danymi, np. odnoszącymi się do obiektów katastralnych. Na rysunku 4 zaprezentowano raporty łączące dane topologiczne, geometryczne oraz atrybutowe, zapisane w notatniku. Pliki z tymi danymi można niezależnie przetwarzać w wybranych narzędziach, np. w tych prostych Excel, Access, za pomocą procedur (python), a nawet w ArcGIS.

4.2. Model sąsiedztwa parcel

Dane zapisane w tabelach topologicznych wykorzystywano do budowy modeli sąsiedztwa działek ewidencyjnych. Podstawą takiego modelu jest informacja o lewym i prawym poligonie przylegającym do krawędzi. Po połączeniu centroidów działek leżących przy jednej linii granicznej (krawędzi) otrzymano model wizualizowany (rys. 5). Utworzono go na podstawie danych topologicznych przypisanych krawędziom i danych geometrycznych przypisanych centroidom działek.



Rys. 4. Dane topologiczne, geometryczne i atrybutowe wyeksportowane z systemu CAD
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z rysunku 1



Rys. 5. Model sąsiedztwa parcel uzyskany z danych topologicznych
Źródło: opracowanie własne

Prezentowane przetworzenie można opisać matematycznie. Przyjmijmy, że zbiór centroidów (działek ewidencyjnych) jest opisany jako C , $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$, a krawędzie (obrazujące linie graniczne) przyjmijmy jako zbiór K , gdzie $K = \{k_1, k_2, \dots, k_r\}$. W topologii każdej krawędzi przypisany jest lewy (lR) oraz prawy region (pR), czyli można przekształcić zbiór K i utworzyć zbiór K^{LP} (1) opisany parami regionów (2), a także parami centroidów regionów, przypisanych każdej krawędzi (3):

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_r\} \rightarrow K^{LP}. \quad (1)$$

$$K^{LP} = \{(lR, pR)_{k_1}, (lR, pR)_{k_2}, \dots, (lR, pR)_{k_r}\}. \quad (2)$$

$$C^{kr} = \{(c_{i_{k_1}}, c_{j_{k_1}})_{k_1}, (c_{i_{k_2}}, c_{j_{k_2}})_{k_2}, \dots, (c_{i_{k_r}}, c_{j_{k_r}})_{k_r}\}. \quad (3)$$

Zbiór K^{LP} jest podzbiorem iloczynu kartezjańskiego $C \times C$ (4,5,6).

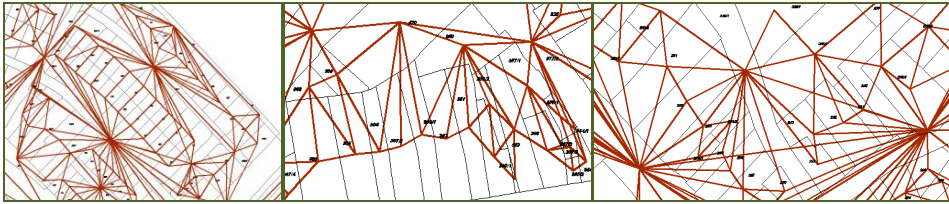
$$C^{kr} \subset (C \times C), \quad (4)$$

gdzie:

$$C^{kr} = \{(c_{i_{kr}}, c_{j_{kr}}) : c_{i_{kr}} \in C, c_{j_{kr}} \in C\}, r \in \{1, 2, \dots, r\}, \quad (5)$$

$$\wedge_{kn}(c_{i_{kr}}, c_{j_{kr}}) = \begin{cases} c_{i_{kr}} = \text{centroid lewego poligonu}_{kr} \\ c_{j_{kr}} = \text{centroid prawego poligonu}_{kr} \end{cases}. \quad (6)$$

C^{kn} zawiera wybrane pary centroidów obszarów (działek ewidencyjnych) leżących po lewej i prawej stronie krawędzi k_n .



Rys. 6. Zróżnicowany charakter struktur geometrycznych danych katastralnych
Źródło: opracowanie własne

Łącząc linią pary centroidów ze zbioru C^{kn} , otrzymujemy model sąsiedztwa działek ewidencyjnych (rys. 5). Wydłużona struktura działek pasa drogowego wpływa na kształt tego modelu. Należy zauważyć, że w strukturach regularnych podziałów katastralnych model sąsiedztwa jest geometrycznie uporządkowany w formie gwiaździstej (rys. 5). W strukturze nieregularnych podziałów, model geometryczny jest chaotyczny, co szczególnie widać na załączonych, wybranych fragmentach prezentacji graficznych, przedstawionych na rysunku 6.

5. Budowa modelu sieci drogowej na podstawie modelu sąsiedztwa z wykorzystaniem danych atrybutowych

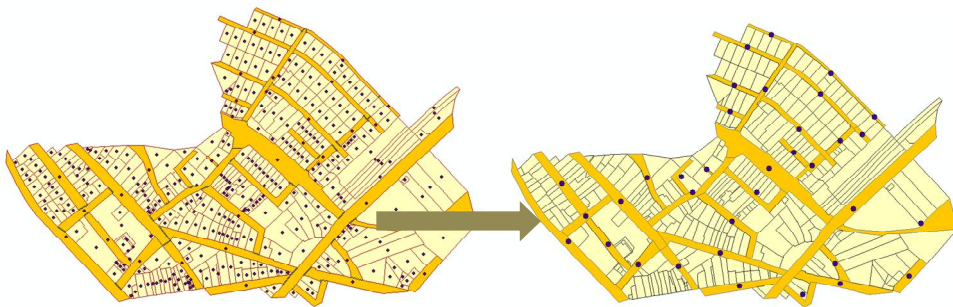
W przedstawionym modelu sąsiedztwa wykorzystano dane topologiczne i geometryczne. Dane atrybutowe zawierają dodatkowe informacje i zostały wykorzystane do utworzonego modelu tematycznego. Autorzy dysponowali tylko danymi związanymi z podziałem działek ze względu na formę zagospo-

darowania związaną z wyróżnieniem działek pasa drogowego. Z tego względu podjęto się utworzenia modelu np. sieci drogowej. We wcześniejszej publikacji (Lewandowicz 2009) przedstawiano taki model oparty tylko na centroidach działek pasa drogowego, obecnie go rozbudowano.

W pierwszym etapie wyselekcjonowano dane (rys. 8) związane z siecią drogową, to znaczy, że ze zbioru opisującego centroidy C wybrano tylko te, które są związane z parcelą pasa drogowego C_{dr} (7, 8).

$$C_{dr} \subset C \quad (7)$$

$$C_{dr} = \{c_{dr_1}, c_{dr_2}, \dots, c_{dr_i}\}, \text{ gdzie u\k{zytkowanie } } c_{dr_i} = \text{droga} \quad (8)$$



Rys. 7. Selekcja centroid działek pasa drogowego

Źródło: opracowanie własne

Ze zbioru krawędzi K , $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ wybrano podzbiór K_{dr} zawierający tylko krawędzie (rys. 5), które po prawej i lewej stronie mają działki pasa drogowego (9, 10).

$$K_{dr} \subset K. \quad (9)$$

$$K_{dr} = \{k_{dr_1}, k_{dr_2}, \dots, k_{dr_j}\}, \quad (10)$$

gdzie:

$$\bigwedge_{drj} k_{drj} = \begin{cases} \text{u\k{zytkowanie lewego poligonu} = \text{droga} \\ \text{u\k{zytkowanie prawego poligonu} = \text{droga}. \end{cases}$$

Dla każdej wybranej krawędzi określono punkt środkowy $C_{kr_{dr}}$, $X_{ckr_{dr-i}}$, $Y_{ckr_{dr-i}}$ (11) na podstawie danych geometrycznych – współrzędne X i Y , węzła początkowego oraz końcowego. Wyliczono współrzędne węzłów $C_{kr_{dr}}$ (12, 13) i przypisano im atrybuty odpowiadające krawędziom (rys. 8).

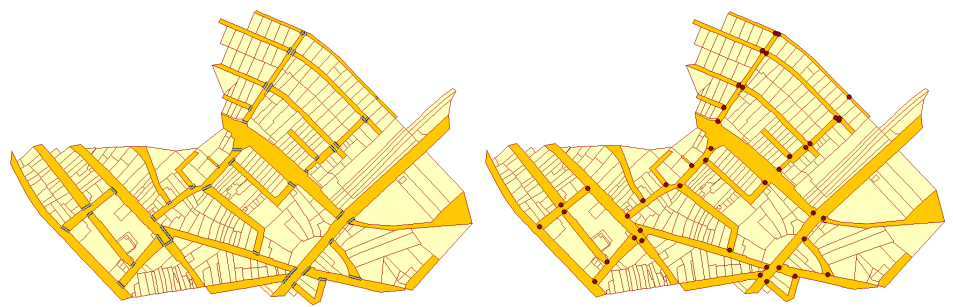
$$K_{dr} \rightarrow C_{kr_{dr}} \quad (11)$$

$$X_{c_{kr_{dr_i}}} = \frac{X_{wezła_pocz\ k_{kr_{dr_i}}} + X_{wezła_konc\ k_{kr_{dr_i}}}{2},$$

(12)

$$Y_{c_{kr_{dr_i}}} = \frac{Y_{wezła_pocz\ k_{kr_{dr_i}}} + Y_{wezła_konc\ k_{kr_{dr_i}}}{2}.$$

(13)



Rys. 8. Selekcja krawędzi związanych z pasem drogowym,
utworzenie zbioru punktów środkowych $C_{kr_{dr}}$
Źródło: opracowanie własne

Wynik przedstawionych przekształceń zapisano w tabelach atrybutowych przedstawionych na rysunku 9.

ID	LEFT_POLYG	RIGHT_POLY	uzytkowani	x cent-krawedz	Y-cent-krawedzi	ID-centoidy-dr	uzytkowani	Nr_dzialki	X_cent	Y_cent
2223	950	1126	droga	4535346,15	5610027,48	1126	droga	1/3	4535456,15	5610155,16
2226	1101	1126	droga	4535322,75	5610028,70	1125	droga	372/2	4535115,12	5610042,74
2225	1103	1126	droga	4535309,68	5610013,61	1124	droga	372/1	4535002,57	5610170,46
1169	1084	1124	droga	4534982,46	5610179,20	1123	droga	173/8	4534887,37	5610204,36
2246	1125	1124	droga	4535085,72	5610079,60	1118	droga	263	4535142,50	5610188,46
1303	920	1118	droga	4535206,08	5610233,64	1116	droga	208/2	4535588,46	5610127,93
2245	1124	1118	droga	4535058,14	5610126,70	1111	droga	169/4	4535420,94	5610048,29
1138	1126	1116	droga	4535430,59	5610122,54	1106	droga	186/78	4535291,34	5610234,81
2240	1126	1111	droga	4535393,53	5610082,98	1103	droga	340/2	4535233,51	5610003,02
1877	920	1106	droga	4535319,21	5610191,13	1101	droga	322/2	4535196,42	5610070,14
1147	1118	1106	droga	4535216,72	5610255,97	1095	droga	414/3	4534899,59	5610091,86
1149	1126	1106	droga	4535410,69	5610133,09	1091	droga	278	4535375,79	5610240,72
2234	1124	1101	droga	4535081,94	5610099,24	1084	droga	374/3	4534933,77	5610141,05
2220	1106	1091	droga	4535346,21	5610216,36	1074	droga	373/13	4534977,40	5610086,16
1166	1095	1084	droga	4534890,55	5610106,71					
2204	1123	1084	droga	4534931,22	5610148,37					

Rys. 9. Widok danych topologicznych, geometrycznych i atrybutowych
przygotowanych do budowy modeli sieci drogowej
Źródło: opracowanie własne

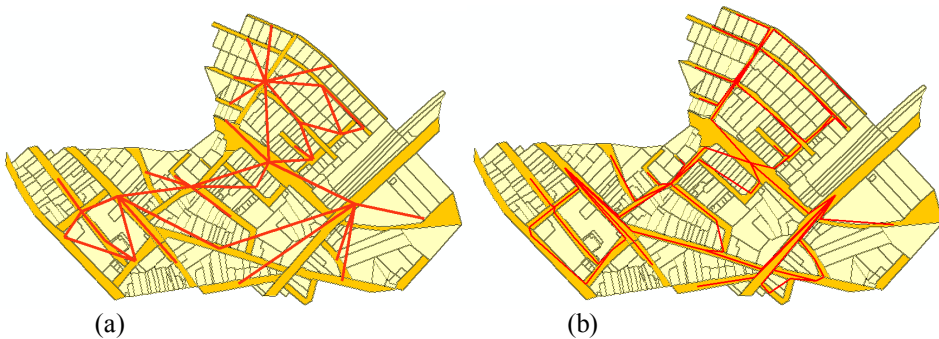
Na podstawie wyselekcjonowanych zbiorów C_{dr} i $C_{kr_{dr}}$ otrzymano punkty będące podstawą budowy modeli sieci drogowych (rys. 10).



Rys. 10. Punkty charakterystyczne związane z siecią drogową: centroidy działek pasa drogowego i krawędzi będących w sąsiedztwie dwóch działek pasa drogowego

Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 11a przedstawiono model utworzony na zbiorze punktów opisanych zbiorem C_{dr} , a na rysunku 11b model utworzony na bazie sumy zbiorów C_{dr} i $C_{kr_{dr}}$. Utworzono je za pomocą powiązania zbiorów centroidów krawędziami na podstawie danych topologicznych.



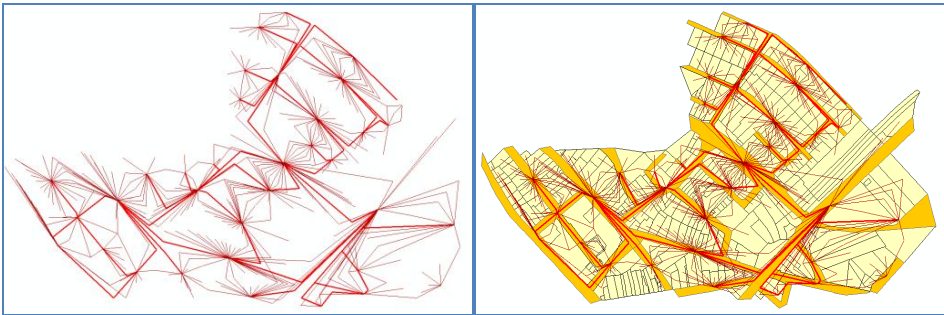
Rys. 11. Dwa modele sieci drogowej zbudowane na podstawie danych geometrycznych, topologicznych i atrybutowych danych katastralnych; lewy (a) zbudowany na centroidzie działek pasa drogowego, prawy (b) uzupełniony o punkty identyfikujące krawędzie pasa drogowego

Źródło: opracowanie własne

Uzyskane modele w różny sposób prezentują sieć drogową. Nie są one rozwiązaniami w pełni satysfakcjonującymi, ale w przypadku braku modeli profesjonalnych mogą odgrywać istotną rolę w analizach przestrzennych. Są uzyskane poprzez przekształcenia danych katastralnych, za pomocą dostępnych narzędzi w oprogramowaniu GIS.

6. Model dostępności do działek z pasa drogowego

Modele dostępności do działek z pasa drogowego zbudowano, opierając się na zdefiniowanych relacjach topologicznych i atrybutach zapisanych w zbiorze C^{kn} . Wykonano selekcję w celu otrzymania podzbiorów opisanych parami atrybutów; droga-parceta lub parcella-droga. Na podstawie tych podzbiorów utworzono model prezentowany na rysunku 12. Jest on uproszczoną formą zapisu dostępności, wynikającą z geometrii i topologii. Realna dostępność wynika z formy zagospodarowania działek, zabudowy granic, służebności. Te dane powinny być brane pod uwagę w profesjonalnych rozwiązaniach. W niniejszym artykule, z powodu braku szczegółowych danych atrybutowych, ograniczono się do prezentowanego rozwiązania.



Rys. 12. Model dostępności do działek ewidencyjnych
pokazany niezależnie i na mapie podkładowej
Źródło: opracowanie własne

W przedstawionym modelu można analizować struktury katastralne. Należy zauważyć, że forma gwiazdista jest optymalnym rozwiązaniem, gdy dojazd do parcel jest jednostronny. Forma figur zamkniętych wskazuje na rozbudowaną sieć drogową, często w nieuporządkowanej strukturze. Możliwy dojazd do parcel z dwóch stron wydaje się być nie zawsze ekonomicznym rozwiązaniem.

7. Wnioski końcowe

W artykule przedstawiono wizualizacje przekształceń danych w GIS z wykorzystaniem topologii, geometrii i atrybutów, zapisanych w tabelach tekstowych. Szczególną rolę w tych przekształceniach miały narzędzia GIS związane z budową topologii, selekcją, relacjami, eksportem i importem danych. Ta forma przekształceń jest bardziej zrozumiała, powinna zachęcić do wykorzystywania tych możliwości do innych zastosowań.

Zbudowane modele mogą posłużyć nie tylko do analiz sieciowych, ale także do oceny struktur przestrzennych. Zaprezentowana metodyka przekształceń, z wykorzystaniem narzędzi GIS, może być stosowana do innych zbiorów przestrzennych (Lee, Zlatanova 2008).

Literatura

- Ahuja P.K., Magnanti T.L., Orlin J.B., 1993, *Network flows, theory, algorithms and applications*, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Bera R., Claramunt Ch., 2003, *Topology-based proximities in spatial systems*, „Journal of Geographical Systems Springer-Verlag”, 5, s. 353–379.
- Kulikowski J.L., 1986, *Zarys teorii grafów*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Lee J., Yunus H., 2003, *3DCadastre system using the node-relation structure in GIS*, [w:] *Proceeding of 24th Annual ESRI International User Conference*, San Diego.
- Lee J., Zlatanova S., 2008, *A 3D data model and topological analyses for emergency response in urban areas*, [w:] Zlatanova S., Lee J. (red.), *Geo-Information technology for emergency response*, Taylor & Francis, London, s. 143–168.
- Lewandowicz E., 2009, *Dane katastralne jako baza do rozbudowy modelu sieci drogowej*, „Roczniki Geomatyki”, 7/5 (35), s. 97–102.
- Lewandowicz E., 2011, *Algebraic transformations of cadastral topological data*, „Journal of Applied Geodesy”, 5 (3–4), s. 117–185.
- Lewandowicz E., 2012, *Topological structure of cadastral space*, [w:] *Geodezja i kartografia. Pozyskiwanie i przetwarzanie informacji w geodezji i kartografii*, SAN Łódź, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, s. 46–55.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2010, *Geographic information systems and science*, Jon Wiley & Sons, Chichester.
- Loudon K., 1999, *Mastering algorithms with C*, O'Reilly Media.
- Molenaar M., 1998, *An introduction to the theory of spatial object modeling for GIS*, Taylor & Francis, London.
- Sullivan D., Unwin D., 2002, *Geographic information analysis*, Jon Wiley & Sons, Chichester.
- Theobald D.M., 2001, *Topology revisited: Representing spatial relations*, „International Journal of Geographical Information Science”, 15 (8), s. 689–705.
- Zhan F.B., 1998, *Representing Networks*. NCGIA Core Curriculum in GIScience: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u064/u064.html>, created November 5, 1998.
- Zhao J., Zhou Y., 1999, *The methods of topology building and parcel updating in land information system*, Towards Digital Earth, Proceedings of the International Symposium on Digital Earth Science Press, s. 807–811.

CONVERSION TOPOLOGICAL GEOMETRIC AND ATTRIBUTE GIS DATA TO ANALYTICAL MODELS

This paper presents methods of GIS data transformations in order to acquire analytics models. These models are mainly based on topology rules and are visualized as graphs. Using cadastral maps model of road network datasets and parcel accessibility was developed. It may be applied in network analysis. When they are visualized as graphs, cadastral structures are exposed. Parts of graphs with stellate shape indicates regular structure of plots.

Keywords: *cadastral, cadastral structure model*

Dr hab. inż. Elżbieta Lewandowicz
UWM w Olsztynie, Katedra Geodezji Szczegółowej
SAN w Łodzi
e-mail: lella@uwm.edu.pl

Mgr inż. Alicja Packa
Warszawskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne
e-mail: alicjapacka@gmail.com

Mgr inż. Szymon Kondratowicz
UWM w Olsztynie, Katedra Geodezji Szczegółowej
e-mail: szymonkondratowicz@gmail.com

Piotr Fogel

WSPOMAGANIE PROCESU TWORZENIA POLITYKI PRZESTRZENNEJ W GMINIE POPRZEZ WYKORZYSTANIE PROSTYCH ANALIZ GIS

Pomimo iż systemy informacji przestrzennej zostały stworzone m.in. w celu przetwarzania ogromnej ilości informacji, bez której racjonalne planowanie przestrzenne nie może istnieć, to jednak system planowania przestrzennego, którego wyrazem są powszechnie obowiązujące przepisy prawa, pozostaje obojętny na technologie mogące usprawnić i zracjonalizować proces gospodarowania przestrzenią. Artykuł prezentuje sposób, w jaki, niezależnie od przepisów, GIS może wspomagać planowanie przestrzenne na lokalnym poziomie zarządzania. Rozważania teoretyczne, dotyczące metod wspomaganie procesu planowania przez technologię GIS, wzbogacono o wyniki analiz przestrzennych opracowanych dla Zawiercia, miasta, w którym decyzje o kierunkach rozwoju przestrzennego wymagały uwzględnienia szeregu ograniczeń.

Słowa kluczowe: *polityka przestrzenna, technologie GIS*

1. Ogólne uwarunkowania systemowe wykorzystania GIS w planowaniu przestrzennym

Gospodarowaniem dobrem rzadkim, jakim jest przestrzeń, i planowaniem zmian, które mogą w niej zachodzić, zajmuje się gospodarka przestrzenna. Ta dyscyplina badań ma długoletnie tradycje oraz wymiar aplikacyjny, którym jest planowanie przestrzenne. Wpisany w ramy prawa system planowania opiera się na dwóch pryncypiach: ładzie przestrzennym i zrównoważonym rozwoju. Obie te zasady pozostają niedookreślone i w praktyce ich przestrzeganie jest trudne do stwierdzenia, a analizując wyniki planowania, można odnieść wrażenie, że szczególnie ta druga zasada jest przez samorządy lokalne nagminnie łamana.

Najważniejszym wynikiem procesu planowania przestrzennego jest społeczno-ekonomiczne przeznaczenie terenu na różne funkcje, co nie pozostaje bez wpływu na wartość nieruchomości i jest przedmiotem licznych nacisków i nadużyć ze strony właścicieli nieruchomości i inwestorów. Przebieg procesu planowania przestrzennego i metody stanowienia dokumentów planistycznych były tematem wielu prac naukowych, w których autorzy krytycznie odnosili się do sposobu gospodarowania przestrzenią, w szczególności do ilości terenów wska-

zanych do zabudowy (Jędraszko 2005, 2008, Lorens 2005, Kozłowski 2006, A. Fogel 2012).

Kluczowym dokumentem planistycznym jest studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego (dalej określane jako „studium”), które zawiera ustalenia polityki przestrzennej gminy. Opracowanie to nie jest prawem miejscowym, lecz jest wiążące dla jego tworzenia. To na etapie tworzenia polityki przestrzennej zapadają najważniejsze dla mieszkańców decyzje o społeczno-gospodarczym przeznaczeniu terenu. Dlatego też w trakcie przygotowania tego dokumentu naciski ze strony różnych interesariuszy na korzystne dla nich rozstrzygnięcia w zakresie przeznaczania terenu, głównie na cele budowlane, są ogromne.

Istotą planowania przestrzennego, jak wcześniej zaznaczono, jest wskazywanie optymalnego, z punktu widzenia gminy, sposobu zagospodarowania przestrzennego, które jest możliwe do ustalenia jedynie wskutek przetwarzania dużej ilości informacji. Waga tych informacji ma swoje odzwierciedlenie w przepisach prawa oraz w przyjętym przez lokalną społeczność systemie wartości. Jednocześnie przepisy te, nakazując wykorzystanie informacji, nie wskazują na obowiązek stosowania narzędzi do skutecznego jej przetwarzania, pozostawiając całkowitą dowolność zarówno samorządom lokalnym, jak i projektantom. Tymczasem badania nad wykorzystaniem skuteczności technologii GIS w praktyce planowania przestrzennego były prowadzone w Instytucie Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa już w latach 90. XX w. Główny nurt badań dotyczył wspomagania procesu podejmowania decyzji poprzez wykorzystanie szerokich możliwości analitycznych narzędzi GIS. Niestety należy zaznaczyć, że brak obowiązku prawnego wykorzystania zaawansowanych technik analitycznych w trakcie opracowywania dokumentów planistycznych rzutuje na powszechność ich stosowania, a tym samym pośrednio na jakość opracowań.

2. GIS w ustalaniu polityki przestrzennej – aspekt praktyczny

Trudno sobie współcześnie wyobrazić prace nad tworzeniem polityki przestrzennej bez wspomagania technikami GIS. Dostępne narzędzia są wykorzystywane na wszystkich etapach opracowania studium, choć zarówno wachlarz wykorzystywanych analiz, jak i prezentacja wyników zależą od umiejętności zespołu projektowego. Często zdarza się, że wyposażone w doskonałe analityczne moduły aplikacje służą wyłącznie do przygotowania atrakcyjnej wizualnie mapy.

Proces przygotowania studium obejmuje kilka etapów. Do najważniejszych należą:

- zgromadzenie i przeanalizowanie informacji istotnych dla podejmowania decyzji o przeznaczeniu terenu – faza uwarunkowań,

- ustalenie możliwych kierunków rozwoju przestrzennego, ale także barier w jego rozwoju – faza formułowania polityki przestrzennej,
- negocjacje z właścicielami nieruchomości w zakresie korekt przeznaczenia terenu – faza konsultacji społecznych.

Analizując literaturę naukową i obserwując skutki ustalanych przez gminy polityk przestrzennych, daje się zauważyć brak jeszcze jednej fazy procesu planowania – weryfikacji końcowej przyjmowanego studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego w zakresie skali i poprawności przyjętych rozwiązań. Brak etapu kontroli efektu ustalania polityki przestrzennej prowadzi do liberalizacji podejścia do gospodarowania przestrzenią, której przejawem są:

- rozlewanie się zabudowy na tereny otwarte,
- niska wartość estetyczna zespołów zabudowy, realizowanych bez jednolitych reguł kształtowania form przestrzennych, np. brył budynków,
- niszczenie naturalnych walorów środowiska przyrodniczego i kulturowego, w tym krajobrazu,
- narastanie konfliktów funkcjonalnych i przestrzennych,
- trudności z realizacją przedsięwzięć komunikacyjnych i infrastrukturalnych, zapewniających wysoki poziom obsługi terenów zabudowanych,
- powstawanie mało sprawnej i kosztownej struktury urbanistycznej,
- spadek cen gruntów w dłuższym horyzoncie czasowym (Wiland 2009).

Jednocześnie, poza długofalowymi ekonomicznymi, środowiskowymi i społecznymi skutkami niewłaściwych działań w przestrzeni, P. Fogel (2012) wskazał te, które bezpośrednio wynikają z błędnego podejmowania decyzji i wpływają na spadek jakości życia mieszkańców. Zaliczył do nich:

- przeznaczanie terenów na cele budowlane nieproporcjonalne do prognozowanej liczby ludności,
- wskazywanie do zabudowy obszarów o niekorzystnych z punktu widzenia inżynierjno-technicznego warunkach środowiskowych (np. obszarów zagrożenia powodziowego, narażonych na osuwanie się mas ziemnych, podmokłych),
- wprowadzanie zabudowy na tereny leżące daleko poza zasięgiem podstawowej infrastruktury technicznej (np. sieć wodociągowa, kanalizacyjna, elektroenergetyczna, gazowa),
- umożliwianie zabudowy na obszarach dotychczas otwartych, o wysokich walorach przyrodniczych lub kulturowych, w tym krajobrazowych.

Dla identyfikacji i zwymiarowania wymienionych nieprawidłowości zaproponowano wykorzystanie analitycznych możliwości aplikacji GIS. Jednocześnie w trakcie oceny polityki przestrzennej odstąpiono od wykorzystania skomplikowanych analiz wielokryterialnych na rzecz metod prostych zarówno do wykonania, jak i do interpretacji. Rezultatem prowadzonych analiz może być obliczenie i prezentacja niezależnych, niepowiązanych bezpośrednio ze sobą wskaźników, które stanowią wynik przetwarzania informacji przestrzennej, za-

wartej w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy, dla których zaproponowano nazwę Wskaźniki Oceny Polityki Przestrzennej (WOPP). W odniesieniu do problematyki skutków planowania miejscowego zaproponowano łącznie 27 wskaźników (14 głównych i 13 pomocniczych) w podziale na pięć grup tematycznych: gospodarowanie terenem, demografia, bezpieczeństwo, presja na środowisko, infrastruktura (P. Fogel 2012).

Grupa gospodarowanie terenem zawiera wskaźniki odnoszące się do zestawienia powierzchni terenu przeznaczonych na różne funkcje. Wskaźniki te pozwalają na zachowanie kontroli nad skalą potencjalnych zmian zachodzących w użytkowaniu terenu. Dodatkowo wskazują na potencjalne rozbieżności pomiędzy założeniami a realizowaną polityką przestrzenną. Dane wejściowe do obliczeń lub gotowe wskaźniki stanowią bazę dla obliczania wskaźników z innych grup. Wskaźniki demograficzne informują o ludnościowych konsekwencjach planowania przestrzennego, przez które należy rozumieć możliwą do zamieszkania liczbę osób na terenach wskazanych do zainwestowania. Ułatwiają porównanie proponowanej skali przekształceń terenu z możliwościami jego efektywnego wykorzystania, wynikającymi z rzeczywistych prognoz demograficznych. Wskaźniki z grupy bezpieczeństwo pokazują skalę zagrożeń ze strony procesów przyrodniczych dla terenów zainwestowanych. Informują o błędnie podejmowanych decyzjach dotyczących przeznaczenia terenu na cele budowlane w planowaniu miejscowym. Wskaźniki presji na środowisko wskazują na skalę rozbieżności pomiędzy zakładaną polityką przestrzenną a wymogami ochrony zasobów przyrodniczych. Wskaźniki z grupy infrastruktura wskazują na skalę potrzeb w zakresie uzbrojenia terenów inwestycyjnych. Ich listę prezentuje tabela 1.

Tabela 1

Wskaźniki Oceny Polityki Przestrzennej

Grupa wskaźników	Wskaźnik główny	Wskaźnik pomocniczy
Gospodarowanie terenem	Bilans terenu obszarów funkcjonalnych	Wskaźnik zmiany powierzchni terenów zabudowy mieszkaniowej i usługowej Wskaźnik zmiany powierzchni terenów zabudowy techniczno-produkcyjnej Wskaźnik zmiany powierzchni terenów komunikacji Wskaźnik zmiany powierzchni terenów leśnych Wskaźnik zmiany powierzchni terenów rolnych

Demograficzne	Pojemność demograficzna terenów wskazanych do zabudowy mieszkaniowej	Wskaźnik rozbieżności demograficznej rozwoju przestrzennego
Bezpieczeństwa	Wskaźnik zabudowy terenów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi Wskaźnik zabudowy terenów narażonych na osuwanie się mas ziemnych Wskaźnik zabudowy terenów o niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych	Wskaźnik przyrostu zabudowy na terenach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi Wskaźnik przyrostu zabudowy na terenach o niekorzystnych warunkach gruntowo-wodnych
Presji na środowisko	Wskaźnik zabudowy terenów o najwyższym potencjale dla rozwoju rolnictwa Wskaźnik zabudowy terenów zmeliorowanych Wskaźnik przeznaczenia lasów pod zabudowę Wskaźnik ekspansji zabudowy (zmiany funkcji) Wskaźnik zabudowy terenów objętych prawnymi formami ochrony przyrody Wskaźnik zmiany powierzchni terenów o funkcjach mogących znacząco oddziaływać na środowisko Wskaźnik zmiany powierzchni zabudowy stref ochrony pośredniej ujęć wody	Szczegółowy wskaźnik zabudowy terenów o najwyższym potencjale dla rozwoju rolnictwa Wskaźnik zabudowy obszarów Natura 2000 Wskaźnik zabudowy parków krajobrazowych Wskaźnik zabudowy obszarów chronionego krajobrazu Wskaźnik zabudowy stref ochrony pośredniej ujęć wody przedsięwzięciami mogącymi znacząco oddziaływać na środowisko
Infrastruktura	Wskaźnik zabudowy na terenach nieposiadających podstawowego uzbrojenia w sieć wodociągową i kanalizacyjną Wskaźnik prognozowanego zapotrzebowania na wodę do celów gospodarczo-bytowych	

Źródło: P. Fogel (2012).

Wymienione mierniki, składające się na WOPP, nie wyczerpują zagadnień badawczych, wynikających ze zmian zachodzących w środowisku, wywołanych gospodarowaniem przestrzenią, choć nie zawsze pełen ich zestaw jest możliwy do kwantyfikacji w każdej gminie, gdyż odnoszą się one do uwarunkowań środowiskowych, czasem niemożliwych do ujęcia w jednostkach administracyjnych. Niemniej jednak, zdaniem autora, identyfikują najważniejsze problemy, które należy rozstrzygać w czasie podejmowania decyzji o przeznaczeniu terenu.

3. Analizy GIS w procesie wspomagania planowania przestrzennego

Głównymi narzędziem do obliczeń WOPP jest pomiar. Jest to jedna z najprostszych analiz GIS do obliczeń Wskaźników Oceny Polityki Przestrzennej. Dzięki niej w sposób łatwy i szybki można obliczyć kluczowy dla oceny racjonalności rozwiązań planistycznych wskaźnik, którym jest bilans terenów. Pod tym określeniem kryje się stosunek powierzchni różnych typów zagospodarowania i przeznaczenia terenu do całkowitej powierzchni gminy, wyrażonej w odsetkach, w układzie dynamicznym dla stanu istniejącego i docelowego. Bilanse te można zapisać poniższym wzorem, przy czym indeks 1 określający istniejący lub 2 – projektowany stan zagospodarowania należy stosować łącznie:

$$\begin{array}{l}
 \text{Bilans terenu w stanie istniejącym} \\
 \text{lub projektowanym}
 \end{array}
 = \sum \begin{array}{l}
 P_{MU1/2} \\
 P_{R1/2} \\
 P_{P1/2} \\
 P_{W1/2} \\
 P_{L1/2} \\
 P_{Z1/2} \\
 P_{K1/2} \\
 P_{IT1/2}
 \end{array}
 \times \frac{1}{P_G} \times 100\%
 \begin{array}{l}
 \text{Tereny zabudowy mieszkaniowej} \\
 \text{i usługowej} \\
 \text{Tereny rolnicze} \\
 \text{Tereny zabudowy techniczno-} \\
 \text{-produkcyjnej} \\
 \text{Tereny wód powierzchniowych} \\
 \text{Tereny lasów} \\
 \text{Pozostałe tereny zieleni} \\
 \text{Tereny komunikacji} \\
 \text{Tereny infrastruktury technicznej}
 \end{array}$$

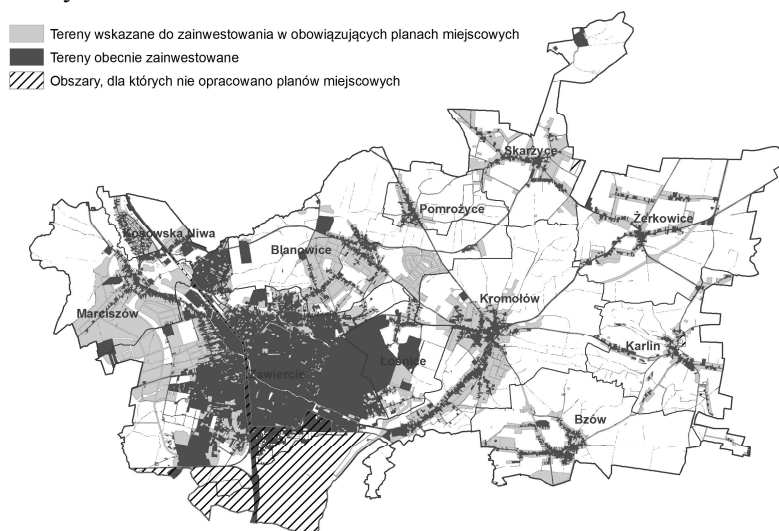
gdzie:

P_G – oznacza powierzchnię całkowitą gminy,

P_X – oznacza powierzchnię poszczególnych wydzielen funkcjonalnych opisanych powyżej, indeks 1 po symbolu przeznaczenia terenu oznacza istniejący stan zagospodarowania, a indeks 2 oznacza stan projektowany.

Analiza wskaźników zrównoważonego rozwoju stosowanych na świecie, zarówno o charakterze globalnym, krajowym, jak i lokalnym, wskazuje, że przy ocenie sposobu wykorzystania terenu jest to jeden z najczęściej przywoływanych mierników. Wskazać przy tym należy (co już zaznaczono), że w przypadku oceny polityki przestrzennej nie można opierać się jedynie na analizie stanu istniejącego w zakresie rozmieszczenia funkcji terenu. Wagę takiego podejścia do problemu potwierdza zdefiniowanie, w ustawie o infrastrukturze informacji przestrzennej, pojęcia „zagospodarowanie przestrzenne”, które rozumiane jest jako zagospodarowanie terenu w jego obecnym lub przyszłym wymiarze funkcjonalnym lub przeznaczenie społeczno-gospodarcze terenu, w tym m.in. mieszkaniowe, przemysłowe, handlowe, rolnicze, leśne, wypoczynkowe, wynikające z dokumentów planistycznych.

Konieczność analizowania zagospodarowania przestrzennego przez pryzmat przeznaczenia terenu na cele budowlane w planach miejscowych ilustruje rysunek 1, prezentując proporcje pomiędzy obszarami, na których istnieje zabudowa i równocześnie istnieje obecnie prawo do zabudowy, w związku z czym nowe budynki mogą tu powstać w każdym momencie. Należy przy tym podkreślić, że problemem współczesnego planowania przestrzennego nie jest sama obecność rezerw terenów budowlanych, ale ogromna wielkość ich powierzchni. Dlatego też, badając stopień zrównoważenia planowania przestrzennego na poziomie lokalnym, należy skalę dopuszczalnych zmian odnosić do prognozowanej liczby ludności.



Rys. 1. Zawiercie. Tereny zainwestowane na tle terenów wskazanych do zainwestowania w planach miejscowych (stan na 2012 r.)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Zawiercie

Potrzeba parametryzowania przestrzeni, także w kontekście przyszłego kształtowania funkcji, została dostrzeżona przez ministra transportu, budownictwa i gospodarki morskiej, który poza monitoringiem postępu prac planistycznych oczekuje od samorządów informacji o procentowym udziale w powierzchni gmin terenów przeznaczonych w studium uwarunkowań i planach miejscowych na cele:

- mieszkaniowe wielorodzinne,
- mieszkaniowe jednorodzinne,
- usługowe,
- produkcyjne,
- komunikacyjne,
- infrastruktury technicznej,
- rolnicze,
- zieleni i wód,
- inne¹.

Analiza losowo wybranych, dostępnych w Internecie 20 przykładów studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin wykazała, że powszechnym zjawiskiem jest brak zwymiarowania funkcji terenu w tych dokumentach. W rezultacie nie pozwala to na podanie w formularzu PP-1 rzetelnych informacji, chyba że gminy dysponują bazą danych zawartych w studium i oprogramowaniem umożliwiającym wykonywanie obliczeń. Stąd też bardzo duża część prezentowanych tam wyników ma raczej charakter orientacyjny, na co zwracają uwagę raporty z przebiegu badania statystycznego na formularzu PP-1, prezentowane w kolejnych latach przez Ośrodek Banku Danych Regionalnych w Jeleniej Górze (2007).

Metodą powszechnie wykorzystywaną w trakcie obliczania Wskaźników Oceny Polityki Przestrzennej są przekształcenia warstw informacyjnych z wykorzystaniem technik GIS. Pozwalają one np. na przecinanie lub łączenie dwóch lub większej liczby warstw tematycznych, wchodzących w skład bazy danych. W rezultacie problematyka związana ze zmianą przeznaczenia terenu, głównie na cele budowlane, jest prezentowana w kontekście jego przydatności dla nowych funkcji, a także związanej z tym identyfikacji ograniczeń, barier i potencjalnie generowanych konfliktów. Jej zadaniem jest w pierwszym rzędzie identyfikacja zjawisk i ich zwymiarowanie, a w efekcie dostarczenie prostych do interpretacji, lecz bogatych w treść informacji o potencjalnych skutkach podejmowanych decyzji przestrzennych (P. Fogel 2012).

Umożliwia to szybką ocenę sposobu uwzględniania wysoko cenionych wartości w trakcie określania kierunków rozwoju przestrzennego gminy. Za jej pomocą możemy wskazać np. wszystkie obszary przeznaczone do zabudowy, położone na terenach wyposażonych w podziemną sieć melioracyjną, lub znajdujące

¹ Formularz statystyczny PP-1 planowanie przestrzenne w gminie.

się na obszarach zagrożenia powodziowego. Metodykę obliczania niektórych wskaźników oceny polityki przestrzennej zawiera tabela 1. Analizy te, proste do wykonania pod względem technicznym i dostarczające ważnych informacji na temat racjonalności planowania przeznaczenia terenu, nie są wykorzystywane w praktyce. Pomimo dostępności wszechstronnej informacji o środowisku, w tym w postaci wektorowych danych przestrzennych, nie jest znana całkowita powierzchnia terenów zagrożenia powodziowego, na których może w Polsce powstać zabudowa.

Wykorzystanie tej metody pozwala na obliczenie wszystkich prezentowanych w tabeli 1 wskaźników z grupy bezpieczeństwo, presja na środowisko oraz infrastruktura (z wyłączeniem wskaźnika prognozowanego zapotrzebowania na wodę do celów gospodarczo-bytowych).

4. Wskaźniki Oceny Polityki Przestrzennej miasta Zawiercie

Zastosowania WOPP dla Zawiercia umożliwiło opracowanie studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego z wykorzystaniem technologii GIS. Zbudowana przy okazji prac nad tworzeniem dokumentu baza danych GIS zawiera informacje odnoszące się nie tylko do przeznaczenia terenu dla stanu istniejącego i projektowanego w studium, ale także obejmuje przetworzone na potrzeby tej bazy inne tematyczne i branżowe informacje przestrzenne.

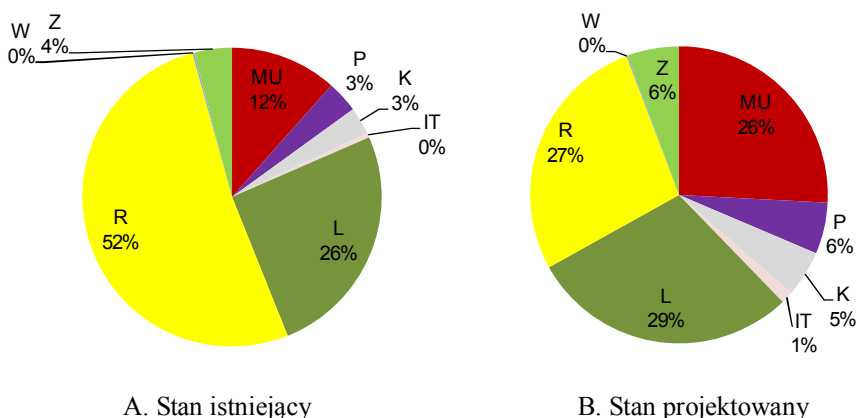
Opracowana w latach 2012–2013 zmiana studium Zawiercia była podyktowana koniecznością uwzględnienia w polityce przestrzennej miasta istotnych zmian w zakresie lokalizacji inwestycji o charakterze ponadlokalnym, zapisanych w Strategii Rozwoju Miasta Zawiercie 2025 plus, a także dużą presją mieszkańców na zmianę przeznaczenie gruntów na cele budowlane.

Zawiercie jest położone na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej nad rzekami Wartą oraz Czarną Przemszą w północno-wschodniej części województwa śląskiego. Pod względem administracyjnym Zawiercie jest gminą miejską, w skład której wchodzi 16 osiedli mieszkaniowych i cztery sołectwa. Miasto zajmuje 85 km², z czego ponad połowę (ok. 56%) zajmują użytki rolne. Udział terenów zabudowanych wynosi ok. 17 km², co stanowi 20% powierzchni miasta i jest porównywalne do poziomu lesistości (ok. 21%). Zawiercie jest prężnym ośrodkiem produkcyjnym, usługowym i administracyjnym położonym na ważnym krajowym szlaku drogowym i kolejowym oraz siedzibą władz powiatu zawierciańskiego.

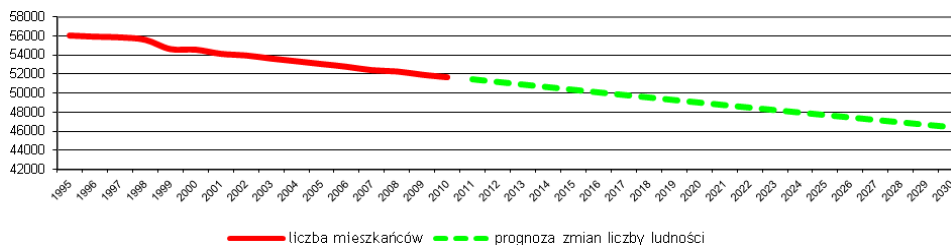
Zachodnią część miasta stanowią tereny z dominującą strukturą miejską: mieszkaniowo-usługową i przemysłową. Od lat kluczowe znaczenie miał tu przemysł: ciężki (huta żelaza), szklarski (huta szkła) i odlewniczy (odlewnia żeliwa) oraz do niedawna włókienniczy. Wschodnia część miasta to tereny z domi-

nacją funkcji rolniczej i dodatkowo mieszkaniowej, tereny otwarte, obejmujące kompleksy leśne i kompleksy terenów rolnych w większości wolnych od zabudowy. Obszar ten, ze względu na bardzo wysokie walory krajobrazowe, jest częścią Parku Krajobrazowego „Orlich Gniazd”². Strukturę użytkowania gruntów w Zawierciu prezentuje rysunek 2A. Analiza oczekiwań rozwoju przestrzennego w zderzeniu z prognozami demograficznymi nie wypada korzystnie dla miasta, które od kilku lat boryka się z postępującym problemem depopulacji, co ilustruje rysunek 3.

Niemniej polityka przestrzenna prowadzona przez władze miasta uwzględnia znaczną część oczekiwań mieszkańców, dotyczących zmiany przeznaczenia terenu na cele budowlane. Skalę przestrzenną planowanych zmian ilustruje rysunek 2B.



Rys. 2. Bilans terenów funkcjonalnych w Zawierciu w stanie istniejącym (A) i projektowanym (B) – oznaczenia literowych skrótów przeznaczenia terenu znajdują się w objaśnieniach do wzoru prezentującego bilans terenu
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Liczba mieszkańców Zawiercia oraz prognoza jej zmian
Źródło: Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Zawiercie

² O powierzchni ok. 34,2 km², co stanowi ok. 40% powierzchni gminy.

Głównym, pożądanym przeznaczeniem terenu była funkcja mieszkaniowa. Zrealizowanie tylko części oczekiwań mieszkańców sprawiło, że pojemność demograficzna terenów wskazanych do zabudowy mieszkaniowej w studium wynosi obecnie 110 tys. osób³. Takie podejście do gospodarowania przestrzenią sprzyja procesowi rozprzestrzeniania zabudowy i tworzenia bardzo kosztownych układów przestrzennych.

Poza problemem demograficznym przyjęta polityka przestrzenna ma również swój wymiar środowiskowy, który najlepiej prezentują wybrane Wskaźniki Oceny Polityki Przestrzennej. Wykonane analizy przestrzenne pozwoliły zobrazować skalę przyjętych zmian w stosunku do zabudowy terenów:

- zagrożenia powodziowego,
- podlegających prawnej ochronie przyrody,
- o najlepszych glebowych warunkach dla rozwoju rolnictwa,
- wyposażonych w podziemną sieć melioracyjną.

Rezultaty obliczeń prezentuje tabela 2.

Tabela 2

Wybrane Wskaźniki Oceny Polityki Przestrzennej Zawiercia

Nazwa wskaźnika	Konstrukcja wskaźnika	Objaśnienia symboli	Wartość wskaźnika
Wskaźnik przyrostu zabudowy na terenach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi	$B_{AZW} = P_{ZW2} - P_{ZW1}$	B_{AZW} – wskaźnik zmiany powierzchni terenów wskazanych do zabudowy na terenach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi P_{ZW2} – powierzchnia terenów wskazanych do zabudowy położonych na terenach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi P_{ZW1} – powierzchnia terenów aktualnie zabudowanych położonych na terenach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi	3,31 ha
Wskaźnik zabudowy terenów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi	$B_{ZW} = \frac{P_{ZW2}}{P_Z} \times 100\%$	B_{ZW} – wskaźnik terenów wskazanych do zabudowy na terenach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi P_{ZW2} – powierzchnia terenów wskazanych do zabudowy położonych na terenach narażonych na niebezpieczeństwo powodzi P_Z – całkowita powierzchnia terenów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi w gminie	6,54%

³ Przy założeniu, że wszystkie tereny wskazane do zabudowy mieszkaniowej zostaną wykorzystane z maksymalną, zakładaną w studium intensywnością.

Wskaźnik przyrostu zabudowy Parku Krajobrazowego „Orlich Gniazd”	$P_{APK} = P_{ZU2PK} - P_{ZU1PK}$	P_{APK} – wskaźnik zmiany powierzchni zabudowy na obszarze parków krajobrazowych P_{ZU2PK} – całkowita powierzchnia terenów wskazanych do zabudowy (bez względu na funkcję) na obszarach parków krajobrazowych P_{ZU1PK} – powierzchnia terenów aktualnie zajętych pod zabudowę (bez względu na funkcję) na obszarach parków krajobrazowych	234,03 ha
Wskaźnik zabudowy Parku Krajobrazowego „Orlich Gniazd”	$P_{PK} = \frac{P_{ZU1PK} + P_{ZU2PK}}{P_{GPK}} \times 100\%$	P_{ZU2PK} – całkowita powierzchnia terenów wskazanych do zabudowy (bez względu na funkcję) na obszarach parków krajobrazowych P_{ZU1PK} – powierzchnia terenów aktualnie zajętych pod zabudowę (bez względu na funkcję) na obszarach parków krajobrazowych P_{GPK} – całkowita powierzchnia parków krajobrazowych w gminie P_{PK} – wskaźnik zabudowy obszaru parków krajobrazowych	11,13%
Wskaźnik zabudowy terenów zmeliorowanych	$P_M = \frac{P_{DU}}{P_D} \times 100\%$	P_M – wskaźnik zabudowy na gruntach zmeliorowanych P_D – całkowita powierzchnia terenów wyposażonych w podziemną sieć drenarską w gminie P_{DU} – powierzchnia terenów wskazanych do zabudowy na terenach wyposażonych w podziemną sieć drenarską	78,87%
Wskaźnik zabudowy terenów o najwyższym potencjale dla rozwoju rolnictwa	$P_R = \frac{P_{RCU}}{P_{RC}} \times 100\%$	P_R – wskaźnik zabudowy na terenach o wysokim potencjale do rozwoju rolnictwa P_{RCU} – powierzchnia terenów wskazanych do zainwestowania na terenach o wysokim potencjale do rozwoju rolnictwa P_{RC} – całkowita powierzchnia terenów rolniczych o wysokim potencjale dla rozwoju rolnictwa	37,26%

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki obliczeń kilku przykładowych wskaźników, wykonane na potrzeby niniejszego artykułu, pokazują wysoką skuteczność WOPP w zakresie identy-

fikacji skutków planowania przestrzennego, które powstały w trakcie ustalania polityki przestrzennej. W założeniach do niej akcentuje się potrzebę ochrony np. wysoko cenionych walorów przyrodniczych, dostosowania skali rozwoju przestrzennego do potencjału demograficznego oraz racjonalnego wskazywania terenów do zabudowy, by unikać kolizji przestrzennych. Tymczasem część kierunkowa została stworzona w całkowitym oderwaniu od wniosków wynikających z uwarunkowań, co pokazują wyniki obliczeń wskaźników (tab. 2). Głównym kryterium przy ustalaniu przeznaczenia terenu okazały się oczekiwania mieszkańców i inwestorów.

5. Podsumowanie

Narzędzia analityczne dostępne w aplikacjach GIS, jak wykazano w artykule, mają ogromny potencjał do generowania nowych informacji, które potrafią rzucać zupełnie inne światło na politykę przestrzenną proponowaną przez władze samorządowe. Zaprezentowane wyniki obliczeń kilku wskaźników pokazują, że rozwój przestrzenny analizowanej gminy Zawiercie będzie się odbywać w oderwaniu od innych kluczowych uwarunkowań, np. demograficznych i przyrodniczych. Zaprezentowane wskaźniki ze względu na swój prosty charakter same dostarczają danych, które mogą podlegać dalszym obliczeniom. Uzyskane wartości można łatwo przekształcić w ekonomiczne argumenty rozwoju przestrzennego, które są o wiele łatwiejsze do zaakceptowania przez twórców polityki przestrzennej.

Prezentując sposób wykorzystania prostych narzędzi analitycznych, zaakcentowano ich ogromną rolę poznawczą dla różnych podmiotów procesu planowania przestrzennego. Dlatego też postuluje się ich szeroką promocję i implementację do warsztatu planisty.

Literatura

- Fogel A., 2012, *Prawne determinanty określania przeznaczenia i sposobu zagospodarowania terenu a władztwo planistyczne gminy*, [w:] Cieślak Z., Zalasieńska K. (red.), *Prace studialne Warszawskiego Seminarium Aksjologii Administracji*, Warszawa, s. 101–115.
- Fogel P., 2012, *Wskaźniki oceny polityki i gospodarki przestrzennej w gminach*, Biuletyn KPZK PAN, z. 250, Warszawa.
- Jędraszko A., 2005, *Zagospodarowanie przestrzenne w Polsce – drogi i bezdroża regulacji ustawowych*, Unia Metropolii Polskich, Warszawa.
- Jędraszko A., 2008, *Gospodarka przestrzenna w Polsce wobec standardów europejskich, czyli jak ustanowić dobre prawo dla zrównoważonego rozwoju*, Biblioteka Urbanisty, „Urbanista”, t. 13, Warszawa.

- Kozłowski S. (red), 2006, *Żywiolowe rozprzestrzenianie się miast. Narastający problem aglomeracji miejskich w Polsce. Studia nad zrównoważonym rozwojem*, t. 2, Katolicki Uniwersytet Lubelski, PAN Komitet „Człowiek i Środowisko”, Białystok–Lublin–Warszawa.
- Lorens P. (red), 2005, *Problemy suburbanizacji*, Biblioteka Urbanisty, nr 7, Warszawa.
- Raport z przebiegu badania statystycznego na formularzu PP-1 „Planowanie przestrzenne w gminach”, 2007, Urząd Statystyczny we Wrocławiu, Ośrodek Banku Danych Regionalnych w Jeleniej Górze.
- Wiland M., 2009, *Liberalna polityka przestrzenna*, „Człowiek i Środowisko”, 33 (1–4), s. 23–35.

SUPPORT FOR THE SPATIAL PLANNING PROCESS IN THE COMMUNITY THROUGH THE USE OF SIMPLE GIS ANALYSIS

Analytical tools for GIS applications, as presented in this article, have a huge potential to prepare information and should be permanent instruments for supporting spatial planning and for impact assessment on environmental planning documents. The indicators presented provide information that may be used as data for further calculations. The values of indicators can be easily used as economic arguments in spatial development, more easily acceptable to producers of spatial policy.

Keywords: *spatial planning, GIS, spatial analysis*

Dr Piotr Fogel
Instytut Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa, Warszawa
e-mail: fogel@igpim.pl

Łukasz Lechowski

ANALIZA ZMIAN POKRYCIA TERENU WOKÓŁ AUTOSTRAD ZA POMOCĄ METOD GIS*

W celu określenia klas pokrycia terenów sąsiadujących z autostradą A2 na odcinku Emilia–Stryków w latach 1996–2009 zastosowano metodę interpretacji wizualnej serii ortofotomap następujących po sobie czasowo, wykorzystując narzędzia GIS oraz zmodyfikowaną klasyfikację pokrycia terenu Topograficznej Bazy Danych. Przedstawiono następnie schemat pozwalający porównać zwektoryzowane klasy pokrycia terenu w ujęciu dynamicznym. W celu analizy zmian pokrycia przedmiotowego obszaru zastosowano metodę GIS rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych *kernel function*.

Słowa kluczowe: GIS, pokrycie terenu, autostrada, *kernel function*

1. Wstęp

Inwestycje kluczowe z punktu widzenia interesu państwa zawsze w sposób znaczący oddziaływały na przestrzeń geograficzną. To przy nich kształtowało się osadnictwo, rozwijało rzemiosło, handel i przemysł. Tak jak przeprowadzane niegdyś trakty królewskie czy linie kolejowe, tak budowane obecnie w Polsce autostrady intensywnie zmieniają nie tylko pokrycie, ale również formy użytkowania ziemi. Z punktu widzenia zagospodarowania przestrzennego problematyka przekształceń krajobrazowych i przestrzennych wraz z budową autostrady wydaje się być ważna i niezwykle frapująca. Najczęściej wskazuje się na korzyści ekonomiczne i turystyczne budowy autostrad (Liszewski, Włodarczyk 2011, Rekowski i in. 2011), koncentruje się na konfliktach ich przebiegu (Stasiak 1997), a także na realizacji projektu budowy autostrady (Belniak i in. 2009, Patalas 2011) oraz wpływie autostrady na ekosystemy i środowisko przyrodnicze (*Zagospodarowanie przestrzenne terenów...* 1999, Badora 2004, Stuczyński 2011).

* Publikacja współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Poddziałania 8.2.1 POKL, w związku z realizacją Projektu „Doktoranci – Regionalna Inwestycja w Młodych naukowców społeczno-humanistycznych – Akronim D-RIM SH.

Kluczowymi, wymagającymi zdefiniowania pojęciami stosowanymi w niniejszym artykule są „pokrycie terenu” oraz „autostrada”. „Pokrycie terenu” można przedstawić jako opis fizycznych właściwości danej przestrzeni geograficznej (Ciołkosz, Poławski 2006, za *Corine Land Cover Technical Guide* 1993). Są to wszelkie elementy sytuacyjne tej przestrzeni, znajdujące się na jej powierzchni, dające się wyróżnić na podstawie ich cech fizjonomicznych (*Wytyczne techniczne...* 2008). Przykładowo mogą to być: roślinność trawiasta, teren zabudowany czy lasy. Należy przy tym wyraźnie odróżnić pojęcie pokrycia terenu od jego użytkowania. To drugie zagadnienie odnosi się do sposobu wykorzystania przestrzeni geograficznej przez człowieka i jest jej opisem społeczno-ekonomicznym (Ciołkosz, Poławski 2006, za Kostrowicki 1959).

Zgodnie z Ustawą o drogach publicznych¹ autostrada jest najwyższą klasą drogi, przeznaczoną wyłącznie do ruchu pojazdów samochodowych. Klasa ta jest wydzielona na podstawie cech funkcjonalnych drogi oraz jej parametrów technicznych. Musi mieć co najmniej dwie trwale oddzielone od siebie jednokierunkowe jezdnie, infrastrukturę służącą do obsługi pasażerów oraz bezkolizyjne, wielopoziomowe skrzyżowania. Warunki techniczne traktów kołowych oraz ich szczegółowy opis regulują dwa odrębne akty prawne: Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 14 maja 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie oraz Prawo o ruchu drogowym².

Niniejszy artykuł ma na celu opracowanie metody pozyskiwania informacji o zmianach pokrycia terenu na podstawie wysokorozdzielczych ortofotomap znajdujących się w polskich zasobach kartograficznych. Autor dokonał również oceny samego źródła informacji pod kątem możliwości ich wykorzystania w tego typu analizie. Jednocześnie na wybranym przykładzie przedstawiono, jak w zarysie kształtowała się przestrzeń wokół autostrady A2 w gminie Stryków w latach 1996–2009 oraz zaprezentowano kilka metod i narzędzi stosowanych w geoprzetwarzaniu i analizach przestrzennych.

2. Zmiany pokrycia terenu wokół autostrad w świetle literatury

W polskiej literaturze naukowej można znaleźć kilka artykułów pośrednio wskazujących na kierunki zmian pokrycia terenu wynikających z oddziaływania w ich otoczeniu autostrad. Najczęściej publikacje te odnoszą się do wyznaczania

¹ Ustawa o drogach publicznych z dnia 21 marca 1985 r. Dz.U. z 2007 r. nr 19, poz. 115.

² Prawo o ruchu drogowym z dnia 20 czerwca 1997 r., Dz.U. z 1997 r. nr 98, poz. 602.

przebiegu drogi, przekształceń własnościowych gruntów przeznaczonych pod autostradę oraz procesu jej budowy (Czarnecki, Pankowski 1999, Biliszcuk, Szkrzydło 2001, Gola, Langner 2009). Opierają się na danych pochodzących z raportów oddziaływania inwestycji drogowej na środowisko i mają charakter głównie przyrodniczy. Niniejsza prognoza wskazuje, w jaki sposób autostrada wpłynie na zmiany środowiska przyrodniczego w jej najbliższym otoczeniu i jakie kroki należy podjąć, aby zminimalizować negatywny jej wpływ (Badora 2004, Nowakowski, Podedworna-Łuczak 2009).

Sposób, w jaki autostrada jest zaprojektowana, z jakich składa się elementów oraz co może znaleźć się w najbliższym jej otoczeniu częściowo jest regulowane ustawowo bądź poprzez odpowiednie rozporządzenia, takie jak Ustawa o drogach publicznych czy Prawo ochrony środowiska. Zagospodarowanie, pokrycie i użytkowanie terenów może wynikać również z warunków technicznych zamówienia oraz stosunków własnościowych gruntów.

Jak pisał K. Badora (2004), autostrada oddziałuje bezpośrednio w sposób ekstremalny na terenach w odległości do 20 m od krawędzi jezdni, obszar do 50 m można uznać za strefę zagrożeń, a do 150 m za strefę uciążliwości. Na podstawie doświadczeń krajów rozwiniętych można powiedzieć, że zasięg oddziaływania autostrad na strukturę własnościową gruntów znacznie wykracza poza strefę bezpośredniego oddziaływania inwestycji na środowisko (Wegener, Fürst 1999, Tesařova, Halounová 2006). W rzeczywistości strefa wpływu autostrady na pokrycie terenu jest większa i może dochodzić do kilkunastu kilometrów. Zależy ona zarówno od położenia węzłów komunikacyjnych, przejazdów nad autostradami, odpowiedniej polityki władz samorządowych, jak i od otaczającej ją przestrzeni (Ziobrowski, Korecki 2009).

Analiza dostępnej polskiej literatury dotyczącej pokrycia terenów zlokalizowanych w otoczeniu autostrady A2 oraz A4 pozwala stwierdzić, że dla obszarów bezpośrednio przylegających do autostrady, w pasie drogi zwiększa się udział terenów trawiastych, zadrzewionych i zakrzewionych. Jest to związane z nowym sposobem zagospodarowania drogi, mającym zminimalizować siłę jej oddziaływania na środowisko. W jej otoczeniu sadi się rośliny absorbujące znaczne ilości zanieczyszczeń oraz drzewa chroniące tereny zabudowane przed hałasem (Strembicka, Szczerba 1999, Badora 2004). Rośnie również powierzchnia terenów zabudowy przemysłowej i usługowej, skoncentrowanej w pobliżu węzłów komunikacyjnych (Strembicka, Szczerba 1999, Ziobrowski, Korecki 2009).

Na przykładzie opolskiego fragmentu autostrady A4 można przyjąć, że w strefie pośredniego oddziaływania autostrady, do 500 m od jej osi, największe przekształcenia są związane z miejscami wydobywania surowców skalnych pod budowę dróg oraz w pobliżu węzłów komunikacyjnych. Znaczne przekształcenia pokrycia i użytkowania występują również w punktach powstania Miejsc Obsługi Pasażera (MOP) (Badora 2004).

Wzrost powierzchni poszczególnych klas pokrycia terenu odbył się głównie kosztem gruntów ornych oraz łąk i pastwisk. Miejscami spadła również powierzchnia lasów i terenów zakrzewionych, np. na terenie Borów Niemodlińskich. Lasy te oraz zakrzewienia zostały wycięte w trakcie przygotowania gruntów pod budowę autostrady (Badora 2004).

Bardziej kompleksowe prace opisujące wpływ autostrad na zmiany pokrycia i użytkowanie terenu pojawiły się w krajach wysoko rozwiniętych. O przykładzie włoskim pisał C. Cała (1978), niemieckim doświadczeniom związanym ze zmianami użytkowania ziemi po wybudowaniu sieci autostrad swoją pracę poświęcili M. Wegener i F. Fürst (1999). Należy jednakże pamiętać, że system autostrad w krajach Europy Zachodniej w dużej mierze powstał kilkadziesiąt lat temu, w innych warunkach gospodarczych i prawnych. W związku z tym sposób, tempo i kierunki zmian pokrycia terenu wokół autostrad europejskich, zaprezentowane w literaturze zachodniej, mogą znacząco odbiegać od sytuacji w Polsce.

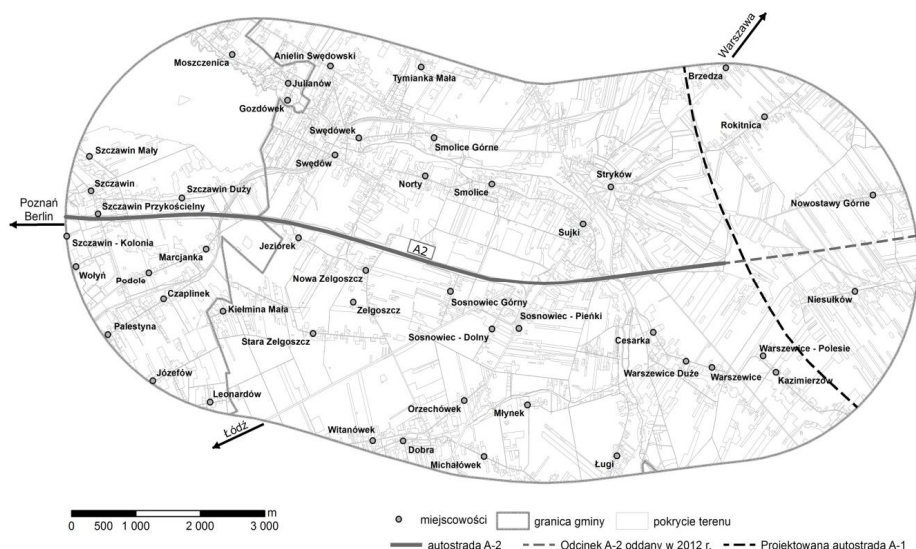
Dlatego ciekawym materiałem porównawczym wydają się być prace naukowców z państw Europy Środkowo-Wschodniej, które obecnie są w trakcie rozbudowy sieci transportowych w swoich krajach. Wyniki badań V. Tesařovej i L. Halounovej (2006) prowadzonych na terenie Republiki Czeskiej w latach 1993–2000, oparte na danych zaczerpniętych z bazy *Corine Land Cover*, zdjęciach wielospektralnych SPOT oraz wysokorozdzielczych zdjęciach lotniczych wyraźnie pokazują tendencję wkraczania zabudowy przemysłowej i usługowej na obszary gruntów ornych i terenów zielonych.

3. Charakterystyka obszaru badań

Badania przeprowadzono dla odcinka autostrady A2 biegnącego w 2009 r. od węzła Łódź Północ w kierunku zachodnim aż do granicy gminy Stryków. Tym samym autor nie uwzględnił w swoich rozważaniach fragmentu autostrady Łódź Północ–Warszawa oddanego do użytku w czerwcu 2012 r. Zmiany pokrycia terenu w latach 1996–2009 przeanalizowano na obszarze znajdującym się w odległości do 3 km od wyrysowanego odcinka drogi (rys. 1). Łącznie zajmuje on 72,48 km² powierzchni.

Autostrada A2 to jedna z najważniejszych inwestycji drogowych realizowanych w pierwszej dekadzie XXI w. w Europie Środkowej. Jest elementem II korytarza paneuropejskiej sieci transportowej, mającej docelowo połączyć Europę Zachodnią z Rosją, a następnie, wykorzystując Transsyberyjską Magistralę Transportową, z Japonią. W Polsce docelowo ma przebiegać równoleżnikowo przez obszar całego kraju, jednak obecnie wykonano jej zachodni i środkowy odcinek łączący Berlin z Warszawą.

W granicach gminy Stryków jest także planowana realizacja węzła komunikacyjnego Łódź Północ jako punktu skrzyżowania się dwóch autostrad: A1 i A2. Gmina ta jest więc istotnym punktem na mapie drogowej Polski, a jej rozwój funkcjonalno-przestrzenny jest zdeterminowany przede wszystkim przebiegiem autostrad.



Rys. 1. Obszar badań
Źródło: opracowanie własne

Choć budowa A2 na odcinku Stryków–Konin rozpoczęła się w 2004 r. a zakończyła w 2006 r., jej oddziaływanie na przestrzeń miało miejsce już znacznie wcześniej. Sam proces przygotowania inwestycji wymuszał przekształcenia własnościowe gruntów, przez które obecnie przebiega autostrada, oraz zmieniał krajobraz w jej otoczeniu. Niezbędne wydaje się zatem przy ocenie zmian pokrycia terenu związanych z inwestycją drogową rozszerzenie zakresu czasowego badań, uwzględniające okres przed jej rozpoczęciem (1996 r.) w trakcie realizacji inwestycji (2004 r.) oraz jej użytkowania (2009 r.).

4. Źródła danych

Zaprezentowana analiza zmian pokrycia terenu wokół autostrady A2 w gminie Stryków w latach 1996–2009 w całości została przeprowadzona w programie ArcGIS 10.0 na podstawie następujących materiałów źródłowych:

– ortofotomapy z lat: 1996, 2004, 2009, zróżnicowanej pod względem podstawowych statystyk, liczby kanałów barwnych oraz kontrastu;

- warstw WMS zawierających elementy aktualne na 2010 r. warstw Bazy Danych Obiektów Topograficznych, dostępnych za pośrednictwem Geoportalu;
- map topograficznych w skali 1:10 000 z 1991 r., dostępnych za pośrednictwem Geoportalu.

Wszystkie wykorzystane w badaniach ortofotomapy charakteryzują się wysoką rozdzielczością przestrzenną (piksel 0,5 m). Najstarszą z nich wykonano w latach 1996–1997 w ramach programu PHARE. Jest to ortofotomapa barwna, spektralna, opracowana w kolorach RGB. W przypadku analizowanego obszaru, zdjęcia do niej zostały zrobione w 1996 r. Ortofotomapa z 2004 r. także została zrealizowana w ramach programu PHARE. Jest to opracowanie wykonane na podstawie zdjęć monochromatycznych i przedstawia stan na kilka miesięcy przed rozpoczęciem budowy autostrady A2 na odcinku Stryków–Konin. Ostatnia seria pochodzi z 2009 r. i została sporządzona na potrzeby programu LPIS. Jest mapą spektralną, barwną, wykonaną w zakresie pasma promieniowania widzialnego (Wężyk 2010). Dostępny jest również dla niej kanał bliskiej podczerwieni (CIR). Zaletą wspomnianych źródeł pozyskiwania danych jest ich powszechność oraz kompleksowość. Ortofotomapy pokrywają powierzchnię prawie całej Polski, dzięki czemu można stosować je do badania zmian pokrycia terenu wokół autostrad na terenie całego kraju.

5. Metoda badań

W literaturze opisano wiele metod pozyskiwania informacji o pokryciu oraz użytkowaniu terenu na podstawie zdjęć lotniczych i ortofotomap. Można je podzielić na metody manualne (wizualna) oraz półautomatyczne i automatyczne (rastrowa, hybrydowa, obiektowa).

Metoda interpretacji wizualnej polega na ręcznym obrysowywaniu wszystkich elementów pokrycia terenu przez obserwatora, przy zachowaniu zasady wzajemnego dopełniania się poligonów oraz poprawności i spójności topologicznej całego pokrycia. Sprawność oraz jakość pracy w znacznym stopniu uzależniona jest od wiedzy i zdolności interpretacyjnych obserwatora (Ciołkosz i in. 1999).

Techniki rastrowe prezentacji danych polegają na wskazaniu pewnych klas pikseli obrazu, które mają zostać przyporządkowane do wybranej przez badacza kategorii. Obraz będzie tak długo dzielony na klasy, aż wszystkie piksele zostaną przyporządkowane do jednej z wcześniej wskazanych kategorii. Do wyznaczenia klas wykorzystuje się zaawansowane statystyki wykonywane dla poszczególnych grup elementów (Kubik i in. 2008).

Klasyfikacja obiektowa obrazu za pomocą oprogramowania np. e-Cognition umożliwia wektorowe wydzielenie klas pokrycia. Algorytm obiektowy polega na traktowaniu grupy pikseli jako jednego obiektu, cechującego się warunkami

jednorodności. Klasyfikacja dokonywana jest nie tylko na podstawie statystyk spektralnych danego obiektu, ale również z uwzględnieniem jego geometrii, relacji z innymi obiektami oraz tekstury (Lewiński 2006).

Dzięki oprogramowaniu Image Analyst interpretator ma również możliwość wykorzystać metodę hybrydową, będącą połączeniem metody rastrowej i obiektowej klasyfikacji obrazu (Lewiński 2007a, b).

Spośród wszystkich wymienionych metod do interpretacji pokrycia terenu na podstawie ortofotomap z lat 1996, 2004 oraz 2009 autor wykorzystał metodę wizualną. Materiały, jakie autor posiadał, były bowiem dostępne jedynie w zakresie światła widzialnego, miały różne tonacje kolorów oraz znaczne różnice w kontrastach. Analiza obiektowa czy rastrowa musiałaby sprowadzić się zatem do doboru oddzielnych parametrów klas pokrycia terenu osobno dla każdej ortofotomapy. Nie byłaby również tak szczegółowa jak interpretacja „ręczna”, zwłaszcza jeśli chodzi o klasę zabudowy. Korzystając ze zdjęć wysokorozdzielczych, autor był w stanie rozpoznać obiekt znajdujący się w miejscu zacienionym lub zasłonięty częściowo drzewami, z czym program bez pomocy innych zakresów spektralnych, poza światłem widzialnym, mógłby mieć problem.

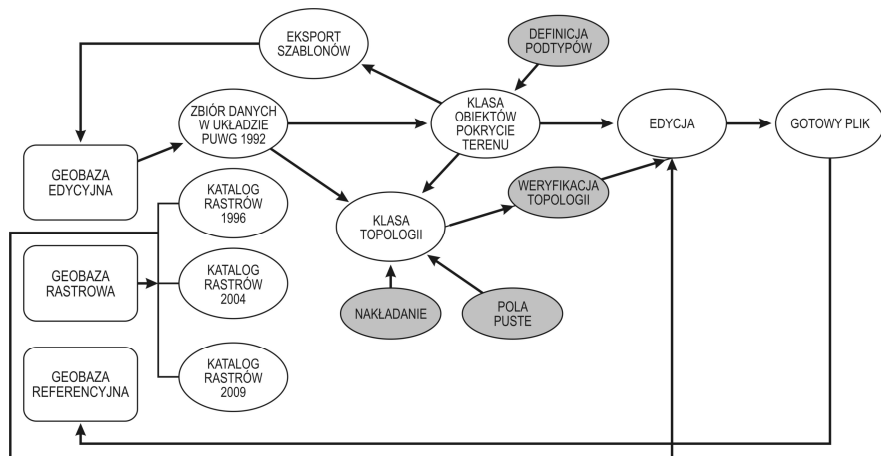
Metoda ta obejmowała następujące etapy:

1. Zaprojektowanie struktury geobaz.
2. Interpretację wizualną zdjęć w celu opracowania map pokrycia terenu dla lat 1996, 2004 oraz 2009.
3. Wyznaczenie obszarów zmian pokrycia terenu.
4. Analizę wyników badań wykorzystującą metodę badania rozkładu gęstości zmian z użyciem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*).

Z założenia cała struktura geobaz miała spełniać dwa warunki: wydajności i topologicznej poprawności. Warunek wydajności oznacza, że wszelkie procesy wykonywane w trakcie analizy będą przebiegać z optymalną dla programu prędkością. Jest to o tyle istotne, że w trakcie edycji zachowującej topologię obiektów lub w trakcie geoprzetwarzania zła konstrukcja projektu może wpłynąć na spowolnienie pracy aplikacji ArcMap. Autor zdecydował się na zastosowanie systemu baz rozproszonych. Wykonywanie zadań na kilku mniejszych geobazach jest bardziej wydajne niż gromadzenie wszystkich informacji w jednej, zwłaszcza jeśli działa się na dużych zestawach danych rastrowych czy chmurze punktów pochodzącej ze skaningu laserowego.

Autor stworzył oddzielnie trzy geobazy: edycyjną (do przechowywania aktualnie edytowanych warstw), rastrową (do przechowywania ortofotomap) oraz referencyjną (do przechowywania gotowych klas obiektów pokrycia terenu, stanowiących odniesienie dla nowych, edytowanych warstw) (rys. 2). W geobazie rastrowej każda seria ortofotomap została zapisana w oddzielnym katalogu rastrów (*Raster Catalog*). W bazie edycyjnej autor utworzył zestaw obiektów (*Feature Dataset*), składający się z nowej klasy obiektów (*Feature Class*) oraz

klasy topologii (*Topology Class*). W nowej klasie obiektów w podtypach (*Subtypes*) zostały wypisane wszelkie możliwe podklasy pokrycia terenu.



Rys. 2. Projekt geobaz i model postępowania dla edycji pokrycia terenu

Źródło: opracowanie własne

Warunek topologicznej poprawności zakłada, że opracowanie powinno mieć spójną i kompleksową warstwę pokrycia terenu. Oznacza to, że cały badany obszar musi być wypełniony obiektami pokrycia terenu, ale obiekty te nie mogą na siebie zachodzić. Pomocnym narzędziem w jej zachowaniu jest stworzenie w zestawie obiektów Klasy Topologii (*Topology Class*), która wyszukuje miejsca występowania błędów spójności i pozwala je naprawić. Zdaniem autora, w zakresie funkcjonalności i prostoty użytkowania nie jest to narzędzie idealne. Program nie ma funkcji na bieżąco sprawdzającej poprawność topologiczną aktualnie wprowadzanych czy edytowanych obiektów. Nie można też wpisać wartości w tabeli atrybutów w momencie, gdy spośród możliwości naprawy błędów topologicznych wybiera się opcję Stwórz Obiekt (*Create Feature*).

Dobierając klasy pokrycia terenu, autor nieznacznie zmodyfikował typologię zastosowaną w Topograficznej Bazie Danych dla kompleksów pokrycia terenu (tab. 1). W przyjętej w niniejszym artykule klasyfikacji zostały połączone kompleksy terenów leśnych lub zadrzewionych z terenami roślinności krzewiastej, a także gruntów odsłoniętych z innymi terenami niezabudowanymi. Dodatkowo, ze względu na występujące na tym obszarze duże powierzchnie ośrodków wypoczynkowych i domków letniskowych zdecydowano się wydzielić z terenów roślinności trawiastej place sportowe, natomiast z terenów upraw trwałych ogródki działkowe i działki letniskowe, tworząc z nich nową grupę terenów rekreacyjnych i wypoczynkowych. Na potrzeby badań w ramach terenów zabudowanych pod uwagę wzięto obszary o powierzchni większej niż 50 m², natomiast w przypadku pozostałych terenów – kompleksy przekraczające 100 m².

Tabela 1

Wykorzystana klasyfikacja form pokrycia terenu nawiązująca do typologii kompleksów pokrycia terenu w Topograficznej Bazie Danych (TBD)

Topograficzna Baza Danych		Zastosowana klasyfikacja	
Symbol	Opis	Klasa	Podklasy
PKWO	Obszary wód	Obszary wód	Obszary wód płynących, obszary wód stojących
PKZB	Tereny zabudowy zwartej, gęstej lub luźnej	Tereny zabudowy	Tereny zabudowy przemysłowej i magazynowej Tereny zabudowy mieszkaniowej i innej
PKLA	Tereny leśne lub zadrzewione	Tereny leśne, zadrzewione i zakrzewione	Tereny leśne Tereny zadrzewione i roślinności krzewiastej
PKKR	Tereny roślinności krzewiastej		
PKUT	Tereny upraw trwałych	Tereny upraw trwałych	Sady i plantacje Szkółki leśne
PKTR	Tereny roślinności trawiastej i upraw rolnych	Tereny roślinności trawiastej i upraw rolnych	Grunty orne Łąki i pastwiska Parki Tereny trawiaste
PKTK	Tereny pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi	Tereny komunikacyjne	Kołowe Szynowe
PKBR	Tereny gruntów odsloniętych	Inne tereny niezabudowane	Użytki kopalniane Zurbanizowane niezabudowane (place, parki) Nieużytki Cmentarze
PKNT	Inne tereny niezabudowane		
		Tereny rekreacyjne i wypoczynkowe	Ogródki działkowe Działki letniskowe Place sportowe

Szarym kolorem zaznaczono zmodyfikowane klasy form pokrycia terenu TBD.

Źródło: opracowanie własne na podstawie typologii kompleksów pokrycia terenu TBD.

Gotowy pusty schemat zestawu obiektów (klasę obiektów pokrycia wraz z podtypami i topologią) autor zapisał w formie szablonu, korzystając z funkcji kreatora ekstrakcji danych (*Data Extractor Wizard*). Szablon ten był wykorzystywany oddzielnie do tworzenia klasy obiektów pokrycia terenu z 1996, 2004 oraz 2009 r. Edycja pokrycia terenu dla 1996 r. odbyła się metodą wizualną na podstawie plików rastrowych ortofotomapy zamieszczonych w geobazie „Kata-

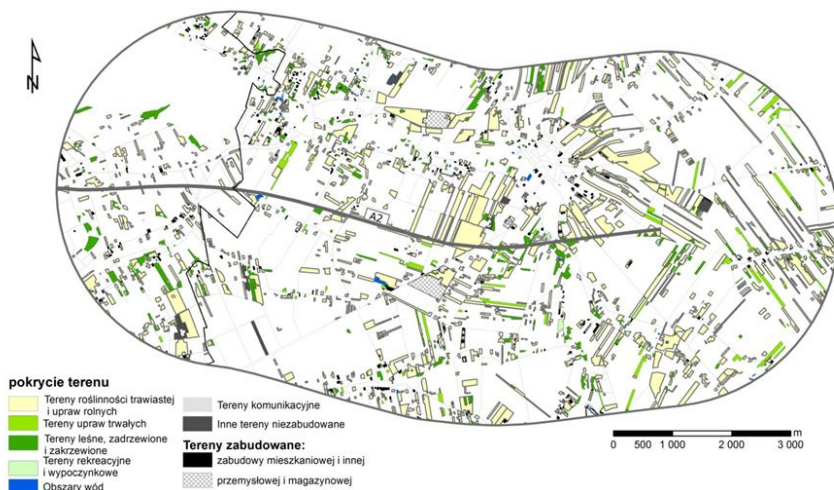
logu rastrów 1996”. W przypadku wątpliwości co do zakwalifikowania obiektu do jednej z wyróżnionych klas, jeśli przed i po okresie, dla którego wykonane zostały zdjęcia, występowała ta sama forma pokrycia, autor przypisywał ją również do bieżącego roku. Szczególne zastosowanie w procesie edycji znalazła funkcja Autodopełnienie Poligonu (*Auto-Complete Polygon*), wykorzystująca istniejącą krawędź narysowanego wcześniej obiektu do stworzenia nowego. Taki schemat rysowania jest znacznie prostszy, szybszy i umożliwia zminimalizowanie liczby błędów topologicznych, pojawiających się w trakcie edycji. Kompletna i wolna od błędów topologicznych warstwa pokrycia terenu została przeniesiona do geobazy referencyjnej, a w jej miejsce, przy wykorzystaniu wcześniej przygotowanego szablonu, został stworzony nowy zestaw obiektów (*Feature Dataset*) wraz z jego klasami.

Aby uniknąć błędów wynikających z samego procesu produkcyjnego ortofotomapy oraz jej interpretacji, do wyznaczenia pokrycia terenu w latach 1996–2004 autor skorzystał z geometrii obiektów z 1996 r., zapisanych w geobazie referencyjnej. W ten sposób zachowana została ciągłość granic pokrycia w miejscach, gdzie w sposób widoczny nie uległa ona zmianie.

Autor kopiował na nową warstwę pokrycia terenu tylko te obiekty, które w stosunku do wcześniejszej ortofotomapy uległy zmianie. W następnym kroku za pomocą narzędzia docinania poligonów (*Cut Polygon Tools*) dostosowywał kształt pokrycia terenu do ówczesnego stanu i przypisywał nowym obiektom aktualne atrybuty. Pod koniec edycji zmian sprawdził poprawność topologiczną warstwy, którą za pomocą narzędzia Intersekcja (*Intersection*) „złączył” z pokryciem terenu z 1996 r. Nowo utworzona w ten sposób klasa obiektów zawierała nie tylko geometrię obu warstw, ale też połączoną tabelę atrybutów. Na jej podstawie, wykorzystując zapytania języka SQL, wyselekcjonowano elementy, których wartości dotyczące klasy pokrycia terenu wykazywały różnice i wyeksportowano je do nowego pliku. Wygenerowane obiekty odzwierciedlały zmiany pokrycia terenu w latach 1996–2004 (rys. 3). Złączona przez narzędzia aktualizacji (*Update*) warstwa pokrycia terenu z 1996 r. z jej zmianami w latach 1996–2004 utworzyła mapę pokrycia terenu w 2004 r. Autor zastosował ją głównie jako materiał analityczny oraz wyjściowy do interpretacji wizualnej ortofotomapy z 2009 r. Interpretacja ta odbyła się analogicznie do tej z 2004 r.

Aby w czytelny sposób pokazać kierunki zmian pokrycia terenu, autor wykorzystał metodę badania rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*). Metoda ta polega na pomiarze gęstości zjawiska na podstawie danych reprezentujących obiekty dyskretne. Analiza badania zmian gęstości rozkładu (*kernel*) odtwarza wartości ciągłej zmiennej na podstawie ograniczonego zbioru punktów pomiarowych. Dzięki temu przestrzenne zróżnicowanie gęstości zjawiska może być badane niezależnie od podziałów administracyjnych (Jażdżewska 2008). Oszacowanie rozkładu gęstości może być więc w zasadzie zastosowane od dowolnego typu

danych, jednak najczęściej wykorzystuje się ją przy analizie danych punktowych. Procedura jego tworzenia oparta jest na metodzie opisanej w pracy B.W. Silvermana (ArcGIS HELP 2012, za Silverman 1986). Zazwyczaj w zbiorze obiektów punktowych jądrem dla obliczeń (*kernel function*) jest funkcja gęstości prawdopodobieństwa Gaussa. Każdej takiej funkcji towarzyszy parametr długości (promień), sterujący jej kształtem i stopniem spłaszczenia. W rezultacie obiekt punktowy wyrażony jest wielkością wynikającą z funkcji gęstości prawdopodobieństwa, a następnie sumowany w celu uzyskania powierzchni zagregowanej lub ciągłego pola gęstości (Longley i in. 2006).



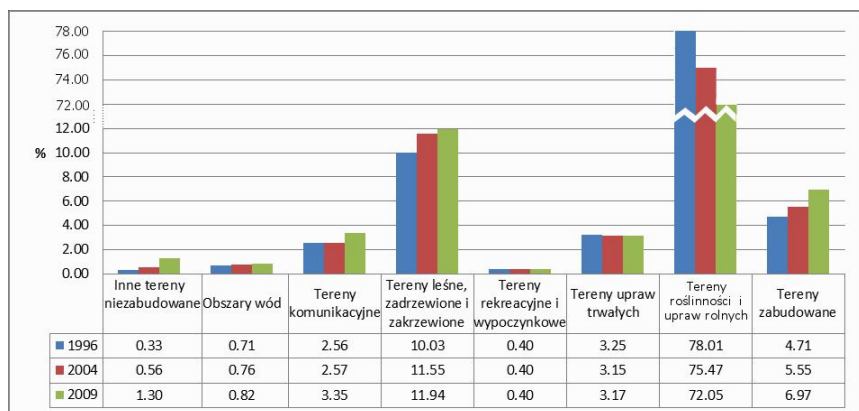
Rys. 3. Przykładowa mapa zmian pokrycia terenu dla obszaru badań w latach 1996–2004
Źródło: opracowanie własne

W niniejszym artykule, aby zastosować metodę badania rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*), posługującą się danymi dyskretnymi, wygenerowano dla każdej powierzchni zaobserwowanych zmian pokrycia terenu (poligonów) centroidy i przypisywano im odpowiednie wagi. Ich wartość odpowiada wielkości powierzchni poligonów, z których zostały wygenerowane. Gęstość badanego zjawiska zależy więc nie tylko od wartości poszczególnych centroid, ale również od powierzchni poligonów, do których się odnoszą. Pozwala to na wizualizowanie zarówno skali zjawiska, jak i miejsca zaobserwowanych zmian pokrycia terenu. Autor zdaje sobie sprawę, że w przypadku tej metody powierzchnia zmian pokrycia będzie rozlewać się koncentrycznie od punktu – centroidy, podczas gdy większość działek budowlanych wykazuje podłużny, niwowy kształt. W związku z tym obliczona gęstość zjawiska jest lekko zaburzona. Mimo to zastosowana metoda prezentacji rozkładu gęstości i jej wizualny sposób prezentacji oddaje rzeczywiste, dominujące kierunki zmian pokrycia terenu

wokół autostrady. W celu bardziej szczegółowego zbadania tego zjawiska należałoby jednak, szacując gęstość, odnieść się do linii osiowej poligonu i przypisać jej wagę, np. średnią szerokość danego obiektu.

6. Wyniki badań – zmiany pokrycia terenu w gminie Stryków

W latach 1996–2009 zdecydowaną większość badanego obszaru zajmowały tereny roślinności trawiastej oraz upraw rolnych. Ich udział procentowy systematycznie jednak spadał z 78,01% do 72,05% (rys. 4). W sąsiedztwie wybudowanej autostrady wyraźnie wzrósł odsetek terenów zabudowanych, co potwierdza wyniki badań, prowadzonych na przykładzie autostrady A4 przez K. Badorę (2006) i Z. Ziobrowskiego, D. Koreckiego (2009) czy autostrad czeskich, opisywanych przez V. Tesařovą, L. Halounovą (2006). W gminie Stryków lokalizacja autostrady istotnie wpłynęła na rozwój parków przemysłowych i centrów technologicznych położonych w bliskim sąsiedztwie węzła Stryków I oraz Łódź Północ. Zwiększyła się też powierzchnia terenów zadrzewionych, zakrzewionych i leśnych, zwłaszcza wzdłuż istniejących cieków i terenów pokrytych roślinnością wysoką. Na potrzeby budowy autostrady powstały nowe wyrobiska piasku i żwiru, co wpłynęło na wzrost odsetka terenów niezabudowanych o 0,97%. W granicach miasta Stryków można było zidentyfikować zdegradowane tereny poprzemysłowe.



Rys. 4. Zmiany pokrycia terenu w sąsiedztwie autostrady A2 w gminie Stryków w latach 1996–2009.

Źródło: opracowanie własne

W pierwszym badanym okresie, tj. w latach 1996–2004, czyli w „przedniu” budowy autostrady, najwięcej zmian zaszło w najbliższym otoczeniu

W pierwszym przypadku miały one charakter bardziej zwarty, skoncentrowany w pobliżu planowanych i istniejących autostrad, co mogło oznaczać przygotowywanie tych gruntów pod nadchodzącą inwestycję. W drugim przypadku inwestycja była bardziej rozproszona.

Zaobserwowane przemiany w latach 2004–2009 objęły okres budowy autostrady (lata 2004–2006) oraz jej eksploatacji (lata 2006–2009). W analizie widocznie zaznaczył się koncentryczny układ rozchodzenia gęstości zmian od osi autostrady (rys. 6). Większe gęstości zabudowy zauważa się również wzdłuż ciągów komunikacyjnych połączonych poprzez węzeł Stryków I z autostradą A2. Wyraźnie widać zatem, iż wpływ autostrady na pokrycie i zagospodarowanie terenu jest znaczący. Widoczny wzrost udziału terenów zabudowanych kosztem terenów trawiastych w latach 2004–2009 sugeruje, iż większym stopniu, niż to miało miejsce w latach 1996–2004, przekształcenia dotyczą gruntów ornych przekwalifikowywanych na tereny zabudowy przemysłowej, magazynowej i mieszkaniowej.

7. Wnioski

Przedstawione badania, oparte na metodzie interpretacji wizualnej przy wykorzystaniu ortofotomap obszaru z lat: 1996, 2004 i 2009 oraz metod GIS, wykazały, że autostrada w pewnym rodzaju wpływa na przekształcenia pokrycia terenu w gminie Stryków i je intensyfikuje. Należy pamiętać jednak, że metoda interpretacji wizualnej jest metodą subiektywną – w dużej mierze zależną od umiejętności i doświadczenia fotointerpretacyjnego osoby wykonującej badanie – połączona z prawdopodobnymi błędami interpretacyjnymi. W związku z tym niezbędna jest weryfikacja wyników analiz przestrzennych otrzymanych za pomocą narzędzi GIS. Ze względu na analizę zmian pokrycia terenu w ujęciu dynamicznym dostępne materiały źródłowe pozwoliły na dokonanie tylko częściowej weryfikacji, opierającej się na Bazie Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) oraz na mapach topograficznych. Częściowej, ponieważ materiały te cechują się większym stopniem generalizacji danych niż analizowane ortofotomapy. Poza tym, ze względu na to, że metoda interpretacji wizualnej jest bardzo pracochłonna, nadaje się jedynie dla zdjęć wielkoskalowych, przedstawiających niewielkie powierzchnie terenu.

Przeprowadzone badania wykazały przydatność istniejących w polskich zasobach kartograficznych ortofotomap wykonanych na potrzeby programu PHARE i LPIS (dla badanego obszaru w latach 1996, 2004 oraz 2009). Ich zaletą jest wysoka rozdzielczość oraz fakt, iż wykonane zostały na terenie prawie całego kraju. Nie mają jednak zakresu bliskiej i średniej podczerwieni dla lat 1996 oraz 2004, co ogranicza możliwość ich wykorzystania metodą klasyfikacji obiektowej i rastrowej.

Wykorzystana metoda badania rozkładu gęstości zmian z wykorzystaniem nieparametrycznych estymatorów jądrowych (*kernel function*) do badania zmian pokrycia terenu pozwoliła uchwycić skalę oraz kierunki przekształceń terenów. Nie pokazała jednak ich struktury, osłabiając wpływ bardziej rozproszonych klas pokrycia terenu o niewielkiej powierzchni, tj. tereny zabudowy mieszkaniowej. Aby uchwycić te zmiany, dla każdej z klas należałoby opracować odrębną mapę, zwiększając promień analizy – zasięg oddziaływania poszczególnych obiektów.

Wyniki badań nad zmianami pokrycia terenu potwierdzają zależności pojawiające się przy innych inwestycjach tego typu zarówno w Polsce (przy autostradzie A4), jak i w innych krajach Europy Środkowo-Wschodniej, np. w Czechach. Przy węzłach autostrady zwiększa się gęstość zabudowy przemysłowej i magazynowej, a wzdłuż autostrady pojawiają się również rozległe wyrobiska surowców skalnych wykorzystywanych na budowę autostrad. Dodatkowo można zauważyć, że tereny mieszkaniowe zazwyczaj grupują się w strefie do 500 m od inwestycji. Wyniki potwierdzają słuszność stosowania wybranych metod i narzędzi GIS do badania natężenia i kierunku pokrycia terenu wokół autostrad.

Literatura

ArcGIS HELP [en]:

<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009z00000011000000.htm> (dostęp: 27 lipca 2012 r.).

Badora K., 2004, *Autostrada – środowisko przyrodnicze. Studium konfliktów przestrzennych na przykładzie opolskiego odcinka autostrady A4*, Uniwersytet Opolski, Opole.

Belniak S., Kałowski L., Kowalik J., Maciejowski S. (red.), 2009, *Uwarunkowania budowy autostrady A4 Kraków–Tarnów*, MWSE, Tarnów.

Biliszczyk J., Szkrzydło A. (red.), 2001, *Autostrada A4 Odcinek Wrocław–Nogowczyce*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław–Opole.

Cała C., 1978, *Rola autostrad w zagospodarowaniu przestrzennym na podstawie doświadczeń włoskich*, PWN, Łódź.

Ciołkosz A., Olędzki J., Miszański J., 1999, *Interpretacja zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa.

Ciołkosz A., Poławski Z.F., 2006, *Zmiany użytkowania ziemi w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, „Przegląd Geograficzny”, 78 (2), s. 173–190.

Corine Land Cover Technical Guide, 1993, Office for Official Publications of European Communities, Brussels, Luxembourg.

Czarnecki J., Pankowski D., 1999, *Problematyka scaleń i wymian gruntów w Agencji Budowy i Eksploatacji Autostrad. Zagospodarowanie przestrzenne terenów rolniczych w pasie oddziaływania autostrady*, Wydawnictwo Wieś Jutra s.c., Warszawa.

- Gola S., Langner R. (red.), 2009, *Gruntowe uwarunkowania autostrady A4 Kraków–Tarnów*, [w:] Belniak S., Kałkowski L., Kowalik J., Maciejowski S. (red.), 2009, *Uwarunkowania budowy autostrady A4 Kraków–Tarnów*, MWSE, Tarnów.
- Jażdżewska I., 2008, *Przemiany miejskiej sieci osadniczej w Polsce w świetle metod matematycznych*, Wydawnictwo UŁ, Łódź.
- Kubik T., Paluszyński W., Iwaniak A., Tymków P., 2008, *Klasyfikacja obrazów rastrowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych i statystycznych metod klasyfikacji*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław.
- Lewiński S., 2006, *Rozpoznanie form pokrycia terenu i użytkowania ziemi na zdjęciu satelitarnym LANDSAT ETM+ metodą klasyfikacji obiektowej*, „Roczniki Geomatyki”, 4, s. 139–152.
- Lewiński S., 2007a, *Obiektowa klasyfikacja zdjęć satelitarnych jako metoda pozyskiwania informacji o pokryciu i użytkowaniu ziemi*, Instytut Geodezji i Kartografii, Warszawa.
- Lewiński S., 2007b, *Porównanie klasyfikacji obiektowej z tradycyjną klasyfikacją pikselową z punktu widzenia automatyzacji tworzenia bazy danych o pokryciu i użytkowaniu terenu*, „Roczniki Geomatyki”, 5, s. 63–73.
- Liszewski S., Włodarczyk B., 2011, *Wpływ autostrady A2 Warszawa Berlin (na odcinku od Strykowa do granicy z Niemcami) na kształtowanie regionów turystycznych*, [w:] Gołembski G. (red.), *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, Wydawnictwo PWSZ, Sulechów.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2006, *GIS. Teoria i praktyka*, PWN, Warszawa.
- Nowakowski T., Podedworna-Łuczak M., 2009, *Raport o oddziaływaniu na środowisko dróg i autostrad. Poradnik prawno-metodyczny*, Seidel Przywecki, Warszawa.
- Patalas A., 2011, *Wstęp*, [w:] Gołembski G. (red.), *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, PWSZ, Sulechów.
- Rekowski M., Kawa A., Jureczak M., 2011, *Pozytywne aspekty ekonomiczne oddziaływania autostrady A2 na region Wielkopolski*, [w:] Gołembski G. (red.), *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, PWSZ, Sulechów.
- Silverman B.W., 1986, *Density estimation for statistics and data analysis*, Chapman and Hall, New York.
- Stasiak A. (red.), 1997, *Konflikty wokół autostrad w Polsce*, KPZK PAN, Warszawa.
- Strembicka D., Szczerba T., 1999, *Sporządzanie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego terenów oddziaływania autostrady ze szczególnym uwzględnieniem rolniczej przestrzeni produkcyjnej. Materiały seminarium Zagospodarowanie przestrzenne terenów rolniczych w pasie oddziaływania autostrady*, Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej, Warszawa.
- Stuczyński M., 2011, *Wpływ infrastruktury drogowej na sąsiadujące ekosystemy w świetle literatury*, [w:] Gołembski G. (red.) *Wpływ autostrady Warszawa–Berlin na rozwój turystyki w regionie*, PWSZ, Sulechów.
- Tesařova V., Halounová L., 2006, *The study of land cover changes development influenced by the highway construction*, [w:] Braun M. (red.), *Second Workshop of the EARSel SIG on remote sensing of land use & land cover, „Application and Development”*, Universität Bonn, Bonn.

- Wegener M., Fürst F., 1999, *Land-use transport interaction: State of the art*, Institut für Raumplanung, Dortmund.
- Wężyk P., 2010, *Dostępność zdjęć lotniczych i zobrazowań satelitarnych*, [w:] Okła K. (red.), *Geomatyka w lasach państwowych*, cz. 1: *Podstawy*, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Wytyczne techniczne. Baza Danych Topograficznych. TBD, 2008, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Zagospodarowanie przestrzenne terenów rolniczych w pasie oddziaływania autostrady, 1999, IX Konferencja Polskiego Towarzystwa Informatyki Przestrzennej, 14–15 września 1999, Wydawnictwo Wieś Jutra s.c., Warszawa.
- Ziobrowski Z., Korecki D., 2009, *Planowanie przestrzenne i formy zagospodarowania terenów w sąsiedztwie węzłów autostradowych ze szczególnym uwzględnieniem autostrady Kraków–Tarnów*, [w:] Belniak S., Kałkowski L., Kowalik J., Maciejowski S. (red.), 2009, *Uwarunkowania budowy autostrady A4 Kraków–Tarnów*, MWSE, Tarnów.

ANALYSIS OF LAND COVER CHANGES FOR AREAS LOCATED AROUND THE MOTORWAYS WITH USE OF GIS METHODS

This article aims to develop a method of acquiring land cover changes data on the basis of high resolution orthophotography derived from Polish cartographic resources. The assessment of information sources was also examined in terms of its utility in such analysis. Simultaneously, using selected example, it was outlined, how the surrounding the A2 motorway area in the Stryków community had changed between the years 1996 and 2009. Some methods and tools applied in geoprocessing and spatial analyses were also presented.

Many scientific publications describe data acquiring methods based on aerial photography and ortophotomaps that can be used in land cover and land use analyses. These methods may be divided into manual (visual), semi-automatic and automatic interpretation methods (e.g. raster, hybrid, object methods).

In this survey the manual interpretation method was applied due to the input data accessibility e.g. ortophotomaps that were made only in the visible light spectrum with different tone colors and contrasts for each year (1996, 2004, 2009). This research involved following steps: (1) projecting of geodatabase structure, (2) visual interpretation of ortophotomaps in order to create land cover maps for 1996, 2004 and 2009, (3) delimitation of land cover changes, (4) survey results analysis with kernel density tool in order to present the density and direction of land cover changes in the neighbourhood of A2 motorway.

The research indicated the straight majority of area surveyed in the years 1997–2009, was covered by gramineous vegetation and crops. However, the percentage of this class was decreasing systematically during those years. There was also remarkable increase for industrial and built-up areas. In the neighbourhood of A2 motorway in Stryków community, the growth of woodlands, wooded and shrubs area class was also noticed.

For the building A2 motorway purposes there were created new gravel-pits and excavations of sand nearby the road. That is why for the area surveyed the percentage of greenfields was larger in 2009 than in 1996.

Keywords: *GIS, land cover, motorway, kernel function*

Mgr Łukasz Lechowski
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji
e-mail: lukasz.lechowski@gmail.com

Złożono do druku 20 grudnia 2012 r.

ISSN 1508-1117

Stanisław Mordwa

ZASTOSOWANIE GIS W BADANIACH PRZESTĘPCZOŚCI

Potrzeba zastosowania geograficznego podejścia do badań przestępczości została zauważona jeszcze w XIX w., kiedy stwierdzono, że przestępczość jest zjawiskiem, którego dystrybucja w przestrzeni nie jest równomierna. Obecnie w badaniach przestępczości geografia ma do odegrania zdecydowanie większą rolę niż tylko przedstawianie na mapach zróżnicowania przestrzennego liczby dokonywanych przestępstw. Poczynając od lat 70. ubiegłego wieku, w ramach geografii przestępczości rozwinęły się różne metody badawcze. Jedną z głównych podstaw tego rozwoju było niewątpliwie pojawienie się na szerszą skalę sprzętu komputerowego oraz ewolucja oprogramowania GIS. W artykule przedstawiono takie metody i techniki badań, jak: mapy tematyczne, analiza hot spotów, autokorelacja przestrzenna, regresja przestrzenna, ProMap – mapy przestępczości potencjalnej i profilowanie geograficzne.

Słowa kluczowe: *geografia przestępczości, badania przestępczości na świecie, Systemy Informacji Geograficznej, analizy przestrzenne przestępczości, Łódź*

1. Wprowadzenie

Celem artykułu jest zaprezentowanie przeglądu literatury, głównie anglosaskiej, którego dokonano pod kątem rozpoznania podejść koncepcyjno-teoretycznych i metodycznych stosowanych w przestrzennych analizach przestępczości. W przypadku niektórych z opisywanych metod przedstawiono również ich zastosowania na przykładzie badań przestępczości w Łodzi.

Już w XIX w. zauważono, że rozmieszczenie przestępczości w przestrzeni nie jest równomierne. Było to związane z działalnością twórców szkoły kartograficznej w kryminologii: L. Queteleta, A.-M. Guerry'ego i A. Balbi. W szczególności A.-M. Guerry, który razem z A. Balbim był twórcą pierwszych map przestępczości we Francji, poszukiwał związków między przestępczością a innymi cechami społecznymi i etycznymi ówczesnego społeczeństwa (np. samobójstwami, biedą, bogactwem, urodzeniami pozamałżeńskimi). Ponieważ metody statystyczne dopiero powstawały, swoje spostrzeżenia prezentował on na mapach tematycznych (Friendly 2007).

Niezwykle istotną pracę nad przestrzennymi aspektami rozmieszczenia przestępczości wykonali dwaj przedstawiciele tzw. szkoły chicagowskiej: C. Shaw

i H. McKay. W latach 30. XX w. zaznaczali oni na mapach miejsca zamieszkania młodocianych przestępców oraz miejsca popełnianych przez nich deliktów. Odkryli w ten sposób zależności przestrzenne między biednymi i zdegradowanymi obszarami miasta a miejscami aktywności przestępców. Odkrycia te były podstawą sformułowania jednej z najważniejszych teorii w socjologii – teorii dezorganizacji społecznej. Zgodnie z nią zachowania patologiczne jednostek wynikają nie tylko z ich indywidualnych cech, ale także z ogólniejszego kontekstu społeczno-kulturowego obszaru, z którym są oni związani (Chainey, Ratcliffe 2005).

Osiągnięcia ekologii społecznej ułatwiły szersze spojrzenie innych badaczy na problemy badań przestępczości. Zauważono, że koncentrowanie się wyłącznie na ich psychologicznych i socjologicznych aspektach nie daje zadowalającego efektu wyjaśniającego. Tak więc – jak to ujęli P.J. i P.L. Brantinghamowie (1981) – każde przestępstwo należy rozpatrywać w czterech wymiarach: prawnym (gdy przepisy prawa zostaną złamane), wiktymizacyjnym (musi być ofiara, czyli ktoś lub coś zostaje celem czynu), sprawcy (ktoś dokonuje przestępstwa) oraz przestrzennym (w którym delikty są dokonywane).

Począwszy od lat 70. XX w., kiedy w USA GIS dopiero zaczynał się rozwijać, powstał dobry klimat dla współpracy przedstawicieli różnych środowisk naukowych i praktyków. Coraz powszechniejsze i posiadające większe możliwości obliczeniowe komputery dały impuls do rozwoju przyszłego oprogramowania GIS. W tym celu wykorzystano wiedzę i teorie geografów dotyczące analiz przestrzennych oraz wyjaśniające teorie kryminologiczne (szczególnie z zakresu właśnie rozwijającej się kryminologii środowiskowej). Instytucją, która koordynowała spotkanie geografów, kryminologów, praktyków policyjnych i prokuratury oraz informatyków, był National Institute of Justice w Stanach Zjednoczonych. Nadzorował on projekt Crime Mapping Research Center – CMRC (od 2002 r. – Mapping and Analysis for Public Safety – MAPS). Efektem tej współpracy był rozwój wielu metod badań i analiz przestępczości, które w łatwy sposób były wdrażane również do praktycznych działań operacyjnych (np. do 2000 r. wszystkie większe agencje w USA wykorzystywały już GIS do analiz przestępczości, a w poszczególnych miastach wdrożono GIS-owskie systemy policyjne: CompStat, CitiStat, COMSTAT), a także rozwój samego GIS. Podobną, ważną inicjatywą adaptacji GIS w badaniach i praktyce policyjnej na Starym Kontynencie był projekt Crime and Disorder Reduction Partnership (CDRPs) z Wielkiej Brytanii. Wzmocnienie znaczenia analiz przestrzennych w badaniach przestępczości było możliwe dzięki G.F. Rengertowi (1981, 1989), J.L. LeBeau'owi (1987) i K.D. Harriesowi (1974, 1980), którzy do analiz kryminologicznych wprowadzili narzędzia GIS i oprogramowanie do przestrzennych analiz statystycznych. Współczesny GIS to system informatyczny, który pozwala łączyć wiele różnych warstw informacyjnych, mających

referencje przestrzenne. Poszczególne warstwy (np. obszarów rewitalizowanych, demograficzna, transportowa, użytkowania terenów) mogą być nakładane na informacje dotyczące przestępczości (natężenie przestępstw, tereny wytypowane do zredukowania patologii) (Chainey, Ratcliffe 2005, s. 39).

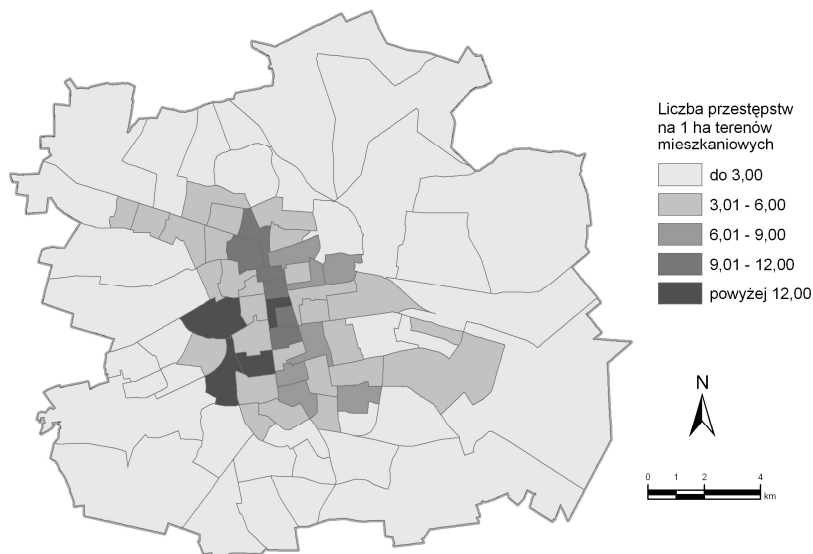
Obecnie nikogo już nie powinna dziwić obecność geografów wśród badaczy przestępczości. Jak podają S. Chainey i J. Ratcliffe (2005, s. 1), analiza miejsca popełnienia zbrodni odgrywa współcześnie istotną rolę dla zrozumienia przyczyn przestępczości, ale także dla opracowania sposobów jej likwidacji. Stąd zaangażowanie współczesnej geografii w badania przestępczości skierowane są nie tylko na przedstawianie, ale także interpretację i rozumieniem związków między przestępczością i przestrzenią (Herbert 1989, s. 11). Według D. Herberta, geografia przestępczości, oprócz identyfikacji miejsc charakteryzujących się większym nasileniem deliktów, bada także właściwości tych miejsc. W dalszej części tego opracowania zostaną przedstawione następujące metody analizy przestępczości: mapy tematyczne, analiza hot spotów, autokorelacja przestrzenna, regresja przestrzenna, profilowanie geograficzne, mapy przestępczości potencjalnej, scharakteryzowane także przez R.E. Wilsona i K.M. Filbert (2008) oraz M. Goldschneider (2010). Są one dostępne w różnych programach GIS (ArcMap 9.3, MapInfo 8.5, CrimeStat III, GeoDa 1.0 i inne). Polska literatura poświęcona przestrzennym analizom przestępczości jest już dosyć bogata, choć jej wartość jest głównie faktograficzna (szerszy przegląd tych prac można znaleźć w książce S. Mordwy z 2013 r.). Zastosowane w nich techniki GIS sprowadzają się do konstruowania map tematycznych.

2. Mapy tematyczne

Mapy tematyczne, zarówno jakościowe, jak i ilościowe, są chyba najbardziej popularnymi typami wykreślanych map. Ich zastosowanie pozwala na przedstawienie w zrozumiałym sposób wybranych zagadnień. Zastosowanie mapy jako metody przedstawienia różnych typów informacji pomaga uzyskać efekt porównania jednostek przestrzennych.

Zalety korzystania z oprogramowania GIS widoczne są już przy próbach budowy najprostszych map tematycznych dotyczących przestępczości. Wynika to z faktu, iż dane o przestępczości na niższych niż gmina poziomach agregacji można pozyskać wyłącznie w odniesieniu do jednostek wykorzystywanych przez policję. Dane, które mogą być związane z przestępczością (np. o ludności czy formach użytkowania terenu), należy zatem dostosować do granic policyjnych. Pomocne przy tym okazują się wbudowane w programy GIS (np. ArcMap 9.3) techniki zliczania właściwości obiektów według filtrów przestrzennych lub rozcinania warstw. Przykładem zastosowania tych technik może być mapa (rys. 1), opracowana na podstawie policyjnej warstwy z liczbą przestępstw oraz kilku

warstw obrazujących rozmieszczenie różnych typów terenów mieszkaniowych w mieście.



Rys. 1. Gęstość przestępstw ogółem w Łodzi w 2009 r. według sektorów policyjnych
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Komendy Miejskiej Policji i Urzędu Miasta Łodzi

W dalszej perspektywie narzędzia GIS pozwalają w szybki sposób odnosić dane o poszczególnych kategoriach przestępstw do zjawisk/warstw z nimi związanych, np. liczbę kradzieży mieszkaniowych można powiązać z rozmieszczeniem terenów mieszkaniowych, a liczbę rozbojów oraz bójek i pobić skorelować np. z rozmieszczeniem całodobowych sklepów sprzedających alkohol.

3. Analiza hot spotów

Hot spoty to miejsca charakteryzujące się znaczną, wyższą niż przeciętnie koncentracją przestępstw. W przeciwieństwie do nich, cold spoty to miejsca, które są prawie (lub zupełnie) pozbawione przestępczości. Hot spoty charakteryzują się niewielkimi rozmiarami, znaczną liczbą dokonanych deliktów oraz tym, że nie są stałe (jeśli dzięki pracy policji spadnie liczba przestępstw, to wówczas takie miejsce nie jest już hot spotem, aczkolwiek nadal może być tak postrzegane przez mieszkańców i policję; Maltz i in. 2000, s. 41).

Występowanie hot spotów w przestrzeni próbuje się wyjaśnić na gruncie teorii działań rutynowych, a wnioski z niej wynikające przekłada się na język algorytmów implementowanych do różnych programów GIS. Teoria działań rutynowych próbuje wyjaśnić, dlaczego przestępstwa występują w określonych

miejscach i w określonym czasie. Według jej autorów przestępstwo jest skutkiem wystąpienia trzech okoliczności: zmotywowanego sprawcy, odpowiedniego celu lub ofiary oraz miejsca pozbawionego dozoru. Ponadto stwierdza się, że przestępcy wybierają (bądź znajdują) swoją ofiarę podczas swoich rutynowych działań, takich jak podróże do pracy, do domu, na zakupy. W celu popełnienia deliktu przestępcy nie oddalają się zbyt daleko od miejsc, z którymi są związani (Cohen, Felson 1979). Jeśli zatem na jakimś obszarze nastąpi koncentracja osób o określonych cechach (młodzi mężczyźni, narkomani, bezrobotne starsze osoby) i mających motywację do popełnienia przestępstwa, to obszar ten ma szansę stać się hot spotem przestępczości. Stanie się tak, jeśli zmotywowany przestępca spotka na swojej drodze bezbronny cel. Zgodnie z osiągnięciami współczesnej kryminologii środowiskowej uważa się także, że pewne cechy samego miejsca mogą niejako przyciągać przestępców i czyny przez nich popełniane. Poznanie tych cech oraz skonstruowanie odpowiednich programów GIS pozwala na wskazanie takich miejsc w przestrzeni.

W literaturze opisano różne sposoby odnajdywania hot spotów, które generalnie należą do grupy statystyk przestrzennych. Najczęściej stosowane są takie techniki, jak: powierzchnie gęstościowe (Levine 2010, Ratcliffe 2010), kartogramy ilorazów lokalizacji (Brantingham, Brantingham 1995, 1997, Andersen i in. 2009), lokalne wskaźniki autokorelacji przestrzennej LISA (Cracolici, Uberti 2009, Ratcliffe 2010, Erdogan i in. 2011, Mordwa 2011), czy grupowanie hierarchiczne metodą najbliższego sąsiada (Levine 2010).

Ciekawy przykład identyfikowania hot spotów w przestrzeni miasta można znaleźć w publikacji D.F. Higginsa (2003). Stosując różne oprogramowanie (ArcGIS, CrimeStat) i rozpatrując różne techniki, wskazuje on na lepszą skuteczność metody gęstościowej (*kernel density estimate*) w wykrywaniu hot spotów, np. miejsc kradzieży rowerów w mieście Beaufort w Illinois.

4. Autokorelacja przestrzenna

Autokorelacja przestrzenna (zależność przestrzenna) występuje wtedy, gdy badane zjawiska w jednej jednostce przestrzennej powodują zwiększanie się lub zmniejszanie prawdopodobieństwa występowaniem tych zjawisk w jednostkach sąsiednich (Bivand 1980, s. 23). Zjawisko to wiązane jest z pierwszym prawem geografii W. Toblera (1970, s. 236), który stwierdził, że: „w przestrzeni wszystko jest związane ze wszystkim innym, przy czym bliższe rzeczy są bardziej związane niż rzeczy odległe” (obserwacja Toblera dotyczyła opisu modeli grawitacji). Występowanie autokorelacji przestrzennej wiąże się z następującymi tezami: 1) wymiar społeczno-ekonomiczny działalności ludzkiej jest kształtowany przez odległość i lokalizację, 2) aktywność człowieka nie jest ograniczona do określonych jednostek przestrzennych. Ich granice nie stanowią granic tej

aktywności. Stąd w jednostkach sąsiednich można spotkać podobne zjawiska społeczno-ekonomiczne.

W ujęciu praktycznym autokorelacja przestrzenna oznacza „stopień skorelowania obserwowanej wartości zmiennej w danej lokalizacji z wartością tej samej zmiennej w innej lokalizacji” (Suchecki 2010, s. 103). Badanie autokorelacji przestępczości polega na wykrywaniu obecności skupień zdarzeń kryminalnych lub ich brak. Sytuację, w której ujawnione zostanie przestrzenne skupianie się wysokich (lub niskich) wartości badanej zmiennej, nazwiemy autokorelacją dodatnią. Korelacja ujemna zachodzi, gdy wysokie wartości obserwacji otoczone są wartościami niskimi (i na odwrót), natomiast brak autokorelacji należy utożsamiać z losowym rozmieszczeniem wysokich i niskich wartości zjawiska.

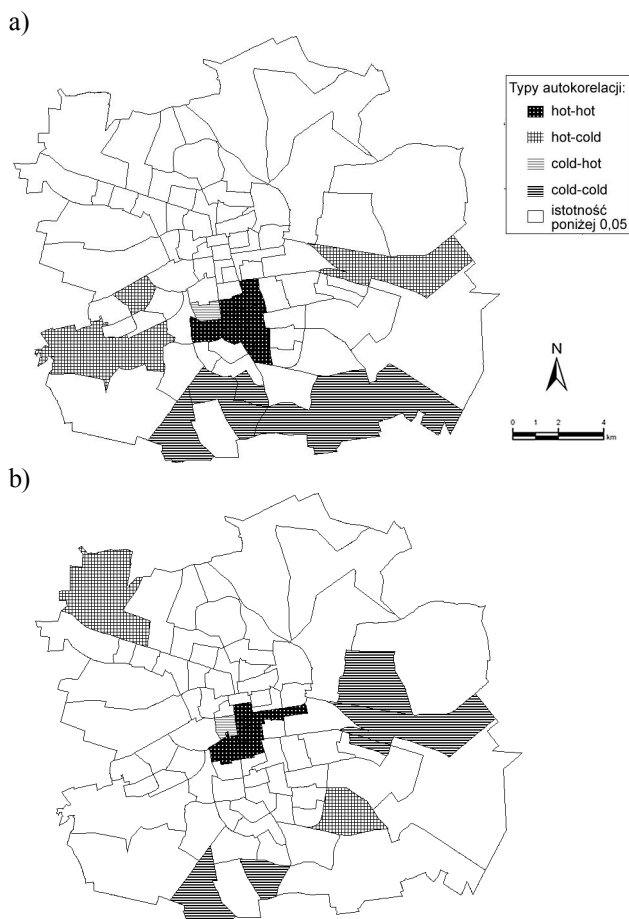
Niezwykle istotną rolę w przypadku badania autokorelacji i regresji przestrzennej ma konstrukcja macierzy wag. Ich sporządzenie jest niejako realizacją założenia, że siła wpływu występowania jakiegoś zjawiska w jednej jednostce na jego występowanie w jednostce sąsiedniej lub pobliskiej wynika z relacji przestrzennych (badania odległości). Na podstawie macierzy odległości lub sąsiedztwa mogą być skonstruowane różne typy macierzy wag. Pod uwagę mogą być brane różne kryteria oceny sąsiedztwa: istnienie wspólnej granicy, długość wspólnej granicy, odległość między obiektami lub odwrotność tej odległości (Bivand 1980). Wobec intensywności kontaktów o charakterze społeczno-przestrzennym przyjmuje się, że najlepsze efekty w przypadku analizy zjawisk przestępczych daje konstrukcja macierzy w tzw. relacji „królowej”¹ (Anselin i in. 2000).

Autokorelację można rozpatrywać na poziomie ogólnym (globalnym) i lokalnym. Wykrywanie globalnej autokorelacji przestrzennej odbywa się zazwyczaj za pomocą wskaźników: *I* Morana, *C* Geary’ego lub *G* Getisa i Orda (Suchecki 2010, s. 107). Najczęściej stosowana jest statystyka *I* (wartości zazwyczaj zawierają się w przedziale -1;1; gdzie 1 oznacza wysoką autokorelację dodatnią, -1 autokorelację ujemną, a 0 – brak autokorelacji), aczkolwiek wydaje się, że lepsze właściwości wyjaśniające ma statystyka *G* (daje możliwość rozróżnienia, czy mamy do czynienia ze skupieniami wartości wysokich, czy niskich).

Niezależnie od badania autokorelacji globalnej informacje należy przeanalizować również pod kątem statystyk lokalnej autokorelacji przestrzennej (Anselin 1995). Wskaźniki lokalne skonstruowane są podobnie jak miary globalne, z tą różnicą, że konstruowane są oddzielnie dla każdej jednostki przestrzennej (w przypadku statystyk LISA, czyli lokalne *I* oraz lokalne *C*, istnieje proporcjonalność między sumą miar lokalnych i miarą globalną). Istotnie statystycznie miary lokalnej autokorelacji dla poszczególnych jednostek można

¹ W macierzy tej sąsiedzi danej jednostki zdefiniowani są poprzez posiadanie wspólnej granicy lub choćby jednego wierzchołka z tą jednostką przestrzenną badanego obszaru (Bivand 1980).

przedstawić na mapie, co pozwala na zidentyfikowanie hot spotów w analizowanej przestrzeni (rys. 2).



Rys. 2. Autokorelacja przestrzenna zabójstw (a) oraz bójek i pobić (b) w Łodzi w latach 2006–2009 według sektorów policyjnych

Źródło: opracowanie własne za pomocą programu OpenGeoDa™ 1.0.1 na podstawie danych Komendy Miejskiej Policji w Łodzi

W przypadku badania autokorelacji przestrzennej ogółu przestępstw w Łodzi okazało się, że zjawisko to wykazuje bardzo słabą skłonność do skupiania się ($I = 0,1134$). Na podstawie statystyk LISA dało się jednak wyodrębnić sąsiedztwo sektorów policyjnych o wysokim natężeniu przestępczości (obszary typu *hot-hot*; w Łodzi to sektory leżące w Centrum); oraz sąsiadujące ze sobą obszary o niskim jej natężeniu (*cold-cold*; Ruda oraz Retkinia-Smulsko). Jednakże poszczególne rodzaje przestępstw wykazują odmienne skłonności do autokorelacji niż ogół przestępstw. Na rysunku 2 pokazano, że w przypadku

takich czynów jak zabójstwa (globalne $I = 0,3137$) czy bójki i pobicia ($I = 0,3494$) mamy do czynienia z przeciętną autokorelacją, która w dodatku pozwala na wskazanie odmiennych obszarów poważnego zagrożenia tymi czynami.

Często obszary typu *hot-hot* utożsamiane są z hot spotami wysokiej przestępczości (Cracolici, Uberti 2009, Ratcliffe 2010, Erdogan i in. 2011). Badanie skupień przestępczości daje nam obraz miejsc, w których dokonywanych jest wiele deliktów, ale nie daje wyjaśnienia, dlaczego niektóre miejsca są bardziej kryminogenne od innych. W tym celu należy zbadać regresję przestrzenną.

5. Regresja przestrzenna

Techniki regresji liniowej oparte na metodzie najmniejszych kwadratów od dawna służą już do konstruowania modeli wyjaśniających zależności występujące między różnymi zmiennymi. Tak zbudowane modele nie uwzględniają jednak zależności przestrzennych. A jeżeli przestrzenna autokorelacja badanych zmiennych zostanie stwierdzona, to wówczas w modelu regresji powinien być uwzględniony również tzw. efekt przestrzenny. W przeciwnym wypadku sporządzone modele muszą okazać się mniej efektywne.

Techniki regresji przestrzennej rozwinięte przez L. Anselina (2002), podobnie jak w przypadku autokorelacji przestrzennej, bazują na macierzach wag, czyli uwzględniają sąsiedztwo i położenie jednostek przestrzennych. Przestrzenne podejście do badania regresji polega na wykryciu efektów przestrzennych cech zależnych (nazywanych opóźnieniem przestrzennym) i cech niezależnych (błąd przestrzenny). Zgodnie z koncepcją Anselina, jeśli zostaną zidentyfikowane opóźnienia bądź błędy przestrzenne, to model regresji zostanie tak dopasowany, aby te przestrzenne efekty nazbyt nie oddziaływały na siłę wyjaśniającą uzyskanego modelu regresji.

Przykład uwzględniający badanie regresji przestrzennej zjawisk przestępczych można znaleźć w pracy S. Mordwy (2011). Cytowane badanie dotyczyło wpływu wybranych cech o charakterze demograficznym na liczbę różnych kategorii kradzieży w Łodzi. W modelu regresji przyjętych zmiennych na liczbę kradzieży kieszonkowych stwierdzono istotny wpływ przesunięć przestrzennych (choć R^2 wyniósł tylko 13,7%). Skonstruowano zatem model, w którym wyeliminowano te przesunięcia ($pseudo-R^2 = 16,3\%$). Ponieważ w modelu eliminującym czynnik przestrzenny stwierdzono istotność tylko jednej zmiennej niezależnej (gęstości zaludnienia), opracowano kolejny model regresji, który uwzględniał tylko tę jedną zmienną oraz przesunięcia przestrzenne. Uzyskany model ze względu na wartości współczynników informacyjnych okazał się najlepiej dopasowany, chociaż jego moc wyjaśniająca nadal pozostała na niskim poziomie ($pseudo-R^2 = 16,7\%$). Regresja gęstości zaludnienia na liczbę kradzieży kieszon-

kowych ostatecznie została określona modelem o parametrach zawartych w tabeli 1. Na podstawie modelu z tabeli 1 oszacowano następnie liczbę kradzieży w poszczególnych sektorach policyjnych w Łodzi oraz reszty z regresji (jako różnice między liczbą kradzieży faktycznie zarejestrowanych a wartością oszacowaną na podstawie modelu).

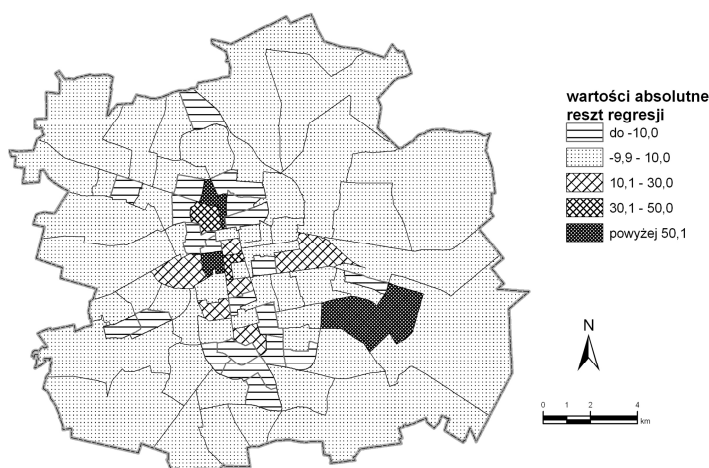
Tabela 1

Parametry najlepiej dopasowanego modelu regresji zmiennych demograficznych na kradzieże kieszonkowe w Łodzi w latach 2006–2009
(uwzględniający przesunięcia przestrzenne)

Zmienne niezależne/parametry	Zmienna zależna – liczba kradzieży kieszonkowych
Stała	4,708
Gęstość zaludnienia	0,110
Współczynnik przesunięcia przestrzennego	0,261
R^2	-
Pseudo- R^2 (w %)	16,7
Statystyka F	-
Logarytm funkcji wiarygodności	-379,985
Kryterium informacyjne Akaike’a	765,970
Kryterium informacyjne Schwarz’a	773,153

Uwaga: wytłuszczono wartości istotne statystycznie na poziomie istotności 0,05.

Źródło: obliczenia własne w programie GeoDaTM 0.9.5-i na podstawie danych KMP w Łodzi.



Rys. 3. Reszty z regresji dla liczby kradzieży kieszonkowych dokonanych w Łodzi w latach 2006–2009 według sektorów policyjnych

Źródło: opracowanie własne za pomocą programu OpenGeoDaTM 1.0.1 na podstawie danych Komendy Miejskiej Policji w Łodzi

Rozkład reszt regresji zaprezentowany na rysunku 3 wskazuje na rozmieszczenie sektorów policyjnych, w których występuje znaczna nadwyżka liczby kradzieży kieszonkowych obserwowanych nad przewidywanymi zgodnie z modelem (Thomas 1973).

6. Profilowanie geograficzne

Profilowanie geograficzne często jest traktowane jako element profilowania psychologicznego. Technika ta pozwala na wyznaczenie najbardziej prawdopodobnych miejsc, z którymi związany jest sprawca czynu (bardzo często jest to miejsce zamieszkania lub miejsce pracy, ale nie jest to reguła). Po ustaleniu zatem profilu psychologicznego sprawcy policja dostaje dodatkowe informacje, które pozwalają poważnie zawęzić działania operacyjne.

Stosowanie profilowania geograficznego ma jednak poważne ograniczenia. Technika ta ma bowiem zastosowanie tylko w przypadku przestępstw seryjnych, czyli wtedy, gdy zostanie ustalone, że określonego zestawu czynów dokonał ten sam sprawca. Błędne przypisanie czynu do sprawcy powoduje poważne zaburzenia w efektywności działania modelu profilowania. W profilowaniu bierze się pod uwagę szereg lokalizacji przestępstw seryjnych i tworzy się teoretyczną przestrzeń, która identyfikuje każdy możliwy punkt zaczepienia w poszukiwaniu sprawców, np. zabójstw, gwałtów czy włamań (Rossmo 2000, Canter 2003, Chainey, Ratcliffe 2005).

Techniki profilowania geograficznego mają bardzo poważną podbudowę teoretyczną. Do najważniejszych wykorzystywanych teorii należy zaliczyć wspomnianą już teorię działań rutynowych (Cohen, Felson 1979), a także teorię racjonalnego wyboru, wzorec przestępczości, teorię dezorganizacji społecznej (Chainey, Ratcliffe 2005), procedurę drogi-do-przestępstwa czy hipotezę okręgu (Canter, Larkin 1993).

Teoria racjonalnego wyboru bazuje na XVII-wiecznej koncepcji z dziedziny ekonomii. Zgodnie z nią przestępcy myślą racjonalnie i podejmują racjonalne decyzje. Uwzględniają oni zagrożenie i ryzyko popełnienia przestępstwa, ale także potrafią oszacować spodziewane zyski. Mimo że działają w sytuacji ograniczonej czasem i w stresie, mają ograniczoną percepcję i nie korzystają ze wszystkich dostępnych informacji, ich działania można uznać za racjonalne. Zgodnie z takim podejściem popełnianie przestępstwa można traktować jako celowe i świadome działanie, które służy zaspokojeniu różnych potrzeb sprawcy, który podejmuje decyzje (Clarke, Felson 1993).

Wzorec przestępczości został opracowany przez P.L. i P.J. Brantinghamów (1981), którzy dokonali niejako połączenia teorii racjonalnego wyboru i działań rutynowych z przestrzenią geograficzną. We wzorcu tym ujęte są interakcje, jakie zachodzą między przestępcami a ich fizycznym i społecznym otoczeniem.

Zakłada się, że miejsca zamieszkania przestępców znajdują się w centrum obszaru ich przestępczej aktywności. Tereny wokół niejako wysyłają pewne sygnały, które są interpretowane przez sprawców jako miejsca odpowiednie dla popełnienia określonego czynu, bezpieczne z ich punktu widzenia. Wraz ze wzrostem doświadczenia przestępczego, proprzestępcze własności przestrzeni obierane są przez kryminalistów coraz bardziej intuicyjnie, co przyspiesza decyzję o popełnieniu przez nich deliktu. Autorzy wzorca przestępczości zakładają, że poznanie schematu tego wzorca jest możliwe, co z kolei pozwoli na zidentyfikowanie w przestrzeni miejsc zagrożonych przestępstwami (Eck, Weisburd 1995).

Procedura drogi-do-przestępstwa wielokrotnie wykazała, że obowiązuje zasada najmniejszego wysiłku, i że sprawcy należy poszukiwać w najbliższym otoczeniu przestrzennym i społecznym rozpatrywanego zdarzenia (np. więcej niż połowa włamywaczy do mieszkań jest skłonna pokonać nie więcej niż 1/2 mili z ich miejsca zamieszkania do miejsca przestępstwa; Chainey, Ratcliffe 2005). Procedura ta często sprowadzana jest do czysto matematycznego algorytmu poszukiwania miejsca związanego ze sprawcą, algorytmu, który wykorzystuje zasadę zaniku odległości (Rich, Shively 2004).

Do profilowania geograficznego najczęściej wykorzystuje się trzy modele: RIGEL (stworzony przez K. Rossmo), DRAGNET (D. Canter) i CrimeStat (N. Levine). Punktem wyjścia w tych modelach jest wprowadzenie poprzez systemy informacji przestrzennych lokalizacji miejsc dokonanych przestępstw. Zastosowanie w następnych etapach kompilacji różnych metod analiz przestrzennych tych miejsc oraz informacji związanych z danym typem przestępcy (np. sprawcy poszczególnych typów deliktów mają różne cechy społeczno-demograficzne) prowadzi do wyznaczenia na mapie najbardziej prawdopodobnych obszarów, z którymi jest związany sprawca (Rich, Shively 2004). Znakiem podręcznikiem dotyczącym zasad sporządzania profili geograficznych jest praca K. Rossmo (2000). W tej książce na przykładach przedstawia się dochodzenie do wskazania miejsc w przestrzeni miasta, z którymi związani byli seryjni mordercy, gwałciciele, włamywacze, sprawcy rozbojów czy podpalacze. Przedstawione są sporządzone mapy z zaznaczonymi miejscami prawdopodobnie związanymi z poszukiwanymi przestępstwami. Lokalizacja ujętych później sprawców w zasadzie pokrywała się z miejscami wskazanymi przez Rossmo.

W warunkach polskich w niektórych miastach (np. w Krakowie – Mydel, Kozimor 1989) w celach naukowych można było pozyskać dane adresowe miejsc, w których dokonano przestępstw, jak również dane dotyczących lokalizacji sprawców czynów; ale w takich miastach jak Łódź spotkano się z wyraźną odmową udostępnienia takich informacji (można pozyskiwać tylko dane zagregowane na poziomie sektorów policyjnych – z rejestru policyjnego KSIP). Konstruowanie profili geograficznych jest zatem póki co niemożliwe (tym

bardziej, że potrzebne byłyby dokładne informacje o tym, które przestępstwa zostały popełnione przez konkretne osoby). Uwaga ta dotyczy także map przestępczości potencjalnej.

7. Mapy przestępczości potencjalnej

Technologia ProMap (*prospective mapping*), w największym skrócie ujmując, pozwala na wskazanie tych miejsc, w których popełnienie danego rodzaju przestępstwa ma największe prawdopodobieństwo. Podobnie jak w przypadku profilowania geograficznego, wykorzystuje się tutaj teorie działań rutynowych, racjonalnego wyboru, wzorca przestępczości czy procedurę drogi-do-przestępstwa. Zakłada się bowiem, że w okolicy miejsca, w którym dokonano jakiegoś czynu, przez pewien czas będzie utrzymywało się zwiększone prawdopodobieństwo zajścia podobnego zdarzenia. W zależności od typu deliktu przewiduje się, jaki obszar naznaczony jest zwiększonym zagrożeniem oraz jak długo zagrożenie to będzie się utrzymywać. Zastosowanie ProMap wymaga zatem dużego doświadczenia i dobrego rozpoznania specyfiki czynu.

Przykład zastosowania ProMap można znaleźć w raporcie S. Johnsona z zespołem (2007). Autorzy tego opracowania dokonali analizy włamań w regionie East Meadlands w Wielkiej Brytanii. Na wstępie stwierdzili, że włamania są rozmieszczone w przestrzeni miasta nierównomiernie (występują skupienia), chociaż ich rozmieszczenie w czasie jest względnie stałe. Następnie korzystając z metod rozwiniętych na gruncie epidemiologii oraz symulacji Monte Carlo uznali, że włamania są zjawiskiem „zaraźliwym” – gdyż występują bardzo blisko siebie zarówno w przestrzeni, jak i w czasie. Określono także dwa parametry dotyczące czasu i obszaru prawdopodobieństwa dokonania następnego włamania. W efekcie dokonano prognozy, zgodnie z którą istniało duże prawdopodobieństwo, iż kolejne włamanie zostanie dokonane w przeciągu miesiąca w promieniu 400 m od aktualnie stwierdzonego, a także, że dojdzie do niego o podobnej porze dnia. W rezultacie na podstawie zastosowanych procedur obliczeniowych i modeli udało się przewidzieć miejsca 78% włamań, które nastąpiły w ciągu następnego tygodnia w regionie East Meadlands.

8. Zakończenie

Zjawisko przestępczości jest bardzo interesującym problemem do badań przy zastosowaniu technik GIS. Rozwój wiedzy, nowych technologii i metod daje duże możliwości analityczne. Zastosowanie zaprezentowanych metod badań może przyczynić się do lepszego rozpoznania i wykrycia patologii trapiących nasze społeczeństwo, a także daje przesłanki podjęcia działań prewencyjnych.

Oprócz walorów poznawczych badania nad przestępczością za pomocą GIS mają zatem swój ważny aspekt praktyczny.

Poczynając od badań powstających pod wpływem osiągnięć ekologicznej szkoły chicagowskiej, można obserwować również w pracach geografów stałą obecność problematyki przestępczości w badaniach miast. Obecnie, ze względu na ograniczony w Polsce dostęp do danych o innych zjawiskach i strukturach społecznych badania rozmieszczenia zjawisk patologicznych w miastach (w tym dotyczące przestępczości, ubóstwa czy bezrobocia) stanowią bardzo silny nurt w geografii społecznej, dając niejako pośredni obraz dysproporcji społecznych występujących w przestrzeni miast. Jak to zauważyła I. Sagan (2004), we współczesnych społecznych badaniach miast zwraca się bowiem uwagę na wzrastające rozwarstwienie społeczne, którego konsekwencją jest także segregacja przestrzenna grup społecznych charakteryzujących się różnymi dochodami (wysoko kwalifikowani specjaliści – słabo opłacani robotnicy). Koncentracji przestrzennej osób bezrobotnych lub o niskich dochodach towarzyszy coraz częściej wzrost natężenia na tych obszarach różnych zjawisk patologicznych, w tym związanych z przestępczością, przemocą, wandalizmem, czyli leżących w kręgu zainteresowań geografii przestępczości. Wzbogacenie dotychczasowych badań o nowe metody – jakie oferuje GIS – może niewątpliwie pomóc w lepszym diagnozowaniu patologicznych zjawisk społecznych, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia efektywnego zarządzania miastem. A konieczność zapewnienia bezpiecznych przestrzeni (głównie mieszkaniowych) i spokojnego życia mieszkańcom staje się obecnie ważnym i narastającym problemem w miastach.

Na koniec rozważań o zastosowaniu GIS w badaniach przestępczości należy odnieść się do tytułu Konferencji „GIS w nauce”, która miała miejsce na Wydziale Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego w 2012 r. Na podstawie poruszanych kwestii można stwierdzić, że GIS stanowi zespół technik i narzędzi badawczych, wykorzystywanych w rozwiązywaniu problemów stawianych przez np. geografę, historię czy biologię. Jednak na podstawie tego opracowania należy dodać, że GIS stanowi także odrębną naukę. W badaniach przestępczości korzysta się z dorobku teoretycznego i metodologicznego wielu nauk, a GIS stworzył nie tylko środowisko oprogramowania łączącego ten dorobek, ale pozwolił na zaprojektowanie, rozwój i praktyczne wykorzystanie zupełnie nowych narzędzi i metod. A to już są cechy samodzielnej nauki. Pomimo swoich interdyscyplinarnych źródeł GIS stanowi już metodologicznie dojrzałą (choć ciągle jeszcze dojrzewającą) dyscyplinę wiedzy. Jak to napisał T.S. Kuhn (2001, s. 34): „pewne akceptowane wzory faktycznej praktyki naukowej – wzory obejmujące równocześnie prawa, teorie, zastosowania i wyposażenie techniczne – tworzą model, z którego wyłania się jakaś szczególna, zwarta tradycja badań naukowych”.

Literatura

- Andresen M.A., Wuschke K., Kinney J.B., Brantingham P.J., Brantingham P.L., 2009, *Cartograms, crime, and location quotients*, „Crime Patterns and Analysis”, 2 (1), s. 31–46.
- Anselin L., 1995, *Local indicators of spatial association – LISA*, „Geographical Analysis”, 27, s. 93–115.
- Anselin L., 2002, *Under the hood: issues in the specification and interpolation of spatial regression models*: <http://sal.uiue.edu/users/anselin/papers.html>.
- Anselin L., Cohen J., Cook D., Gorr W., Tita G., 2000, *Spatial analyses of crime*, [w:] Duffee D. (red.), *Measurement and analysis of crime and justice*, NCJRS, Rockville.
- Bivand R., 1980, *Autokorelacja przestrzenna a metody analizy statystycznej w geografii*, [w:] Chojnicki Z. (red.), *Analiza regresji w geografii*, PWN, Poznań, s. 23–38.
- Brantingham P.J., Brantingham P.L. (red.), 1981, *Environmental criminology*, Sage Publications, Beverly Hills.
- Brantingham P.J., Brantingham P.L., 1995, *Location quotients and crime hotspots in the city*, [w:] Block C., Dabdoub M., Fregly S. (red.), *Crime analysis through computer mapping*, Police Executive Research Forum, Washington.
- Brantingham P.J., Brantingham P.L., 1997, *Mapping crime for analytic purposes: location quotients, counts and rates*, [w:] Weisburd D., McEwen T. (red.), *Crime mapping and crime prevention*, Criminal Justice Press, Monsey, s. 263–288.
- Canter D., 2003, *Mapping murder: the secrets of geographic profiling*, Virgin Publishing, London.
- Canter D., Larkin P., 1993, *The environmental range of serial rapists*, „Journal of Environmental Psychology”, 13, s. 63–69.
- Chainey S., Ratcliffe J., 2005, *GIS and crime mapping*, John Wiley and Sons, Hoboken.
- Clarke R.V., Felson M., 1993, *Routine activity and rational choice. Advances in criminological theory*, Transaction Publishers, vol. 5, New Brunswick.
- Cohen L., Felson M., 1979, *Social change and crime rate trends*, „American Sociological Review”, 44, s. 588–608.
- Cracolici M.F., Uberti T.E., 2009, *Geographical distribution of crime in Italian provinces: a spatial econometric analysis*, „Jahrbuch für Regionalwissenschaft”, 29, s. 1–28:
<http://poseidon01.ssrn.com/delivery.php?ID=420125003002079005093000087066119092096020034023025001122073009066081022031115002071005059060034023051016025104100121005076000046078006069052024079094013074016108021001016105085071123005023023072118105&EXT=pdf> (dostęp 13.10.2012 r.).
- Eck J.E., Weisburd D., 1995, *Crime places in crime theory*, [w:] Eck J.E., Weisburd D. (red.), *Crime and place*, Monsey, s. 1–33.
- Erdogan S., Dereli M.A., Yalçın M., 2011, *Spatial analysis of five crime statistics in Turkey*, FIG Working Week 2011, Marrakech:
http://www.fig.net/pub/fig2011/papers/ts04c/ts04c_erdogan_dereli_et_al_5202.pdf.
- Friendly M., 2007, *A.-M. Guerry's moral statistics of France: Challenges for multi-variable spatial analysis*, „Statistical Science”, 22 (3), s. 368–399.

- Goldschneider M., 2010, *Geografia przestępczości. Uwagi na temat przestrzennych analiz przestępczości przy wykorzystaniu technik cyfrowych*, „Archiwum Kryminologii”, 32, s. 23–43:
<http://www.inp.pan.pl/wydaw/AK32%20Goldschneider.pdf> (dostęp 12.10.2012 r.).
- Harries K.D., 1974, *The geography of crime and justice*, McGraw-Hill, New York.
- Harries K.D., 1980, *Crime and the environment*, Charles C. Thomas Press, Springfield.
- Herbert D.T., 1989, *Crime and place: an introduction*, [w:] Evans D., Herbert D. (red.), *The geography of crime*, Routledge, London, s. 1–15.
- Higgins D.F., 2003, *A crime analyst's guide to mapping*, ICJIA, Chicago.
- Johnson S.D., Birks D.J., McLaughlin L., Bowers K.J., Pease K., 2007, *Prospective crime mapping in operational context*, Home Office Online Report 19/07: http://www-staff.lboro.ac.uk/~ssgf/kp/2007_Prospective_Mapping.pdf (dostęp 13.10.2012 r.).
- Kuhn T.S., 2001, *Struktura rewolucji naukowych*, Fundacja Aletheia, Warszawa.
- LeBeau J.L., 1987, *Patterns of stranger and serial rape offending: Factors distinguishing apprehended and at large offenders*, „The Journal of Criminal Law & Criminology”, 78 (2), s. 309–326.
- Levine N., 2010, *CrimeStat: A spatial statistics program for the analysis of crime incident locations* (v 3.3): <http://www.icpsr.umich.edu/CrimeStat/workbook.html>.
- Maltz M.D., Gordon A.C., Friedman W., 2000, *Mapping crime in its community setting. Event Geography analysis*: Springer-Verlag, New York:
<http://www.uic.edu/depts/lib/forr/pdf/crimjust/mappingcrime.pdf>.
- Mordwa S., 2011, *Kradzieże w przestrzeni Łodzi*, „Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica”, 11, s. 187–206.
- Mordwa S., 2013, *Przestępczość i poczucie bezpieczeństwa w przestrzeni miejskiej. Przykład Łodzi*, Wydawnictwo UŁ, Łódź.
- Mydel R., Kozimor K., 1989, *Demograficzne, czasowe i przestrzenne aspekty przestępczości w Krakowie*, „Folia Geographica. Series Geographica-Oeconomica”, 22, s. 63–84.
- Ratcliffe J., 2010, *Crime mapping: spatial and temporal challenges*, [w:] Piquero A.R., Weisburd D. (red.), *Handbook of quantitative criminology*, Springer, New York.
- Rengert G.F., 1989, *Behavioral geography and criminal behavior*, [w:] Evans D.J., Herbert D.T. (red.), *The geography of crime*, Routledge, London.
- Rengert G.F., Simon H., 1981, *Crime spillover*, Sage Publications, Beverley Hills.
- Rich T., Shively M., 2004, *A methodology for evaluating geographic profiling software*, Abt Associates, Cambridge:
<https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/grants/208993.pdf>.
- Rossmo D.K., 2000, *Geographic profiling*, CRC Press, Boca Raton.
- Sagan I., 2004, *Współczesne miasto przestrzennie rozproszone i społecznie podzielone*, [w:] Majer A., Starosta P. (red.), *Wokół socjologii przestrzeni*, Wydawnictwo UŁ, Łódź, s. 181–185.
- Suchecki B. (red.), 2010, *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa.

- Thomas E.N., 1973. *Mapy reszt z regresji. Ich charakterystyka i stosowanie w badaniach geograficznych*, „Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej”, 3–4, s. 89–138.
- Tobler W., 1970, *A computer movie simulating urban growth in the Detroit region*, „Economic Geography”, 46, s. 234–40.
- Wilson R.E., Filbert K.M., 2008, *Crime mapping and analysis*, [w:] Shekhar S., Xiong H. (red.), *Encyclopedia of GIS*, Springer, London, s. 180–186.

THE APPLICATION OF GIS IN CRIME RESEARCH

Nowadays geography can do much more in crime and delinquency research than only mapping. Since 70s of the 20th century various research methods have been developed by scientists dealing with geography of crime. The computer tools, including GIS software were the basis for that process. In the paper author presents following methods and research techniques: thematic maps (graphical representation of spatial data, which enables to built geographical basic data models), hot spot analysis (pointing places with high crime concentration), spatial autocorrelation (spatial identification of crime concentration), spatial regression (analysis of crime and other accompanying phenomena), ProMap – prospective mapping (prediction of the most probable places where crimes might be committed), and geographical profiling (element of psychological profiling thanks to which identification of places connected with criminals is possible).

Keywords: *geography of crime, world's crime studies, GIS, spatial analysis of crime*

Dr Stanisław Mordwa
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych
Katedra Gospodarki Przestrzennej i Planowania Przestrzennego
e-mail: most@geo.uni.lodz.pl

Łukasz Kowalski, Anna Łobodzińska

MODELOWANIE LOKALIZACJI MIEJSC W PRZEDSZKOLACH W MAŁOPOLSCE NA PODSTAWIE DOSTĘPNOŚCI PRZESTRZENNEJ

Artykuł prezentuje model lokalizacji nowych placówek i miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego w województwie małopolskim. W jego konstrukcji autorzy wykorzystali metodę potencjału, przy jednoczesnym uwzględnieniu współczesnych trendów demograficznych w województwie. Zaprezentowany model pozwala na identyfikację gmin „problemowych” pod kątem niedoborów miejsc w danym roku oraz sugeruje, które lokalizacje będą najbardziej optymalne i zyskowe w najbliższej przyszłości.

Słowa kluczowe: *lokalizacja usług, przedszkola, model potencjału, model lokalizacji, dostępność przestrzenna, Małopolska*

1. Wstęp

W 2010 r. dzieci uczęszczające do małopolskich przedszkoli stanowiły zaledwie połowę dzieci w wieku 3–6 lat. Tak niski wskaźnik upowszechnienia edukacji przedszkolnej był charakterystyczny dla całego kraju. Zarówno wartość wspomnianego wskaźnika, jak i oferta przedszkoli w kontekście liczby miejsc, a co za tym idzie – dostępność tych placówek, wykazują zróżnicowanie przestrzenne. Niski odsetek dzieci w wieku 3–6 lat, które uczęszczają do przedszkoli, jest zatem w pewnym stopniu efektem niedopasowania podaży miejsc w przedszkolach do potencjalnego popytu na nie. Zagadnienie nabiera szczególnego znaczenia w kontekście wprowadzenia obowiązku przedszkolnego dla dzieci pięcioletnich oraz przesunięcia obowiązku szkolnego dla sześciolatków do 2014 r., a co się z tym wiąże – zwiększonego zapotrzebowania na miejsca w tego typu placówkach. Zaspokojenie popytu na miejsca w przedszkolach oraz dążenie do zwiększenia poziomu upowszechnienia edukacji przedszkolnej wymagają odpowiednio ukierunkowanych działań w zakresie lokalizacji nowych placówek czy zwiększania liczby miejsc w już istniejących jednostkach.

Celem autorów jest opracowanie modelu lokalizacji nowych miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego w województwie małopolskim, przy założeniu, że powinny one powstawać w miejscach, gdzie popyt na nie jest i będzie w przyszłości największy. Do modelowania zapotrzebowania na miejsca

w przedszkolach oraz wyznaczania optymalnych lokalizacji nowych obiektów posłużono się metodą potencjału. Autorzy przyjęli, że model ten odzwierciedla rzeczywistość lepiej niż metody, które nie uwzględniają sąsiedztwa. Model potencjału, oprócz masy własnej gminy, uwzględnia bowiem wpływ mas sąsiednich gmin i odległości między nimi na wartość potencjału w badanej jednostce.

Dostępność przestrzenną placówek w województwie małopolskim zanalizowano w kontekście aktualnych przemian demograficznych, ze szczególnym uwzględnieniem ich tempa i kierunku w ostatnich latach. Porównanie zmieniających się demograficznych z danymi dotyczącymi dostępności przedszkoli stanowi podstawę do szacowania przyszłego zapotrzebowania na te miejsca. Według typologii stworzonej na podstawie wybranych wskaźników demograficznych zostały wyodrębnione obszary problemowe – najbardziej narażone na niedobory miejsc w przedszkolach w najbliższej przyszłości. Opracowany model ma umożliwić odpowiedź na pytanie, gdzie takie miejsca powinny powstawać w pierwszej kolejności. Wyniki badań oraz sam model mogą znaleźć zastosowanie zarówno w działaniach władz samorządowych, jak i prywatnych inwestorów.

2. Źródła danych

Konstrukcję modelu dostępności przestrzennej placówek wychowania przedszkolnego oparto na danych statystycznych z Banku Danych Lokalnych GUS. Ze wspomnianej bazy pozyskano informacje dotyczące liczby przedszkoli (publicznych i prywatnych) oraz innych form wychowania przedszkolnego (oddziały przedszkolne przy szkołach podstawowych, punkty wychowania przedszkolnego, zespoły przedszkolne), oferowanych przez nie miejsc, a także uczęszczających do nich w poszczególnych latach dzieci. Z tego samego źródła pozyskano dane demograficzne: wartości przyrostu naturalnego, salda migracji, zmiany liczby dzieci w wieku przedszkolnym. Analiza obejmuje lata 2005–2010. Ze względu na aplikacyjny charakter modelu autorzy odnoszą się również do prognoz demograficznych opracowanych dla 2013 r.

Uwzględniając fakt, iż zapewnienie opieki i wychowania przedszkolnego należy do zadań własnych gmin, jako podstawową jednostkę przestrzenną w niniejszej analizie przyjęto właśnie gminy (miejskie, wiejskie, obszary miejskie i obszary wiejskie w gminach miejsko-wiejskich). Na podstawie granic administracyjnych z Państwowego Rejestru Granic CODGiK obliczono w programie Quantum GIS 1.8.0 centroidy każdej z jednostek (narzędzie „środek ciężkości”) oraz odległości między nimi (narzędzie „macierz odległości”). Centroidom tym przyporządkowano dane demograficzne oraz dotyczące placówek wychowania przedszkolnego. Obliczenia na macierzach i bazach danych wykonano w programie Excel, a kartograficzną prezentację wyników w programie ArcGis 10.

3. Metody

W konstrukcji modelu lokalizacji nowych miejsc w przedszkolach autorzy oparli się na analizie dostępności placówek wychowania przedszkolnego oraz wybranych wskaźnikach demograficznych. Dostępność przedszkoli może być rozpatrywana w kontekście deficytów liczby miejsc – jako różnica między oferowaną przez placówki w danej gminie liczbą miejsc a liczbą dzieci w wieku przedszkolnym. Ten typ analizy ujmuje jednak indywidualnie każdą jednostkę administracyjną i nie uwzględnia jej oddziaływań z otoczeniem. Wyklucza zatem możliwość dowożenia dzieci do przedszkoli poza granice gminy będącej ich miejscem zamieszkania. Uwzględnienie tego typu oddziaływań, przy jednoczesnym założeniu, że wraz ze wzrostem odległości maleje prawdopodobieństwo dowożenia dzieci do przedszkoli, umożliwia wykorzystanie modelu potencjału.

W celu obliczenia potencjału miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego i dzieci w wieku przedszkolnym w danej gminie, autorzy wykorzystali wzór (*Narzędzie ewaluacyjno-badawcze...* 2012):

$$A_i = M_i \exp(-\beta c_{ii}) + \sum_j M_j \exp(-\beta c_{ij}),$$

gdzie:

A_i – potencjał lub dostępność potencjałowa gminy i ,

M_i – masa gminy i ,

c_{ii} – odległość wewnętrzna w gminie i ,

M_j – masa gminy j ,

c_{ij} – odległość między gminami i oraz j ,

β – parametr beta,

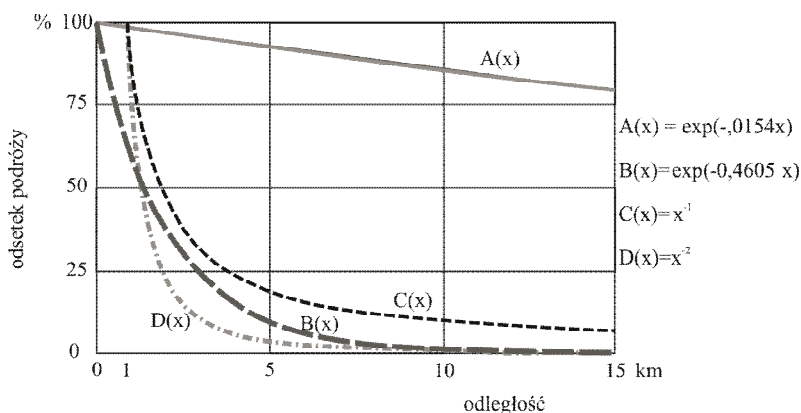
$\exp(-\beta c_{ij})$ – funkcja oporu odległości (przestrzeni).

Model potencjału uwzględnia wzajemne oddziaływania między wszystkimi jednostkami w przestrzeni oraz potencjał własny danej jednostki. Siła oddziaływania między dwiema gminami jest tym większa, im większą mają one masę. Jednocześnie jest ona odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi. Wykorzystana przez autorów funkcja oporu odległości to funkcja eksponencjalna – szczególny przypadek funkcji wykładniczej. Jeżeli odległość między jednostkami dąży do zera, funkcja ta przyjmuje wartość 1, nie dąży natomiast do nieskończoności, jak w przypadku funkcji potęgowej. Uzyskane w ten sposób wyniki są bliższe rzeczywistości i łatwiejsze w interpretacji.

Wyznaczenie wzoru funkcji oporu odległości najbardziej odpowiadającego rzeczywistości wymagałoby przeprowadzenia badań empirycznych. Na potrzeby artykułu autorzy przyjęli, że funkcja oporu odległości dla dojazdów do przedszkoli jest podobna do analogicznej funkcji dla dojazdów do pracy. Wzór przekształcono w taki sposób, aby 90% podróży do przedszkoli odbywało się na odległość mniejszą niż 5 km, a 99% na odległość mniejszą niż 10 km – funkcja

$B(x)$ (rys. 1). Parametr β jest więc równy 0,460517. Podobne wyniki uzyskano w badaniach przeprowadzonych w Toronto – 88% dzieci dowożono do przedszkoli na odległość mniejszą niż 5 km, 94% – na odległość mniejszą niż 10 km (England 1996).

Rysunek 1 przedstawia zależność między przyjętą funkcją oporu odległości (potęgowa lub wykładniczą) a odsetkiem podróży dokonywanych na daną odległość. W analizie oddziaływań między gminami autorzy wykorzystali odległość euklidesową. Przyjęcie funkcji $A(x)$, obliczonej dla odległości czasowych wzdłuż sieci dróg dla dojazdów do pracy, dałoby wyniki, w których wpływ odległości byłby zbyt mały i w niewielkim stopniu zbliżony do rzeczywistości. Podobnie w przypadku funkcji $C(x)$, dla której jeszcze przy odległości 50 km oddziaływanie Krakowa wynosiłoby 1%. Rozwiązaniem problemu oddziaływań na zbyt duże odległości jest określenie wartości granicznej dla badanego oddziaływania (Salze i in. 2011).



Rys. 1. Przykładowe funkcje oporu odległości: wykładnicza (A, B), potęgowa (C, D)
Źródło: opracowanie własne

Istotnym elementem w analizowanym modelu jest potencjał własny. Obliczono go, przyjmując za odległość promień koła o powierzchni równej 1/2 powierzchni badanej jednostki (Guzik 2003, *Narzędzie ewaluacyjno-badawcze...* 2012). T. Czyż (2002) w swoich badaniach przyjęła, że potencjał własny odpowiada masie badanej jednostki.

Uzyskane powierzchnie potencjału miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego (podażowa) i potencjału dzieci w wieku przedszkolnym (popytowa) zestawiono ze sobą. Porównanie to jest miarą dostępności przestrzennej i pozwala na określenie obszarów o niedoborze i nadwyżce dostępności (Guzik 2003). Można przy tym zastosować metodę ilorazu potencjału, uzyskując względne niedobory i nadwyżki lub różnice potencjałów, w wyniku której uzyskiwane są wartości bezwzględne. Warto zauważyć, że w omawianym przy-

padku badane zmienne mają tę samą miarę – jednemu dziecku powinno odpowiadać jedno miejsce w przedszkolu. W przypadku innych usług, np. potencjału liczby sklepów spożywczych i potencjału klientów, zależność taka nie ma miejsca. Wówczas badane wartości powinny zostać znormalizowane, przyjmując np. że suma potencjałów danej zmiennej wynosi 100% (Guzik 2003). Tak znormalizowane powierzchnie można dalej pomnożyć przez sumę zmiennych (np. liczbę miejsc w przedszkolach w Małopolsce). Wówczas uzyskane wartości różnicy lub ilorazu potencjału będą odnosić się do rzeczywistych wartości niedoborów lub nadwyżek.

Przykładami wykorzystania modelu potencjału, jego ilorazu lub różnicy są badania: przestrzennej dostępności liceów ogólnokształcących w Polsce i Małopolsce (Guzik 2003), zróżnicowania regionalnego Polski (Czyż 2002), dostępności usług dla mieszkańców Gniezna (Matykowski 1990), oceny efektywności inwestycji transportowych pod kątem zmian wskaźnika dostępności potencjałowej (*Narzędzie ewaluacyjno-badawcze...* 2012) oraz dostępności przestrzennej i ekonomicznej obiektów sportowych w Hamburgu (Ahlfeldt, Feddersen 2008).

4. Model lokalizacji przedszkoli

Z punktu widzenia badań dostępności przedszkoli, bardziej uzasadnione wydaje się wykorzystanie różnicy niż ilorazu potencjału. Bezwzględne niedobory miejsc w przedszkolach stanowią cenniejszą informację niż względne, pozwalają bowiem na oszacowanie faktycznej liczby brakujących miejsc i podjęcie decyzji o rentowności ewentualnej inwestycji. Innymi słowy, różnica potencjałów pokazuje, gdzie prawdopodobieństwo zapełnienia nowo utworzonych miejsc będzie większe. Iloraz potencjału informuje z kolei, gdzie należy tworzyć dodatkowe miejsca, aby każdy miał do nich równy dostęp. Sam model potencjału nie pozwala jednak rozstrzygnąć, czy obecnie istniejące „bieguny deficytów” miejsc w przedszkolach utrzymają się również w przyszłości, oraz w którym kierunku będą się rozwijać. Autorzy zdecydowali się połączyć metodę różnicy potencjałów z dynamicznym ujęciem rozwoju demograficznego gmin, aby skonstruować model optymalnej lokalizacji nowych miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego, który mógłby posłużyć zarówno inwestorom prywatnym, jak i władzom samorządowym.

Przeprowadzono następujące postępowanie badawcze:

1. Obliczono potencjały miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego w 2010 r. dla gmin w Małopolsce. Liczbę miejsc w każdej gminie sprowadzono do centroidu jednostki. Macierz odległości pomiędzy centroidami przemnożono przez funkcję oporu odległości. Pominięto oddziaływania tych samych jednostek. Skonstruowaną w ten sposób macierz ponownie przemnożono, tym razem

przez masy gmin. Następnie zsumowano wartości odpowiadające oddziaływaniom gminy x do pozostałych gmin oraz potencjały własne jednostek.

2. W analogiczny sposób obliczono potencjał dzieci w wieku 3–6 lat w 2010 r. oraz potencjały dzieci w wieku 3–6 i 3–5 lat w 2013 r. (postarzając odpowiednie roczniki).

3. Obliczono różnicę potencjałów w 2013 r., zakładając, że liczba miejsc w przedszkolach będzie wówczas równa tej z 2010 r. Wyniki dotyczące dostępności miejsc w przedszkolach zestawiono z sytuacją demograficzną małopolskich gmin w ujęciu dynamicznym. Skonstruowana przez autorów typologia pozwala na wyróżnienie jednostek, w których zapotrzebowanie na przedszkola w najbliższej przyszłości będzie potencjalnie najwyższe.

4. Na podstawie uśrednionych wartości przyrostu naturalnego i salda migracji w gminach w Małopolsce określono typ rozwoju demograficznego każdej z jednostek według metody J.W. Webba dla dwóch okresów: 2005–2007 i 2008–2010. Dynamiczne ujęcie typów rozwoju demograficznego pozwoliło uchwycić najistotniejsze zmiany w kierunkach i natężeniu przemian demograficznych.

5. Typy demograficzne prezentowane przez gminy w latach 2005–2007 oraz 2008–2010 porównano, co umożliwiło zaklasyfikowanie każdej jednostki do jednej z sześciu kategorii rozwoju demograficznego, wyróżnionych na podstawie „przejsć” między poszczególnymi typami demograficznymi J.W. Webba.

6. Porównano zmiany wartości przyrostu rzeczywistego pomiędzy dwoma badanymi okresami.

7. Przy użyciu narzędzia selekcji programu ArcGIS wybrano gminy, które charakteryzowały się największą dodatnią zmianą wartości przyrostu rzeczywistego (powyżej 5‰) w latach 2005–2010 oraz pozostały w progresywnym typie rozwoju demograficznego lub przeszły do typu progresywnego z regresywnego.

8. Wybrane gminy (15 jednostek) uznano za obszary „problemowe”, czyli takie, w których tempo i kierunki przemian ludnościowych sugerują dalszy dynamiczny rozwój demograficzny. Jednostki te uznano za najbardziej narażone na pogłębiające się niedobory miejsc w przedszkolach oraz stanowiące potencjalnie najlepszy rynek zbytu dla oferujących usługi z zakresu wychowania przedszkolnego. Uzyskane wyniki porównano z wartościami różnicy potencjałów.

Zaprezentowana metoda pozwala zidentyfikować nie tylko gminy „problemowe” pod kątem niedoborów miejsc w przedszkolach w danym roku, ale i sugeruje, które lokalizacje będą najbardziej optymalne i zyskowe, przy uwzględnieniu dalszego demograficznego rozwoju.

5. Wyniki

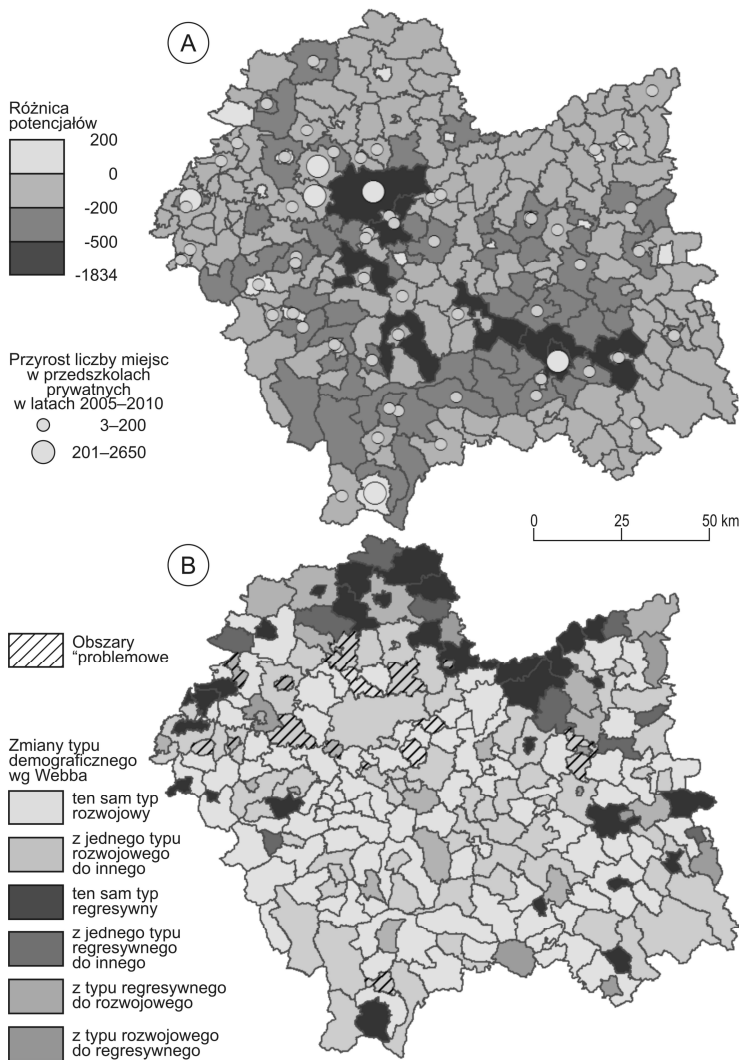
W 2010 r. w całym województwie małopolskim zabrakło ponad 36 tys. miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego. Liczba miejsc w przedszkolach wzrosła w porównaniu z 2005 r., kiedy to deficyt wynosił ponad 58 tys. Jednocześnie w latach 2005–2010 w województwie małopolskim liczba dzieci w wieku 3–6 lat zmalała, spadła zatem liczba dzieci przypadających na jedno miejsce w przedszkolu. W największym tempie wzrastała w omawianym okresie liczba miejsc w przedszkolach prywatnych. Placówki te powstawały przede wszystkim w większych miastach i gminach położonych w bezpośrednim sąsiedztwie Krakowa. Wiąże się to przede wszystkim z lepszą sytuacją ekonomiczną mieszkańców tych obszarów, a zatem i większym popytem na miejsca oferowane przez prywatne placówki.

W 2010 r. niemal we wszystkich gminach województwa małopolskiego występowały deficyty miejsc w przedszkolach (rys. 2A). Najwyraźniej zaznaczały się one w centralnej części województwa (w Krakowie i gminach położonych na południe od miasta) oraz w części południowo-wschodniej (okolice Nowego Sącza). W przypadku Krakowa wiązały się przede wszystkim z wysokim potencjałem dzieci w wieku przedszkolnym, w południowej części województwa istotną rolę odgrywał natomiast niedorozwój infrastruktury związanej z opieką przedszkolną. Wartości różnicy potencjałów w północnej części województwa wynikają z mniejszej gęstości zaludnienia znajdujących się tam gmin. O niskich wartościach różnicy potencjału w gminach zlokalizowanych wzdłuż granicy województwa zadecydowała z kolei odległość między nimi a pozostałymi jednostkami.

Autorzy przeanalizowali korelację między nowo powstałymi miejscami w przedszkolach w latach 2005–2010 (osobno w prywatnych i w publicznych) a wartościami różnicy potencjału. Dla przedszkoli publicznych wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona wyniosła $-0,59$, dla przedszkoli prywatnych: $-0,79$. Oznacza to, iż nowe lokalizacje przedszkoli prywatnych częściej są odpowiedzią na istniejący bezwzględny niedobór miejsc. Nowe miejsca w przedszkolach prywatnych w latach 2005–2010 powstawały przede wszystkim w miastach (Kraków, Nowy Sącz, Oświęcim), w których deficyt miejsc był rzeczywiście znaczny. Warto zauważyć, że lokalizacja przedszkola prywatnego w mieście węzłowym, o dobrej dostępności przestrzennej, ma tę zaletę, że takie przedszkole będzie obsługiwać większy obszar (np. w związku z dojazdami rodziców do pracy w tym ośrodku).

Aktualne zapotrzebowanie na miejsca w przedszkolach, które oceniono na podstawie różnicy potencjałów miejsc w placówkach i dzieci w wieku przedszkolnym, porównano z sytuacją demograficzną gmin w Małopolsce. Za czynniki decydujące o zmianach w liczebności dzieci w wieku 3–6 lat uznano tempo

zmian przyrostu naturalnego oraz salda migracji. Dla zdecydowanej większości małopolskich gmin wskaźniki te przyjęły w latach 2005–2007 oraz 2008–2010 takie wartości, które pozwoliły zakwalifikować je do jednego z czterech rozwijających się demograficznie typów (według metody J.W. Webba). Jednocześnie znacznie ponad połowa gmin pozostała w typie rozwojowym w całym badanym okresie (rys. 2B).



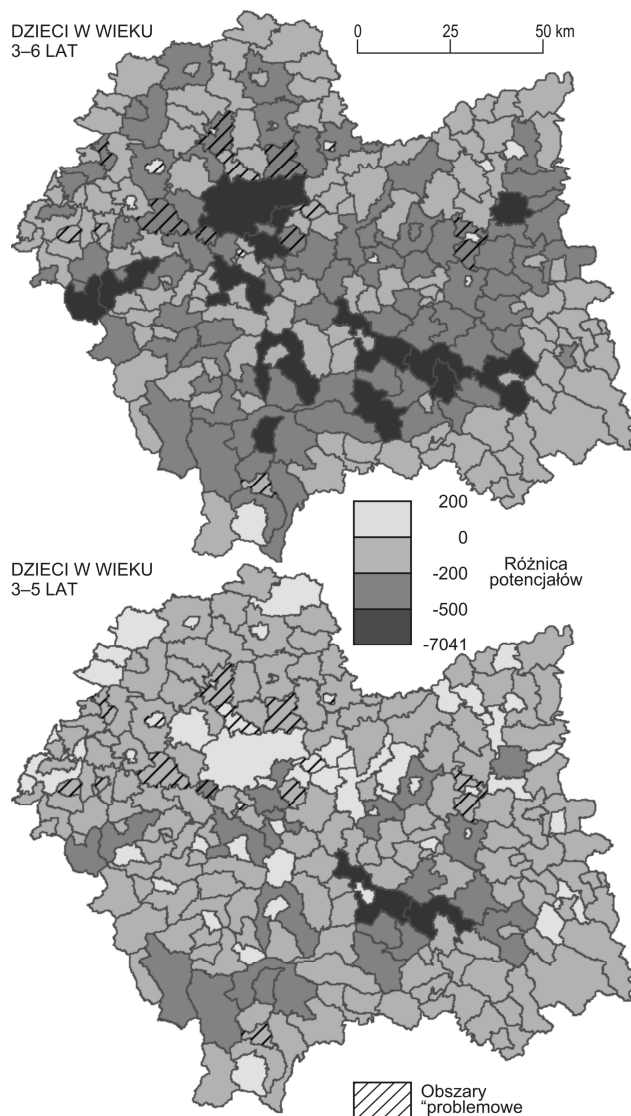
Rys. 2. A. Przestrzenna dostępność miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego dla dzieci w wieku 3–6 lat w 2010 r. i przyrost liczby miejsc w przedszkolach prywatnych w latach 2005–2010, B. Zmiana typu demograficznego według J.W. Webba w latach 2005–2007 i 2008–2010

Źródło: opracowanie własne

Szczególnie wysokie wskaźniki napływu migracyjnego oraz przyrostu naturalnego charakterystyczne są dla gmin podkrakowskich, co wiąże się z zachodzącymi tam procesami suburbanizacji (Zielonki, Niepołomice, Michałowice, Wieliczka). Długotrwały odpływ migracyjny, powoli zastępowany przez napływ ludności, występował w południowo-wschodniej części województwa. Obszar ten notuje najwyższe w Małopolsce współczynniki dzietności, wynikające z wpływu religii i tradycji na kształtowanie wzorca rodziny. Ubytek migracyjny charakterystyczny jest również dla gmin położonych wzdłuż północnej granicy województwa (gdzie niekorzystną sytuację demograficzną pogłębia utrzymujący się ubytek naturalny) (Łobodzińska 2011). Na zaobserwowane zmiany typu rozwoju demograficznego w latach 2005–2010 nałożono zmianę przyrostu rzeczywistego. Ostatecznie wybrano 15 gmin, które uznano za najbardziej optymalne dla lokalizacji nowych przedszkoli – zarówno ze strony inwestorów i gmin, jak i pod kątem zapotrzebowania na miejsca. Znalazły się wśród nich m.in. podkrakowskie gminy, do których napływa ludność młoda, w wieku rozrodczym, oraz niektóre miasta (Krzeszowice, Trzebinia, Zator), obsługujące również otaczający obszar.

Przekształcenie danych z 2010 r. – „postarzenie” odpowiednich roczników dzieci – umożliwiło przeprowadzenie symulacji zapotrzebowania na miejsca w przedszkolach w 2013 r. Mapy różnicy potencjałów wykonano dla dzieci w wieku 3–5 oraz 3–6 lat (rys. 3). Przyjęto liczbę miejsc w przedszkolach z 2010 r. W wyniku zastosowanej metody uzyskano przestrzenny rozkład wartości zbliżony do tego dla 2010 r. Należy zaznaczyć, że do oszacowania zapotrzebowania na miejsca w przedszkolach w 2013 r. posłużono się dosyć prostą metodą. W bardziej szczegółowych analizach należałoby odwołać się do trendów demograficznych w poszczególnych gminach, z uwzględnieniem wyróżnionych przez autorów obszarów problemowych i ich weryfikacji oraz uaktualnienia w przeszłości.

Obszarami największych niedoborów miejsc pozostałyby Kraków i gminy położone na południe od miasta oraz południowo-wschodnia część Małopolski. Przeniesienie wszystkich dzieci sześciolletnich z przedszkoli do szkół skutkowałoby natomiast nadwyżkami miejsc w wielu gminach, głównie miejskich. Biorąc pod uwagę charakter tych gmin (i ich relacje z obszarem otaczającym) oraz brak obowiązku szkolnego dla dzieci sześciolletnich w 2013 r., należy się spodziewać, że nadwyżki te będą mniejsze i zostaną prawdopodobnie zapełnione przez dzieci pochodzące z gmin położonych w sąsiedztwie tych „uprzywilejowanych” jednostek. Wybrane w poprzednim etapie badania obszary „problemowe” w 2013 r. w większości nadal będą notowały deficyty miejsc w przedszkolach (jeśli nie powstaną tam nowe placówki). Wyjątek stanowią Krzeszowice, które w odniesieniu do grup dzieci 3–6 lat i 3–5 lat będą dysponowały nadwyżką miejsc w przedszkolach, oraz Niepołomice i Zielonki, w których nadwyżka miejsc pojawiłaby się w momencie przesunięcia dzieci sześciolletnich do szkół.



Rys. 3. Symulacja przestrzennej dostępności miejsc w placówkach wychowania przedszkolnego w 2013 r. dla dzieci w wieku 3-6 lat i 3-5 lat
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Wysoki wskaźnik salda migracji dla dwóch ostatnich gmin pozwala spodziewać się, że popyt na miejsca w przedszkolach będzie jeszcze większy, niż oszacowany przez autorów na podstawie liczebności poszczególnych roczników w 2010 r. Nowo utworzone miejsca w Krzeszowicach stałyby się natomiast prawdopodobnie zapleczem dla obszaru wiejskiego wokół miasta.

6. Dyskusja

Zastosowana przez autorów metoda różnicy potencjałów to miara systemowa – uwzględnia oddziaływania między jednostkami, znaczenie masy jednostek, odległości między nimi oraz położenie w badanym systemie. Dzięki uwzględnieniu przemieszczeń ludności pozwala ona na redukcję skrajnych różnic w regionie. Metoda pozwala również na interpolację, która może ułatwiać interpretację wyników (Czyż 2002, Guzik 2003, Salze i in. 2011). Kolejną zaletą zastosowanej metody jest informacja o bezwzględnych niedoborach w zakresie dostępności określonych usług, co z kolei ułatwia ocenę rentowności ewentualnych inwestycji. Ponadto daje ona możliwość przeprowadzenia symulacji, planowania i projektowania nowych lokalizacji oraz oceny wpływu inwestycji przy uwzględnieniu otoczenia (Guzik 2003, *Narzędzie ewaluacyjno-badawcze...* 2012).

Niedoskonałością metody jest natomiast trudność w przeniesieniu wartości różnicy potencjału na rzeczywiste deficyty i nadwyżki. Problemu nie rozwiązuje nawet normalizacja wartości potencjałów. Ponadto wartość potencjału jest wrażliwa na funkcję oporu odległości. Prawidłowe oszacowanie kształtu wspomnianej funkcji powinno być dopasowane do charakteru badanych oddziaływań (Rich 1980). Ponadto w konstrukcji modelu zamiast odległości euklidesowej można zastosować odległość liczoną wzdłuż sieci, czasową lub ekonomiczną (Salze i in. 2011). W badaniach regionalnych do obliczenia odległości czasowych między gminami można wykorzystać model prędkości ruchu opracowany przez zespół PAN (*Narzędzie ewaluacyjno-badawcze...* 2012).

Wadą zaproponowanego modelu może być również faworyzacja punktów centralnych oraz niedoszacowanie wartości dotyczących jednostek położonych na skraju badanego systemu (Czyż 2002). W tym wypadku rozwiązaniem może być uwzględnienie oddziaływań z otoczeniem, np. z sąsiednimi województwami. Obszar, jaki należy uwzględnić, zależy głównie od kształtu funkcji oporu odległości. Wartości potencjału oblicza się wówczas wciąż tylko dla badanego systemu, mając jednak na uwadze wpływ granicy na siłę oddziaływań.

Wyniki uzyskane dzięki metodzie są również wrażliwe na wielkość jednostek przestrzennych – z jednej strony może ona determinować ich masę, z drugiej – badana jest odległość między centroidami. Niedostatkiem metody jest również odnoszenie niedoborów miejsc w przedszkolach do miejsca zamieszkania dzieci, podczas gdy część popytu na miejsca w przedszkolach może być zaspokajana w pobliżu miejsca pracy rodzica. P. Salze i inni (2011) zaproponowali analizę kumulatywnej dostępności w miejscu zamieszkania i miejscu pracy przy uwzględnieniu budżetów czasu danej osoby. Metoda zakłada jednakowy schemat oddziaływań dla każdej jednostki. Nie uwzględnia podejścia behawioralnego, przez co otrzymane wyniki mogą być jedynie komplementarne w stosunku do analiz przypadków (Rich 1980).

W konstrukcji metody autorzy posłużyli się pewnym uproszczeniem. Masa całej gminy (liczba ludności i miejsc w przedszkolach) sprowadzona została do centroidu. Implikuje to stopień szczegółowości, w jakim należy analizować uzyskane wyniki. Trzeba pamiętać, że w większych gminach zarówno struktury osadnicze, jak i placówki wychowania przedszkolnego mogą być rozproszone. Z kolei w mniejszych gminach wiejskich przedszkola znajdują się zwykle w centrum gminy. Autorzy wskazują zatem pewne obszary problemowe, jednak konkretne przyszłe rozwiązania i ewentualne inwestycje, oparte na zaprezentowanej metodzie, muszą zostać dodatkowo skonfrontowane z sytuacją lokalną oraz bardziej uszczegółowioną analizą.

Niewątpliwą zaletą przedstawionego modelu lokalizacji miejsc w przedszkolach jest połączenie informacji, jakie można uzyskać z różnicy potencjałów oraz wskaźników demograficznych. Pozwoliło to na dynamiczne ujęcie sytuacji rynkowej oraz, przy uwzględnieniu lokalnych oddziaływań, przewidzenie niedoborów i wskazanie potencjalnych najbardziej rentownych lokalizacji dla przedsiębiorców. Wadą modelu jest wspomniany już brak podejścia behawioralnego – wyniki powinny zostać uzupełnione o badania terenowe, np. wywiady z rodzicami na temat zapotrzebowania na opiekę przedszkolną. Wyniki należałoby konfrontować z lokalnymi uwarunkowaniami – hierarchią osadniczą, rozwojem sieci drogowej czy innymi barierami dostępności, np. barierą ekonomiczną.

7. Podsumowanie

Skonstruowany przez autorów model lokalizacji bazuje na metodzie potencjałów w odniesieniu do dostępności miejsc w przedszkolach oraz na obserwowanych przemianach demograficznych. Ze względu na ilość obliczeń, konieczność rozważenia relacji przestrzennych, dokonywania wieloattributowej selekcji z obszernego zbioru danych oraz stworzenia materiałów kartograficznych, autorzy posłużyli się narzędziami GIS, które znacznie ułatwiły i przyspieszyły stworzenie modelu.

Zaprezentowany model uwzględnia nie tylko istniejące w danym roku deficyty miejsc, ale i zapotrzebowanie na nie w najbliższej przyszłości. Wprowadzenie zmiennych demograficznych oraz określenie kierunków przemian ludnościowych pozwala ocenić rentowność nowych inwestycji oraz wyznaczyć lokalizację optymalną. Model mógłby zatem znaleźć zastosowanie w projektowaniu lokalizacji nowych prywatnych placówek oraz w działaniach samorządów – w zakresie tworzenia placówek publicznych lub przyciągania inwestorów.

Literatura

- Ahlfeldt G.M., Feddersen A., 2008, *Geography of a sports metropolis, Ideas: economics and finance research*: <http://ideas.repec.org/> (dostęp: 13.07.2012 r.).
- Czyż T., 2002, *Zastosowanie modelu potencjału w analizie zróżnicowania regionalnego Polski*, „Studia Regionalne i Lokalne”, 2–3, s. 5–14.
- England K. (red.), 1996, *Who will mind the baby?: Geographies of child care and working mothers*, Routledge, London.
- Guzik R., 2003, *Interpretacja przestrzennej dostępności szkół ponadpodstawowych w oparciu o metodę ilorazu potencjału*, [w:] H. Rogacki (red.), *Problemy interpretacji wyników metod badawczych stosowanych w geografii społeczno-ekonomicznej i gospodarce przestrzennej*, Wydawnictwo Naukowe Bogucki, Poznań, s. 101–110.
- Łobodzińska A., 2011, *Dostępność żłobków i przedszkoli w kontekście przemian demograficznych w województwie małopolskim*, [w:] Sitek S. (red.), „*Stare i nowe problemy badawcze*” w *geografii społeczno-ekonomicznej*, t. 2, Wydawnictwo PTG i UŚ w Katowicach, Sosnowiec, s. 77–88.
- Matykowski R., 1990, *Struktura przestrzenna Gniezna i przemieszczenia jego mieszkańców*, PWN, Warszawa–Poznań.
- Narzędzie ewaluacyjno-badawcze dostępności transportowej gmin w podukładach wojewódzkich*, 2012, IGiPZ PAN: <http://www.mrr.gov.pl/> (dostęp: 13.07.2012 r.).
- Rich D.C., 1980, *Potential models in human geography. Concepts and techniques in modern geography*, „Geo Abstracts”, 26: <http://qmrg.org.uk/> (dostęp: 13.07.2012 r.).
- Salze P., Banos A., Oppert J.-M., Charreire H., Casey R., Simon Ch., Chaix B., Badariotti D., Weber Ch., 2011, *Estimating spatial accessibility to facilities on the regional scale: an extended commuting-based interaction potential model*, „International Journal of Health Geographics”, 10: <http://www.ij-healthgeographics.com/> (dostęp: 13.07.2012 r.).

Strony internetowe

www.stat.gov.pl Bank Danych Lokalnych GUS:

MODELLING LOCATION OF NEW PLACES IN KINDERGARTENS IN MAŁOPOLSKA REGION BASED ON SPATIAL ACCESSIBILITY

In 2010 only about 50% of children aged 3–6 years in Małopolska region attended kindergartens. Such low index is to some extent an effect of the supply-demand mismatch. The problem becomes even more vital in the context of recent changes in education law. The introduction of obligatory attendance to kindergartens for 5-years-old and postponement of obligatory attendance to schools for 6-years-old children will probably contribute to increase in demand for places in kindergartens. The paper presents a model of location of new places in kindergartens in Małopolska. The authors based the model on potential model. The spatial accessibility to places in kindergartens was analysed in the context of demographic changes in the region. Analysis of

demographic indicators in municipalities enabled authors to identify 15 most optimal locations for kindergartens in terms of population changes. Comparison of these data creates basis for estimating future demand for places in such institutions.

Keywords: *service location, kindergarten, potential model, model of location, spatial accessibility, Malopolska*

Mgr Łukasz Kowalski
Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej,
Zakład Geografii Ludności, Osadnictwa i Rolnictwa
e-mail: lukasz.kowalski@uj.edu.pl

Mgr Anna Łobodzińska
Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej,
Zakład Geografii Ludności, Osadnictwa i Rolnictwa
e-mail: anna.lobodzinska@uj.edu.pl

Jadwiga Brzuchowska

ROZSZERZENIE MOŻLIWOŚCI ANALIZ ROZKŁADU PRZESTRZENNEGO KONTAKTÓW Z WYKORZYSTANIEM GIS

Artykuł prezentuje opartą na GIS technikę analizy gęstości przemieszczeń i oddziaływań przestrzennych rozwijającą koncepcję planów selekcyjno-wiązkowych, metodę wizualizacji przestrzennego rozkładu potrzeb transportowych. Koncepcja rozwoju planów selekcyjno-wiązkowych opiera się na łączeniu operacji na wektorach, tabelach i rastrach w środowisku ESRI ArcGIS. Nowa wersja operacyjna metody jest łatwiejsza i bardziej efektywna, pozwala na znaczne wzbogacenie zakresu przetwarzanych i obrazowanych zjawisk oraz uwzględnienie zjawisk powiązanych.

Słowa kluczowe: *rozkład przestrzenny połączeń, obrazowanie dojazdów, analiza więźby, plany selekcyjno-wiązkowe, gęstość podróży, GIS*

1. Wstęp

Badanie i planowanie rozwoju struktur zagospodarowania przestrzennego w kontekście wzajemnych oddziaływań ich elementów było i jest w centrum zainteresowań teorii i praktyki planowania przestrzennego. Dla poszukiwań prawidłowości funkcjonowania tak złożonych systemów przełomem było wprowadzenie elektronicznej techniki obliczeniowej. W pierwszej kolejności skorzystała, najlepiej do tego przygotowana, dziedzina transportu. Na początku lat 60. XX w. zastosowano maszyny cyfrowe do modelowania wymiany ruchu na obszarach zurbanizowanych oraz prognozowania obciążania ruchem sieci komunikacyjnych. W ślad za tym można było poddać testowaniu inne hipotezy, co pozwoliło na rozwój modeli teoretycznych i narzędzi symulacji rozwoju struktur osadniczych.

Pół wieku później dysponujemy zaawansowanym oprogramowaniem dla wspomagania projektowania sieci transportowych i modelowania ruchu. Równolegle, powstanie i rozwój systemów geoinformacyjnych zaowocowały powszechną dostępnością narzędzi analitycznych (zarówno prostych, jak i wyrafinowanych) oraz coraz szerszych zasobów informacji i danych przestrzennych. Wydaje się jednak, że w zastosowaniu do tak złożonego i wieloaspektowego przedmiotu badań, ich potencjał mógłby być lepiej wykorzystywany. W szcze-

gólności mogłoby być przydatne, a jednocześnie relatywnie proste, upowszechnienie oparte na rutynowych narzędziach GIS schematu zakładającego:

- rozszerzenie zakresu tematycznego analizowanych zjawisk i uwzględnienie ich powiązań, w tym przestrzennych,
- ograniczenie poszczególnych analiz do wybranych kategorii elementów systemu (kategorii kontaktów, zagospodarowania, cech terenu) z równoczesnym rozszerzeniem informacji o elementach powiązanych,
- opracowanie technik wizualizacji zorientowanych na cele poznawcze.

Przykładem takiego schematu jest przedstawiona dalej propozycja analizy rozkładu przestrzennego przemieszczeń inspirowana techniką planów selekcyjno-wiązkowych, prostą i efektywną metodą wizualizacji przestrzennego obrazu potrzeb transportowych.

2. Plany selekcyjno wiązkowe w wersji źródłowej: idea, zastosowania, kierunki rozwoju

Plany selekcyjno-wiązkowe są metodą wizualizacji więźby ruchu. Więźba, inaczej wymiana ruchu na danym obszarze, określa przemieszczenia między każdą parą rejonów, wyrażone liczbą osób, pojazdów umownych, tonażem itp. Jest przedstawiana w formie macierzy, a jej graficzna postać (tzw. pajak ruchu) to zbiór odcinków łączących środki ciężkości rejonów, gdzie grubość odcinka jest wprost proporcjonalna do wielkości potoku ruchu. Podstawową wadą więźby jest jej nieczytelność, tym większa, im drobniejszy zastosowano podział na rejon, a najskuteczniejszym sposobem na udostępnienie więźby do analiz wizualnych jest zastosowanie planów selekcyjno-wiązkowych.

Graficzny obraz więźby w technice planów selekcyjno-wiązkowych otrzymuje się w następujący sposób. Badany obszar (podzielony na rejon, dla których zbudowano macierz wymiany ruchu) pokrywamy dowolną siatką kwadratową. Następnie kolejno dla każdej wiązki ruchu reprezentowanej przez odcinek łączący środki ciężkości dwóch rejonów, w każdym z kwadratów siatki, które ta wiązka przecina, odnotowujemy wielkość przechodzącego potoku ruchu. Jeżeli kwadrat przecięty jest przez kilka wiązek, to zapisuje się w nim ruch sumaryczny. W ten sposób dla każdego kwadratu określa się wielkość przechodzącego przezeń tranzytu. W celu zobrazowania wielkości przemieszczeń każdemu kwadratowi przyporządkowuje się znak graficzny o powierzchni wprost proporcjonalnej do zarejestrowanego tam obciążenia.

Oprócz prezentacji pełnej więźby do wizualizacji wybiera się połączenia według różnych kryteriów, w celu poprawy czytelności (np. rozwarstwienie podróży według sektorów kierunkowych) i/lub wspomagania konkretnych analiz (np. rozdzielenie podróży według długości, zgodnie z prawdopodobieństwem realizowania ich różnymi środkami). Plany selekcyjno-wiązkowe pozwalają

wygenerować obraz „sieci idealnej” (najkrótszych, bo prostoliniowych, połączeń źródeł i celów ruchu). Pozwalają też określić zapotrzebowanie na układ komunikacyjny, dostarczając przesłanek np. dla: klasyfikacji odcinków sieci, projektowania nowych połączeń, ustalania tras komunikacji zbiorowej, szacowania pojemności parkingów strategicznych.

Historia zastosowań planów selekcyjno-wiązkowych sięga połowy lat 50. XX w., kiedy wykorzystano je w studiach komunikacyjnych Detroit i Dallas (Carsten, Ross, Tipton 1957, Row 1957), przy czym w Detroit do prezentacji wyników zastosowano warstwy, a w Dallas – kwadraty. W tym samym czasie podobną metodę stosowano na Politechnice Wiedeńskiej (Inziger, Knodel 1962). W Polsce metoda ta została wprowadzona przez Tadeusza Zipsersa i była wielokrotnie stosowana w prognozach komunikacyjnych. Technika ta stała się jednym z elementów numerycznej metody analizy porównawczej obszarów zurbanizowanych pod kątem sprawności układów komunikacyjnych (Zipser i in. 1972). Ponadto technika była adaptowana do analizy różnego rodzaju powiązań przestrzennych.

Prace badawcze dotyczące rozwoju metody planów selekcyjno-wiązkowych obejmują propozycje obiektywizacji odczytu obrazów otrzymanych tą techniką oraz analizę wpływu geometrii układu odniesienia na obrazy wynikowe (Rawda Al Harithi 1993). Z kolei E. Litwińska (1996) badała możliwości wzmocnienia zawartej w planach informacji wizualnej, zwracając uwagę m.in. na możliwości zastosowania technik przetwarzania i rozpoznawania obrazów (segmentację, progowanie, wykrywanie krawędzi, rozszerzanie obrazu, ścienianie, filtrowanie). Warto zauważyć, że operacje te są dostępne m.in. w oprogramowaniu GIS (wersjach operujących na danych rastrowych) i że nie są to jedyne z wielu oczekiwanych funkcjonalności planów selekcyjno-wiązkowych, które mogą być realizowane z wykorzystaniem rutynowych narzędzi GIS. Metoda planów selekcyjno-wiązkowych jest łatwa do implementacji na platformie GIS. Ponadto korzyści prowadzenia analiz i wizualizacji więźby w tym środowisku mogą być znacznie szersze. Najbardziej jednak inspirująca jest obserwacja, że cała idea planów selekcyjno-wiązkowych jest w pełni zgodna ze specyfiką GIS i realizuje koncepcje analiz przestrzennych stanowiących istotę GIS.

3. Koncepcja rozwoju planów selekcyjno-wiązkowych w środowisku ESRI ArcGIS

Rozwój metody w środowisku ArcGIS pozwala na wykorzystanie:

- możliwości mierzenia i zliczania w strukturze rastrowej natężenia zjawisk ilościowych (takich jak wielkość potoków ruchu lub ilość przemieszczeń przecinających komórkę rastra) wraz z różnymi opcjami uśredniania,
- możliwości wizualizacji proporcji lub natężenia zjawisk,

- przetwarzania i wzmacniania obrazów,
- możliwości kartograficznych oprogramowania: operacji na histogramach, klasyfikacji, selekcji wartości z przedziałów, równoczesnego oglądu kilku kategorii zjawisk reprezentowanych przy pomocy składowych barwnych, reprezentacji zjawisk w postaci powierzchni trójwymiarowych,
- uwzględniania w analizie nie tylko cech badanych obiektów przestrzennych (czyli odcinków reprezentujących przemieszczenia), ale też charakterystyk obiektów możliwych do powiązania przez relacje, w tym relacje przestrzenne.

Większość z wymienionych operacji odwołuje się do rutynowych poleceń programu ArcGIS.

Proponowany schemat postępowania w środowisku oprogramowania ArcGIS obejmuje:

- zdefiniowanie geometrii odcinków (więźby) połączeń między rejonami jako klasy obiektów przestrzennych z zachowaniem identyfikatora połączenia (podróży), ewentualnie identyfikatorów źródła i celu podróży (lub, jako wariant powyższego, zdefiniowanie geometrii odcinków reprezentujących pojedyncze podróże z zachowaniem ich identyfikatorów),
- zdefiniowanie relacji między odcinkami połączeń a tabelą atrybutów połączeń; w przypadku zaś istnienia innych danych dotyczących obiektów możliwych do relacyjnego powiązania z odcinkami połączeń (także z ich źródłami lub celami bądź też z ich atrybutami), których związki chcemy zbadać – należy zdefiniować odpowiednie relacje, aby udostępnić te dane do łącznej analizy,
- zdefiniowanie warunków selekcji połączeń na podstawie cech przestrzennych lub na podstawie cech opisowych obiektów z tabeli połączeń lub relacyjnie powiązanych tabel,
- zbudowanie mapy gęstości linii (polecenie *LineDensity*) o pożądanых parametrach, tj. z określeniem rozdzielczości rastra, zasięgu zliczania, wariantu polecenia (gęstość jądra lub proste zliczanie), a także ze wskazaniem atrybutu, którego wartości będą sumowane i ustaleniem jednostek powierzchni,
- zdefiniowanie legendy warstwy tematycznej gęstości przemieszczeń, w tym zbadanie histogramu, określenie progowych wartości do wyświetlania, określenie zasad klasyfikacji, liczby klas, kolorystyki, a także zestawu innych warstw tematycznych do wspólnego wyświetlenia.

4. Przykłady zastosowań nowej wersji planów selekcyjno-wiązkowych

Dla przybliżenia i ilustracji opisanych możliwości przygotowano kilka map gęstości przemieszczeń opracowanych na podstawie czterech zbiorów danych o różnym charakterze. W trzech wykorzystano materiały uzyskane z Urzędu Miejskiego Wrocławia, zgromadzone tam dla wspomagania prowadzonych ana-

liz transportowych. Są to: macierze wymiany ruchu dotyczące podstawowych kategorii kontaktów modelowanych dla obszaru Wrocławia z otoczeniem oraz wyniki ankietowania gospodarstw domowych dotyczącego zachowań transportowych mieszkańców miasta. Trzeci zbiór to więźba dojazdów dzieci do szkół wrocławskich – wynik przetworzenia danych z systemu elektronicznej rekrutacji. Czwarty zbiór również jest wynikiem ankietowania i powstał na Politechnice Wrocławskiej w ramach pracy dyplomowej dotyczącej zachowań komunikacyjnych studentów (Leski 2007). Uzupełniają je inne dane: modele sieci transportowych, geometria linii komunikacji zbiorowej, rozmieszczenie mas ruchotwórczych.

Na podstawie danych o przemieszczeniach wygenerowano zbiory linii (odcinków) podróży, z którymi powiązane są dodatkowe tabele danych opisowych. W przypadku podróży osób ankietowanych każde połączenie to jeden przejazd, natomiast w macierzy wymiany ruchu między rejonami komunikacyjnymi każde połączenie ma określoną wielkość potoku ruchu.

Dostępne atrybuty elementów macierzy wymiany ruchu między rejonami to kategoria kontaktu i parametry modelowania, a także obliczone na podstawie geometrii połączeń międzyrejonowych: sektory kierunkowe, podróże z określonych przedziałów długości, podróże wychodzące z lub skierowane do wybranych grup rejonów.

Znacznie bogatsze są informacje wynikające z indywidualnych charakterystyk poszczególnych podróży, ich źródeł i celów. Baza rekrutacji do szkół pozwala nie tylko na klasyfikację szkół według poziomu i rodzaju, ale też na uwzględnienie ich cech indywidualnych (specjalizacji, rangi). Najbogatsza jest zawartość informacyjna wyników przetworzenia badań ankietowych.

W przypadku ankietowania gospodarstw domowych:

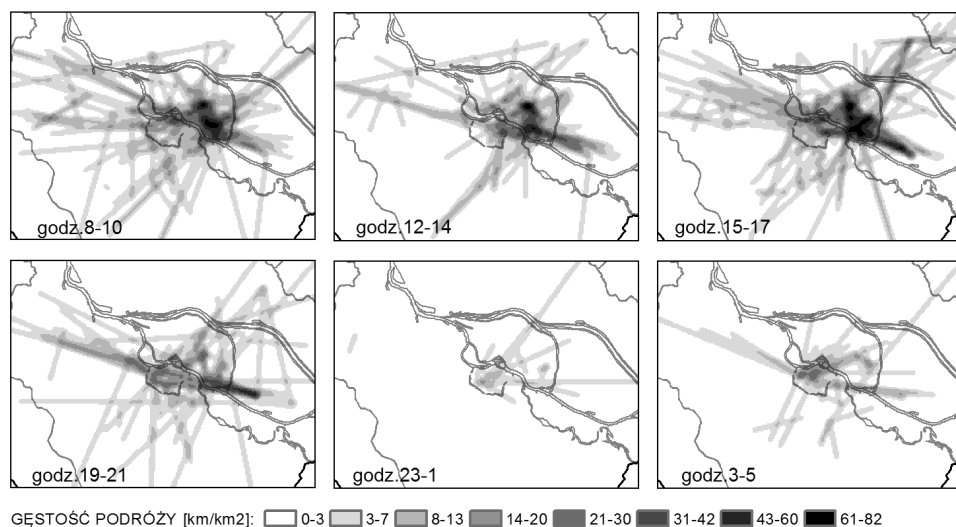
- podróż ma określoną: godzinę, dzień tygodnia, kategorię źródła, kategorię celu, kategorię kontaktu, środek transportu, szacowaną długość i czas, cechy respondenta (wiek, liczebność gospodarstwa domowego, liczba samochodów, wykształcenie, zawód, preferencje komunikacyjne),

- dalsze cechy możliwe do określenia dla ankietowanego to np. cechy jego miejsca zamieszkania (sąsiedztwa) i strefy lokalizacji (odległość od centrum, odległość od przystanku tramwajowego).

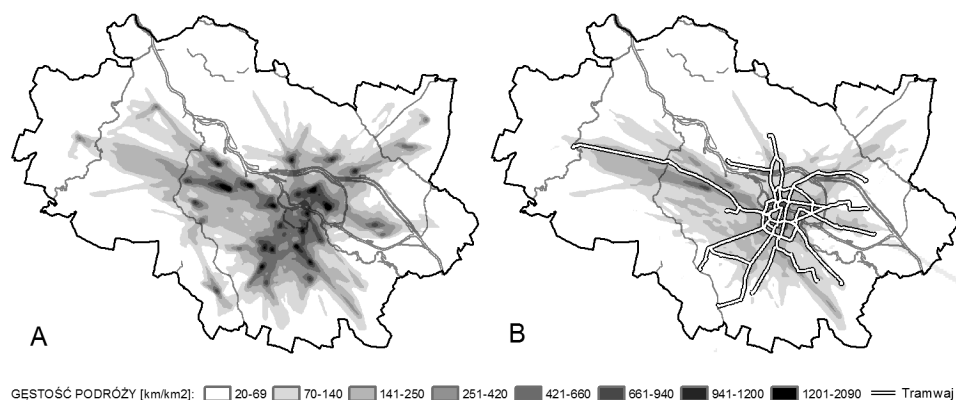
Mapy gęstości podróży – odpowiadające dawnym planom selekcyjno-wiązkowym – budowane są na podstawie wybranych kategorii podróży. Selekcja linii podróży odnosi się bądź to do atrybutów klas obiektów dostępnych do bezpośredniego badania, bądź też do cech obiektów możliwych do powiązania przez relacje. W pierwszym przypadku kryteria selekcji mogą dotyczyć: atrybutów podróży, własnych przestrzennych charakterystyk odcinków przemieszczeń, atrybutów źródeł lub celów przemieszczeń. W drugim przypadku selekcja może być określona np. na podstawie cech osoby przemieszczającej się (określonych w tabelach danych opisowych powiązanych przez relacje z tabelą prze-

mieszczeń) lub na podstawie relacji przestrzennych odcinków przemieszczeń (czy też lokalizacji ich źródeł lub celów) do innych obiektów przestrzennych.

Przedstawiono przykłady obu sytuacji. Rysunek 1 ilustruje podróże ankietowanych studentów Wrocławia, gdzie kryterium selekcji była godzina rozpoczęcia podróży. Na rysunku 2 zestawiono rozkłady gęstości dojazdów do gimnazjów wszystkich ich uczniów mieszkających we Wrocławiu oraz tych uczniów, których miejsca zamieszkania są oddalone od szkoły o więcej niż 4 km.

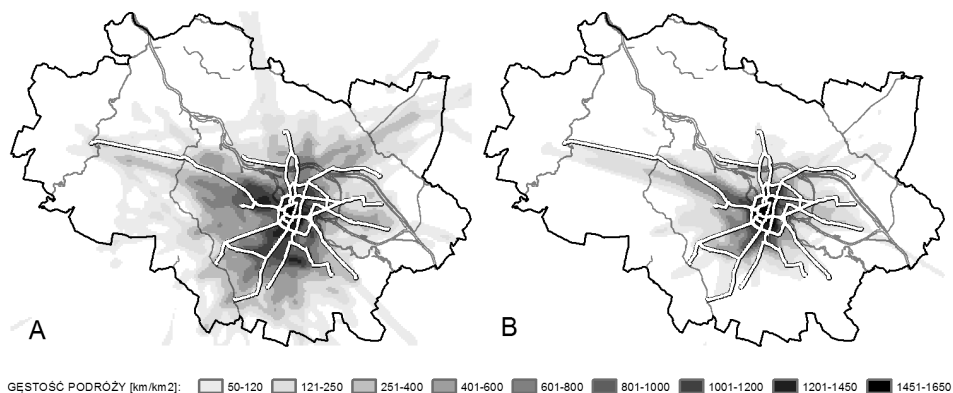


Rys. 1. Mapa gęstości podróży studentów – selekcja według pory dnia
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ankiety przeprowadzonej wśród studentów przez M. Leskiego (2007)



Rys. 2. Mapa gęstości wężyby dojazdów do gimnazjów uczniów mieszkających we Wrocławiu: (A) wszystkie dojazdy, (B) dojazdy dłuższe niż 4 km
 Źródło: opracowanie własne

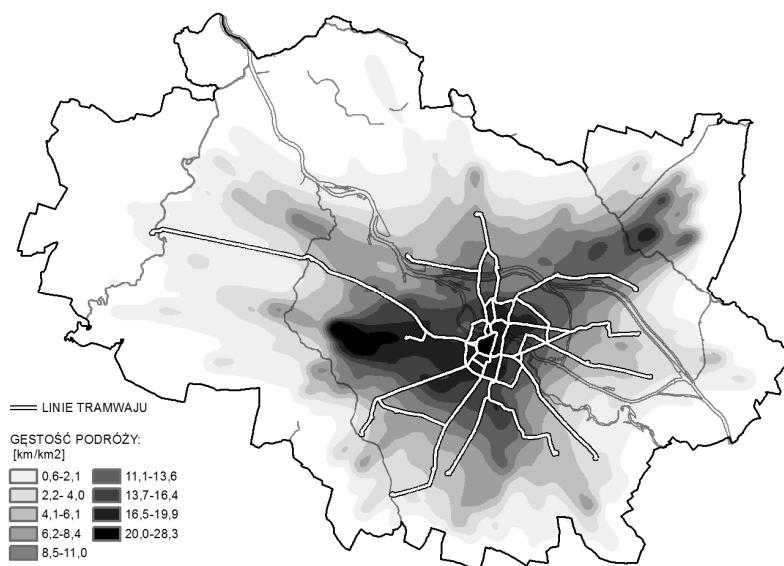
Z kolei rysunek 3 przedstawia rozkład przestrzenny podróży podejmowanych przez mieszkańców Wrocławia, opisanych w wyniku ankietowania gospodarstw domowych, rozwarstwionych ze względu na środek komunikacji.



Rys. 3. Mapa gęstości podróży mieszkańców Wrocławia – wyniki ankiet gospodarstw domowych. Kryterium selekcji podróży – środek komunikacji:

(A) samochód, (B) tramwaj

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ankiety gospodarstw domowych przeprowadzonej w czerwcu 2006 r. na zamówienie UM Wrocławia na potrzeby projektu Tramwaj Plus



Rys. 4. Mapa gęstości modelowanych podróży – więźba ruchu dom–usługi. Kryterium selekcji podróży: czas dojazdu od środka ciężkości regionu rozpoczęcia podróży do najbliższego przystanku tramwaju > 15 minut

Źródło: opracowanie własne

Ostatni rysunek przedstawia modelowaną więźbę ruchu dom–usługi, gdzie selekcję podróży oparto na relacji przestrzennej: włączono tylko podróże startujące z rejonów, których środek ciężkości znajdował się dalej niż 15 minut dojeżdża od najbliższego przystanku tramwajowego (czas określono, budując mapę dystansu od przystanków). Analiza ta była inspirowana przygotowaniem do wrocławskiego projektu Tramwaj Plus.

5. Potencjalne korzyści

Przedstawiona technika była, jak dotąd, stosowana głównie w ramach analiz zjawisk transportowych i wspomaganiu modelowań alokacyjnych. Niektóre jej zalety, takie jak bogactwo wizualizacji czy łatwość zastosowania, są oczywiste. Natomiast największe szanse na pozyskanie za pośrednictwem proponowanych technik jakościowo nowych informacji i pola do wnioskowania wiążą się ze wzbogaceniem zakresu, rodzaju i źródeł analizowanych łącznie danych. Idzie za tym postulat włączania w obszar badania planistów różnych danych i informacji, co w dobie intensywnego rozwoju infrastruktury informacji przestrzennej daje duże możliwości, jednak nakłada też wymagania, co do właściwego współuczestnictwa w procesie tworzenia i udostępniania danych przestrzennych

W zakresie badania zjawisk transportowych wiele może wnieść włączenie do bazy przetwarzanych informacji wektorowego modelu sieci transportowych i wyników opartego na nim modelowania ruchu. Ważne jest pozyskiwanie informacji o rozmieszczeniu mas ruchotwórczych, a także odniesionych przestrzennie charakterystyk źródeł i celów ruchu. Powstające bazy, dotyczące profili społeczno-ekonomicznych ludności, powinny służyć m.in. badaniu związków między charakterystykami miejsc a cechami podróży generowanych w tym miejscu. Otrzymywane oceny terenu dotyczące gęstości podróży mogą być badane pod kątem zgodności z innymi wskaźnikami atrakcyjności lokalizacyjnej terenu oraz z poziomem i dynamiką zmian zagospodarowania przestrzennego, co wymaga monitoringu wycen nieruchomości, procesów inwestycyjnych, procesów migracji.

Wszystkie te dane powinno dać się pozyskiwać z miejskich systemów informacji przestrzennej, co warto uwzględnić, planując kierunki rozwoju tych systemów w zakresie zawartości informacyjnej, struktur danych, standardów wymiany danych, wymagań jakościowych. Duże nadzieje można wiązać z implementacją Dyrektywy INSPIRE i wynikającymi z niej wymogami tworzenia i udostępniania zbiorów danych referencyjnych, a w szczególności baz adresowych, mających kluczowe znaczenie dla włączania w obszar badań informacji możliwych do odniesienia przestrzennego przez adres.

Wskazanie na znaczenie współtworzenia i współużytkowania baz danych dla zwiększenia zakresu zastosowań proponowanej metody nie powinno przesłonić

głównej idei artykułu, a jest nią promowanie szerszego, niż to ma miejsce, wykorzystywania w analizach tych danych, które są dostępne dzięki łącznej analizie obiektów, ich powiązań, cech tych obiektów i powiązań oraz koincydencji przestrzennej innych zjawisk.

Literatura

- Carsten W.M., Ross N., Tipton J.W., 1957, *Directional contour maps of travel desire*, Highway Research Board, Bulletin 153, Washington, s. 15–27.
- Inziger R., Knodel W., 1962, *Verkehrsplanung und Mathematik*, Mathematik, Technik und Wirtschaft, Wien.
- Leski M., 2007, *Analiza rozmieszczenia i przemieszczeń studentów we Wrocławiu*, praca dyplomowa na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Litwińska E., 1996, *Obiektywizacja odczytu wyników w technice planów selekcyjno-wiązkowych*, [w:] Bagiński E. (red.), *Zarys metod i technik badawczych w planowaniu przestrzennym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 23–36.
- Rawda Al Harithi, 1993, *Plany selekcyjno-wiązkowe więzby ruchu w układzie osadniczym. Obiektywizacja interpretacji i możliwy dalszy rozwój*, praca doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- Row A.T., 1957, *Directional analysis of vehicle travel desire*, Highway Research Board, Bulletin 153, Washington, s. 1–14.
- Zipser T. i in., 1972, *Metody numeryczne całościowej analizy porównawczej obszarów zurbanizowanych pod kątem sprawności układów komunikacyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.

EXTENSION OF ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF CONTACT WITH THE USE OF GIS

This paper aims to develop new visualization methods of spatial distribution analyses of transportation needs using GIS tools. It improves trip-directional plans method that is based on movement intensity analysis and mutual spatial impact of transportation agencies. This method uses vectors, raster data and attributes in order to improve spatial distribution analyses of transportation needs and make thematic maps more legible. Use of different data types also enhance processing and visualization capabilities as it allow to take into account all spatial relationships between data.

Keywords: *spatial distribution of connections, commuting imaging, O-D matrix analysis, trip-directional plans, trips density, GIS*

Dr inż. arch. Jadwiga Brzuchowska
Politechnika Wrocławska, Wydział Architektury, Katedra Planowania Przestrzennego
e-mail: jadwiga.brzuchowska@pwr.wroc.pl

Ewa Głosińska, Łukasz Lechowski

AN ESTIMATION OF POTENTIAL FLOOD LOSSES IN THE CONTEXT OF FLOODPLAIN DEVELOPMENT CHANGES USING GIS*

This paper aims to define the amount of changes in potential flood losses on the basis of spatial distribution patterns of floodplain development using GIS tools. A procedure for potential flood loss estimation has been developed in which GIS tools have been applied. A procedure for calculating flood losses applied in Polish legislation has been used. According to this survey, in Gryfino, which is situated on the Odra river in years 1996–2007 potential hazard of flood loss grew as a result of grow of floodplain areas development.

Keywords: *floodplain development, flood losses, flood risk, Gryfino, GIS*

1. Introduction

In Poland there are very few publications that concern the estimation of potential flood losses as an research issue. Due to the mandatory implementation of Floods Directive, the problem of flood hazard and flood risk is noticed more and more often.

Floods are regarded to be the most commonly occurring natural disasters in the world (Barredo 2007, Berz et al. 2001 cited in Ristic et al. 2012). They may be caused not only by natural phenomena (such as climatic, morphologic, hydrographic ones) but also agents of anthropogenic nature (e.g. irrational forestry and agriculture management, uncontrolled urbanization, lack of control over the erosion processes and over flood protection activities) (Ristic et al. 2012). The increase in frequency of natural and anthropogenic extreme phenomena focuses the attention of researchers on their ecological and economic consequences (see Guzzetti et al. 2005 cited in Ristic et al. 2012, Schmidt et al. 2006, Lerner 2007).

Having the floodplain areas developed more and more intensively, catastrophic floods have become much more frequent. As a result, higher tangible (loss

* The work was funded by Polish National Science Center under the project DEC-2011/03/N/HS4/00436.

of property) and intangible losses (loss of life) have been noted in recent years (see Walczykiewicz 2002).

The increase in flood damages of latest decades is generally caused by human activities in floodplains, which make both people and their properties more prone to flood (Luino et al. 2012). Development of lands vulnerable to flooding may also result in the increase of flood protection costs, especially when this applies to urban areas at risk (Waananen et al. 1977 cited in Luino et al. 2012). According to international observations and insurance companies analysis both increase in of people affected by flooding and economic loss increase indicate significant changes in flood risk (Schanze 2012).

The general higher trend of flood losses results from improper floodplain management. As an example, further continuous and intensive development of human activity in the Rhine River basin is expected, which may lead to higher flood losses (Zebisch et al. 2005 cited in Becker et al. 2013, Thielen 2009). Similarly, such negative urban development processes concerning floodplains may be identified in other European countries. Italian surveys carried out by F. Luino et al. (2012) revealed buildings and infrastructure to be more and more frequently located in the riverside areas. Consequently, as flood water is raised the natural course of flood waters is disturbed causing flood water to pile up dangerously (Luino et al. 2012).

One of the key terms of this paper is „land development”. It should be precisely defined as „intentional adaptation of area, (caused by human activities) in order to meet its specific function. In a broad sense of this word it should be understood as particular investment conditions of an area characterized by certain degree of adaptation to human needs (Słowska, Sobieska 1988). This expression refers only to the functional land characteristics and is identified with the description of its surface from the social and economic point of view. In this research „land development” is strongly linked to the term of „land use”, which can be defined as the purpose for land exploitation (Kostrowicki 1959). „Land cover” expression, in turn, means biophysical surface characteristics of the site (Ciołkosz, Poławski 2006), surface features, which can be recognized on the basis of its physiognomic characteristics (*Wytyczne techniczne...* 2008). Land development (land use) is therefore the concatenation of „land cover” with land use (Jakkola, Mikkola 1999).

The way floodplains are developed significantly affects the amount of flood losses. The estimation of potential flood losses is part of flood risk assessment. In order to integrate different spatial and statistical data that are crucial for estimation of potential flood losses (e.g. land development, economic statistics such as value of assets at risk, spatial extent of areas exposed to flooding) GIS tools are commonly used. This paper aims to determine the amount of change in potential flood losses in Gryfino in years 1996–2007 on the basis of spatial distribution patterns of floodplain development using GIS tools.

2. Estimation of potential flood losses in the context of flood risk assessment

Potential flood losses are frequently identified with the concept of flood risk, while they are just one of the aspects of flood risk assessment, which highlights the economic consequences of flood. In order to specify its risk level E. Koomen et al. (2011) calculated potential flood losses and while analyzing spatial distribution of different land use patterns they determined, how many people were exposed to flood in the floodplain they surveyed. T.E. Downing et al. (2001), in turn, identify flood risk as expected losses, which result from a particular hazard.

The concept of flood risk consists of three components: hazard, exposure and vulnerability (Crichton 1999). Flood hazard is defined as potential flood extent, which has taken place or has been delineated using mathematical statistics principles in order to present specified probability of specific water stages (Kitowski 2010). Flood exposure determines the nature and degree to which particular elements of the environment, such as geographical location are exposed to flood. Such location may either diminish or increase degree of flood exposure (Parry et al. 2007, DEFRA, EA, 2006). Flood vulnerability, in turn, concerns the characteristics of features and objects prone to flooding and allow in determining their potential to generate damages (Sarewitz et al. 2003). In this paper an analysis of economic vulnerability is carried out, which refers to the financial losses caused by damages of assets, basic materials and goods. Apart from the economic aspect of vulnerability, also social and ecologic ones can be found in literature on the subject (Messner, Meyer 2005).

Over the years many methods of flood risk assessment have been developed. What is more it seems that the modeling of potential flood damages and losses is still gaining in importance. Nowadays, in order to estimate tangible and intangible losses many spatially and temporally distributed data of population are taken into account (Kang et al. 2005 cited in Aubrecht et al. 2009). Moreover, information about land development (De Roo et al. 2006 cited in Aubrecht et al. 2009), historical events (Pielke et al. 2002 cited in Aubrecht et al. 2009) and depth inundation (Aubrecht et al. 2009) are also commonly used.

According to C. Aubrecht et al. (2009) the evaluation of flood effects focuses mainly on direct economic losses using damage function. This function depends on amount of losses, depth inundation and types of building use. Both these factors are commonly used to differentiate flood damages and they are generally taken into consideration as flood losses are assessed (Merz et al. 2004 cited in Aubrecht et al. 2009).

The principles of this method were applied in research work of C. Aubrecht et al. (2009) in which their classification of buildings, in terms of their use was

combined with simulations of flood inundation using Geographic Information System (GIS) applications. These building classes are considered to be the most important agents that affect flood costs (Blong 2003 cited in Aubrecht et al. 2009).

There are many methods of building classification upon their functions and use purposes. One of them takes advantage of the diverse sources of spatial and related to geographical location datasets such as land development plans, topographic maps, addresses and data on companies. As they are integrated on the basis of spatial location, GIS tools may be applied in order to aggregate all the sources of information. As an example, C. Aubrecht et al. (2009, see also Aubrecht et al. 2008) proposes a model of data integration developed in Model Builder application, which is part of the ArcGIS platform. Studies conveyed by C. Aubrecht et al. (2009) show explicitly, that having all data sources of building functions integrated is essential for a better estimation of losses. It also makes the prediction of flood damage costs better. As the results of various scenarios of flood risk were compared to reference the amount of real flood damage costs, data concerning the detailed spatial and statistical information on building usage level was found to be much more precise and the overestimation of losses was the lowest. As claimed by C. Aubrecht et al. (2009) this method of flood risk assessment mentioned above may be developed by introducing additional agents regarding both flood hazard (inundation depth) and vulnerability (type and age of building). In recent years, such studies have been carried out by E. Van der Hoeven et al. (2009) and many other scholars.

F. Luino et al. (2012) introduce a different approach to flood risk assessment. They suggest to start the research procedure by classification of land use forms. Then, all classes should be grouped due to their flood vulnerability. In this step the following agents must be examined and analyzed: (a) population density of permanent residents and temporarily staying at certain parts of the day, (b) existence of machinery and private property, (c) existence of social and recreational activities, losses resulting from agricultural zone damages, (d) existence of environmental value areas. On the basis these data, in the opinion of F. Luino et al. (2012) residential and community facilities should be in the first group (level 1), that comprises all the elements of the highest flood vulnerability. In the second group (level 2) there should be industrial and commercial buildings (including hotels). Finally, agricultural buildings, recreational buildings and sport centers are the least flood susceptible objects and should go to the third group (level 3). Ultimately, the matrix of dependencies between the three flood zones of different inundation intensity (probability of flood occurrence) and areas of different flood susceptibility should be created. This matrix is used as one of the components of flood risk assessment – potential damage level – could be examined (Luino et al. 2012). Based on F. Luino's matrix (Luino et al. 2012) it can be stated that residential areas and community facilities that are located in the flood zone of very high or high inundation intensity (of the highest flood

hazard) are considered to have high flood risk level. On the other hand, agricultural zones, sport centers and recreational areas that are situated in the flood zone of the lowest inundation intensity are regarded to have the lowest risk level.

Flood risk assessment analysis should also involve data the extent of historical floods. Such analysis, which comprises both the matrix mentioned above and historical data on flood extent, may be a very useful tool for complex, urban development planning and the reduction of flood risk (Luino et al. 2012).

3. Area of study and methods

The studies, which are presented in this paper were carried out in the inundation zone of Gryfino – city located in the lower course of the Oder river in West Pomeranian Voivodeship. Before the Oder reaches Gryfino city it branches into the East Oder and the West Oder. Only the former one passes longitudinally through the city. Because of the high environmental values, flood zones lying within the city are legally protected as part of Natura 2000 network and Lower Oder Valley Landscape Park.

As inundation zones, two direct flood hazard areas and one potential flood hazard zone were taken into account in this research. Their extents were delineated by the Regional Water Management Board in Szczecin¹. Direct flood hazard area involves land, whose its inundation probability is either 10% (flood may occur once a decade) or 1% (refer to 100-year flood). The potential flood hazard zone depicts areas accidentally prone to flooding as e.g. flood wave overflows embankment crown or levees damaged. It should be noted that areas of 1% annual chance of flood cover direct flood hazard zones with a 10% probability of flood occurrence (once a decade). In turn, the potential flood hazard zone is separable from all direct hazard areas.

The aerial photos taken in 1996 under the PHARE Program and orthophotomap made in 2007 under LPIS Program were used as land cover forms could be recognized and analyzed. For land development classification Topographic Database (TBD), Database of Topographic Objects (BDOT) and raster topographic maps from the 90s of 20th century were used. Land cover and land development analysis was conveyed on the basis of authorial classification where classes referred partially to TBD and BDOT categories (tab. 1). This was

¹ In 2012 in Polish the Law, Water Law Act was changed as a result of Floods Directive implementation. Consequently, the names of particular floodplain zones were changed. The former direct flood hazard area was defined as a special flood hazard area. Also the term of potential flood hazard zone was replaced. The new flood zones are going to be delineated till the end of 2013 as a part of flood hazard maps, in order to implement the requirements of the European Floods Directive.

arranged hierarchically into four levels, where the first three presented land cover forms, while the most detailed, last one related to land development.

Table 1

Classification of land cover and land development forms

0 Level	1 st Level	2 nd Level	3 rd Level
Unurbanized areas	Water areas	Water areas	Flowing water areas Stagnant water areas
	Woodlands, tree-covered and shrub-covered	Woodlands, tree-covered areas and shrublands	Woodlands Tree-covered areas and shrublands
	Agricultural area	Arable crops areas	Meadows and pastures Arable lands
		Permanent crops areas	Orchards
Urbanized areas	Semi-invested areas	Non-built-up, urbanized areas	Grasslands Hardened and non-hardened yards (car parks, construction sites, ruins)
		Recreation and leisure areas	Urban open space (parks, greens) Graveyards Allotments Sports fields
	Invested areas	Transport areas	Road areas Railway areas
		Built-up areas	Residential areas Commercial areas Business districts Education and social care areas Religious buildings areas Industrial areas Transport buildings areas Outbuildings, development areas Technical infrastructure areas

Source: own elaboration based on TBD, BDOT.

In this study it was assumed that the amount of potential flood losses depend on land development patterns of floodplains. Flood losses were estimated using the method of potential flood hazard assessment which is applied while official flood risk maps are designed. This method is specified in the Regulation of the

Minister of Environment, Minister of Transport, Construction and Maritime Economy, Minister of Administration and Digitization and Minister of the Interior dated 21 December 2012 on preparation of flood hazard and flood risk maps. It differentiates potential flood losses based on land use classification and assigns distinct value of assets to each class. In case of residential, industrial and transportation areas, also inundation depth is taken into consideration as a loss function.

Based on these data, in this paper, the amount of unit potential losses for each land use form was calculated using algorithm (1), and then the aggregated value of potential flood losses for every land use class was estimated applying algorithm (2).

$$Sp_{ij} = W_i \cdot f(h_j), \quad (1)$$

where:

Sp_{ij} – amount of unit potential losses for each land use form regarding its inundation depth ranges,

W_i – value of assets in specified land use class,

$f(h_j)$ – loss function which links each land use class with its inundation depth ranges, where j – inundation depth range.

$$S_{pi} = \sum_{j=1}^4 Sp_{ij} \cdot A_i, \quad (2)$$

where:

S_{pi} – aggregated value of potential flood losses for each land use class,

Sp_{ij} – amount of unit potential losses for each land use form regarding its inundation depth ranges, where i – land use class, j – inundation depth range,

A_i – area of particular land use class.

Classes applied in the Regulation were much more generalized than the classification of data gathered for research purposes. Therefore, it was necessary to standardize both classifications on the basis of a less precise one. Thus residential areas included: residential areas, outbuilding development areas and grasslands, which surround residential zone. The industrial zone comprised of: industrial areas, commercial areas, business districts, transport building areas, technical infrastructure areas, hardened and non-hardened yards. Also grasslands which enclose all those areas were also included to that group. In turn, transportation class consisted of lands under roads and railways, forests involved woodlands, tree-covered areas and shrublands, recreational and leisure areas contained urban open space, graveyards, allotments and sport fields, agricultural areas comprised meadows and pastures, arable lands and orchards, water zone enclosed both flowing water and stagnant water areas. Because data on inundation depth couldn't be acquired, arithmetical average of loss function, which was set in Regulation individually for each class, was applied. It was stated that for residential areas it is 53%, for industrial ones it is 50% and for transportation areas the loss function is set to 9%.

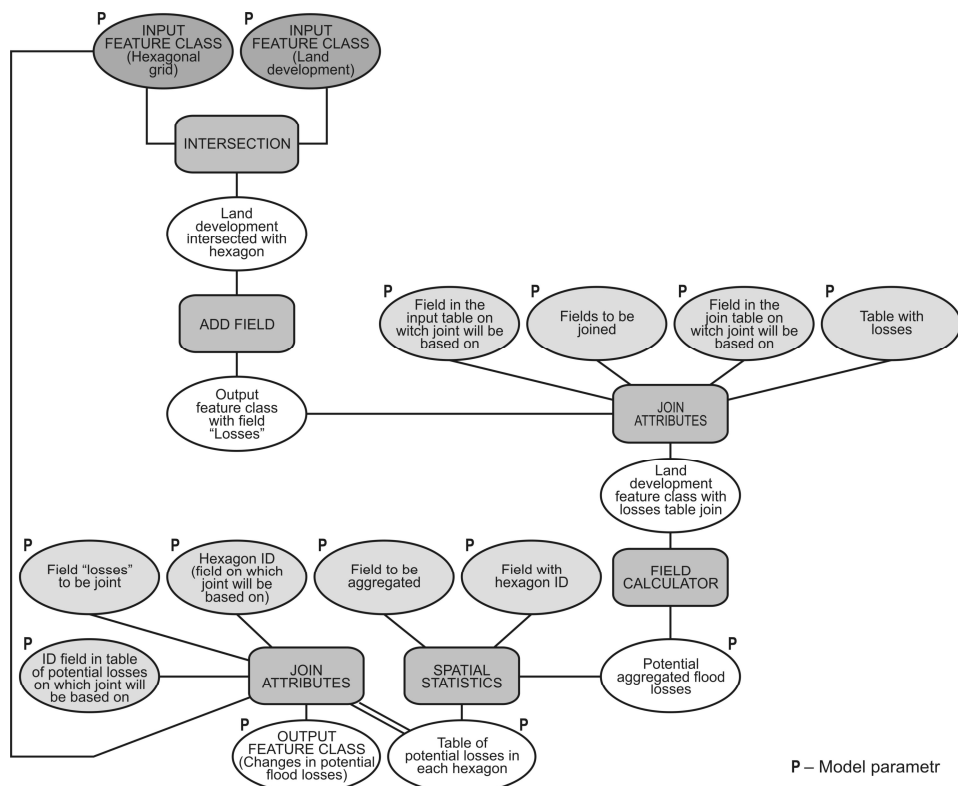


Fig. 1. Workflow of potential flood losses estimation using ArcGIS Model Builder

Source: own elaboration

For the identification of land cover and land development patterns manual photointerpretation of aerial imagery and orthophotomaps for two time periods (1996 and 2007) was conducted using GIS tools. This manual interpretation involves land cover and land development digitalization which complies to rules of mutual self-complementary of polygons, topological consistency and accuracy (Ciołkosz et al. 1999). The result of manual photointerpretation was used to draw thematic maps of land development patterns in Gryfino separately for 1996 and 2007. As a result, a map of land development changes could be released. That map was used as input for potential flood losses temporal analysis. For such analysis the same reference fields in every single map presenting time data is required. Therefore as a tile, polygons made a hexagon with an area 0.5 ha were applied. As C.P.D. Birch et al. (2007) showed, having hexagonal tiling the analysis accuracy is more precise and its visualization is much better. The average length of a hexagon's edge to its geometric mean center is about 2.9% lower than in case of a square grid of the same area. Also the individual points of the hexagon's edges are spaced from their geometric mean center more evenly,

compared to a square grid. This means that hexagonal tiling reflects the nature of the phenomena better than a square grid, especially if the shape of particular land development features is diversified and intersects many tiles (Birch et al. 2007).

In that study the hexagonal grid layer, was generated using a Geospatial Modeling Environment application. This grid was intersected with a map of the land development patterns separately for 1996 and 2007. In effect, new layers that involved spatial data on particular land development forms in each hexagon were created. Then, a table of unit potential losses for every land use form standardized to 1 ha of area (see Sp_{ij}) was joined to both layers. In those joints, codes of land development forms worked as field keys. Having the area of particular land development forms in each hexagon calculated, a Summary Statistics tool from ArcGIS application could be applied to estimate the aggregated value of potential flood losses per hexagon (Sp_i). Based on the hexagon ID number such a results table could be generated and then, attached to the original hexagonal grid layer. In that way a thematic map with values of potential flood losses per hexagon, separately in the years 1996 and 2007 could be drawn up. When spatial distribution of intensity changes in potential flood losses could be identified and estimated, the differential map was created. In that map, the value of potential flood losses per hexagon in 2007 was subtracted from a corresponding hexagon with data from 1996.

The analysis of potential flood losses was carried out with the use of a Model Builder, which is part of the ArcGIS platform. This application provides tools which allow to string together sequences of geoprocessing tools in one workflow (ArcGIS Help). As a result, the research procedure can be performed more quickly, since some steps of research procedure may be automated (fig. 1).

4. Results

The steps of research analysis described above, starting from intersection of hexagonal grid with land development forms and ending at attachment of table with aggregated data on value of flood losses in each hexagon to the original hexagonal grid layer, was done automatically. It is the versatility and repeatability of models created in Model Builder, that make them interesting and worth applying. What is more, they may be used in the studies of different phenomena and various disciplines. Also such workflows may be re-used when examining other layers or feature classes. Stringing together sequences of tools in this application also protects researcher from making of human errors while data sources are being processed.

As land development patterns of Gryfino's floodplains were analyzed, the domination of meadow and pasture areas was observed (about 44%). When referring to unurbanized zone, also tree-covered areas and shrublands played

important role (10%). In semi-invested class it was grasslands, defined as biologically active surface of built-up plots, which covered 2% of the floodplains. Likewise, hardened and non-hardened yards, described as landfills, parking areas and construction sites enveloped 2% of the area studied. Floodplains found not to be significant for recreation purposes. Only 1% of total floodplains were used as allotments and sports fields. There were also no parks, boulevards, graveyards in the research area.

Building development, located within the flood zone of Gryfino was found to be strongly diversified due to the fact that the western and central parts of the city were at risk of flooding. In the floodplains, mostly outbuildings development, commercial, transport and residential zones were reported, which covered about 1.5% of its total area (fig. 2).

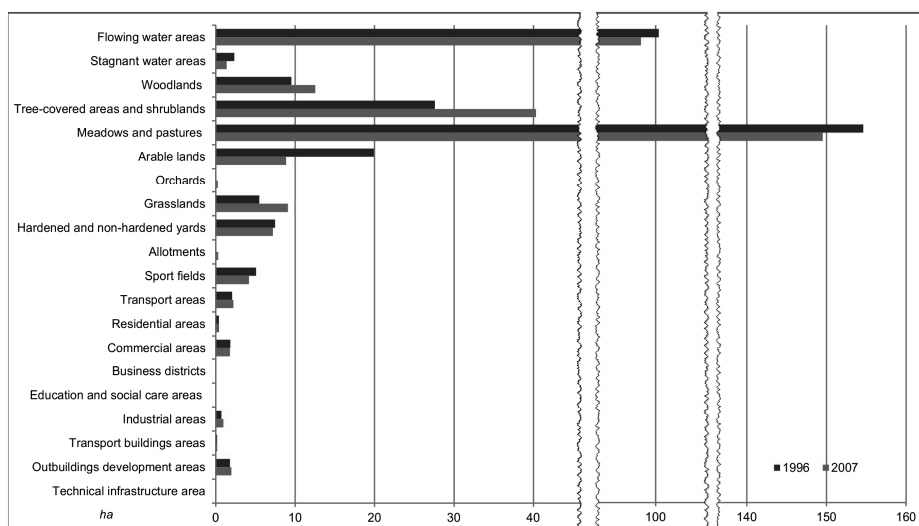


Fig. 2. Land development of floodplains in Gryfino in 1996 and 2007

Source: own elaboration

In the area of study, it was the flood hazard level, which was determined by extents of flood zones with different probability of flood occurrence, that affected structure and intensity of land development forms. It was reported that direct flood hazard areas were mainly covered with meadows and pastures, while in the potential flood hazard zone much more built-up areas were observed. According to those findings it can be stated that in Gryfino between 1996 and 2007, an economic aspect of flood risk level was inversely proportional to the intensity of land use and land development.

Having temporal changes in amount of potential flood losses in Gryfino between 1996 and 2007 analyzed, an increase in the intensity of invested areas

was observed. That growth resulted from the development of new built-up areas (residential, industrial, transport and outbuilding), increase of grasslands and roads at the cost of meadows, pastures and arable lands. It was also reported that some meadows and pastures turned into tree-covered areas and shrublands. Most of those changes were noticed in the northern and southern parts of the potential flood hazard zone, where more unurbanized, open spaces could be found (fig. 3).

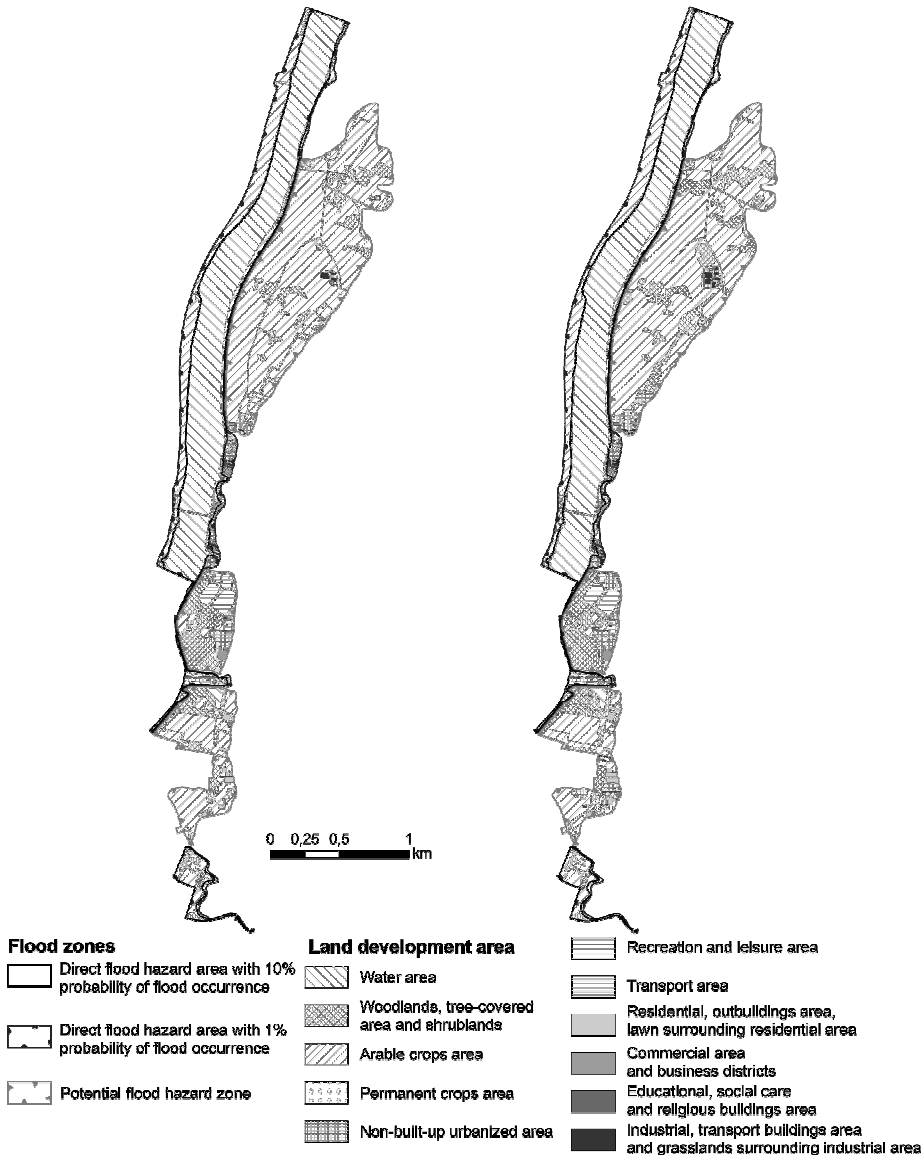


Fig. 3. Land development of floodplains in Gryfino in 1996 (a) and 2007 (b)
Source: own elaboration

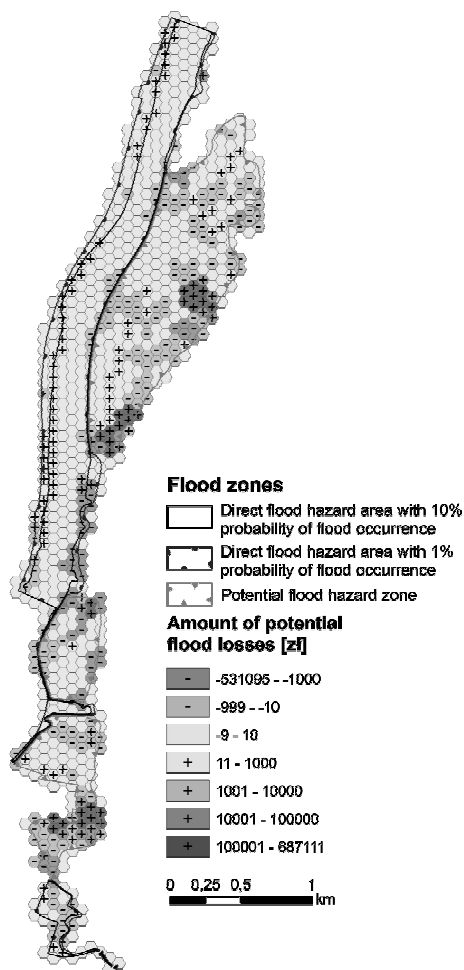


Fig. 4. Amount of changes in potential flood losses in Gryfino between 1996 and 2007
Source: own elaboration

Due to the intensification of land development in the area of study, the value of potential flood losses increased. In 1996 the estimated cost of those losses was 30.15 mln zł, while in 2007 it was 36.20 mln zł. The highest growth was recorded in potential flood hazard zones, where the vast majority of buildings were placed (fig. 4).

5. Conclusion

This study indicates that an increase of potential flood losses in Gryfino between 1996 and 2007 took place, which mainly resulted from the continuous

development of new investment areas in the floodplains. These results confirm that general negative urban processes affect directly zones at risk of flooding. Worse still, the irrational policy of the Gryfino authorities causes not only growth of potential flood material losses but also increases exposure of people lives to flooding.

In conclusion, such maps of a flood risk level, expressed by potential flood losses has not only cognitive but also utility value. The first of this results may be applied when some zones referred to floodplains require further planning restrictions, e.g. non-building zone should be entered. Furthermore, such findings can be used to review existing planning studies, in order to better adjust them to local conditions.

The use of Geographic Information System applications provides set of tools and applications that accelerate and simplify research workflow. What is more new tools and workflows may be developed. Thanks to the GIS environment various spatial data (e.g. land development) and statistical data (such value of assets at flood risk) may be integrated, having analysis of potential flood losses estimation and spatial visualization of its results much more precise.

References

- Aubrecht C., Köstl M. Steinnocher K., 2008, *Functional object grouping – an advanced method for integrated spatial and space related data mining Digital Earth Summit on Geoinformatics*, [w:] Ehlers M., Behncke K., Gerstengarbe F.W., Hillen F., Koppers L., Stroink L., Wachter J. (red.), *Tools for global change research*, Herbert Wichmann, Heidelberg, s. 9–94.
- Aubrecht C., Köstl M., Knoflacher M., Steinnocher K., 2009, *The importance of active public communication – settlement systems and land use patterns seen from a disaster perspective REAL CORP 2009*, [w:] Schrenk M., Popovich V., Engelke D., Elisei P. (red.), *14th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society-Strategies, Concepts and Technologies For Planning the Urban Future*, Sitges, s. 895–900.
- Barredo J.I., 2007, *Major flood disasters in Europe: 1950–2005*, „Natural Hazards”, 42, s. 125–148.
- Becker G., Aerts J.C.J.H., Huitema D., 2013, *Influence of flood risk perception and other factors on risk-reducing behaviour: a survey of municipalities along the Rhine*, „Journal of Flood Risk Management”, DOI: 10.1111/jfr3.12025.
- Berz G., Kron W., Loste, T., Rauch E., Schimtschek J., Schmieder J., Siebert A., Smolka A., Wirtz A., 2011, *World map of natural hazards – a global view of the distribution and intensity of significant exposures*, „Natural Hazards”, 23, s. 443–465.
- Birch C.P.D., Oomb S.P., Beecham J.A., 2007, *Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology*, „Ecological Modelling”, 206, s. 347–359.

- Blong R., 2003, *A new damage index*, „Natural Hazards”, 30, s. 1–23.
- Ciołkosz A., Olędzki J., Miszański J., 1999, *Interpretacja zdjęć lotniczych*, PWN, Warszawa.
- Ciołkosz A., Poławski Z.F., 2006, *Zmiany użytkowania ziemi w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, „Przegląd Geograficzny”, 78, s. 173–190.
- Crichton D., 1999, *The risk triangle*, [w:] Ingleton J. (red.), *Natural disaster management*, Tudor Rose, London, s. 102–103.
- De Roo A., Kucera J., Bonk R., Barredo J.I., Bodis K., Szabo J., Thielen J., 2006, *Flood extent and damage estimation in Hungary during the floods in spring 2006 Report EUR 22712 EN*, Joint Research Centre, Institute for the Environment and Sustainability, Ispra.
- DEFRA, EA., 2006, *R&D outputs: Flood risks to people. Phase 2. FD2321/TR1 The flood risks to people methodology*, Department for Environment Food and Rural Affairs and the Environment Agency, London.
- Downing T.E., Butterfield R., Cohen S., Huq S., Moss R., Rahman A., Sokona Y. Stephen L., 2001, *Vulnerability indices: climate change impacts and adaptation*, UNEP Policy Series, UNEP, Nairobi.
- Dutta D., Herath S., 2001, *GIS based flood loss estimation modeling in Japan, 1st Workshop of US-Japan Cooperative Research for Urban Earthquake Disaster Mitigation*, Kobe.
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego I Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim.
- Evans E.P., Ashley R., Hall J., Penning-Rowsell E., Sayers P., Thorne C., Watkinson A., 2004, *Foresight. Future flooding. Scientific summary*, vol. 1: *Future risks and their drivers*, Office of Science and Technology, London.
- Guzzetti F., Stark C., Salvati, P., 2005, *Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy*, „Environmental Management”, 36 (1), s. 15–36.
- Jakkola O., Mikkola A., 1999, *Data integration: Land cover in Finland, an example. Land cover and land use information systems for European Union policy needs, Proceedings of seminar*, Luxembourg.
- Kang J.-L., Su M.-D., Chang L.-F., 2005, *Loss functions and framework for regional flood damage estimation in residential area*, „Journal of Marine Science and Technology”, 13, s. 193–99.
- Kitowski K., 2010, *Dyrektywa powodziowa a przewencyjne planowanie przestrzenne*, „Przegląd Komunalny”, 7, s. 48–51.
- Koomen E., Koekoek A., Dijk E., 2001, *Simulating land-use change in a regional planning context*, „Applied Spatial Analysis”, 4, s. 223 – 247.
- Kostrowicki J., 1959, *Badania nad użytkowaniem ziemi w Polsce*, „Przegląd Geograficzny”, 31, 3–4, s. 517–530.
- Lerner L.A., 2007, *Assessing global exposure to natural hazards: Progress and future trends*, „Environmental Hazards”, 7, s. 10–19.
- Luino F., Turconi L., Petrea C., Nigrelli G., 2012, *Uncorrected land-use planning highlighted by flooding: the Alba case study (Piedmont, Italy)*, „Natural Hazards Earth System Sciences”, 12, s. 2329–2346.

- Merz B., Kreibich H., Thieken A., Schmidtke R., 2004, *Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings*, „Natural Hazards Earth System Sciences”, 4, s. 153–63.
- Messner F., Meyer V., 2005, *Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research*, UFZ Discussion Papers, Department of Economics, 13.
- Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (red.), 2007, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Pielke R.A. Jr., Downton M.W., Barnard Miller J.Z., 2002, *Flood damage in the United States, 1926–2000: A reanalysis of national weather service estimates*, UCAR, Boulder.
- Ristic R., Kostadinov S., Abolmasov B., Dragicevic S., Trivan G., Radic B., Trifunovic M., Radosavljevic Z., 2012, *Torrential floods and town and country planning in Serbia*, „Natural Hazards Earth System Sciences”, 12, s. 23–35.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska, Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, Administracji i Cyfryzacji oraz Spraw Wewnętrznych z dnia 21 grudnia 2012 r. w sprawie opracowania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego (Dz.U. 2013 poz. 104).
- Sarewitz D., Pielke Jr. R.A., Keykyah M., 2003, *Vulnerability and risk: Some thoughts from a political and policy perspective*, „Risk Analysis”, 23 (4), s. 805–810.
- Schanze J., 2012, *Dealing with future change in flood risk management*, „Journal of Flood Risk Management”, 5, s. 1–2.
- Schmidt T.P., Greiving S., Kallio H., Fleischhauer M., Jarva J., 2006, *Economic risk maps of floods and earthquakes for European regions*, „Quaternary International”, 150, s. 103–112.
- Słowska D., Sobieska Z., 1988. *Inwentaryzacja urbanistyczna*, Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa.
- Thieken A.H., 2009, *Floods, flood losses and flood risk management in Germany*, Habilitation Treatise, University Potsdam, Potsdam.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (tekst jednolity Dz.U. 2012 poz. 145 z późn. zm.).
- Van der Hoeven E., Aerts J., Van der Klis H., Koomen E., 2009, *An integrated discussion support system for new Dutch flood risk management strategies*, [w:] Geertman S., Stillwell J.C.H. (red.), *Planning support systems: Best practices and new methods*, Springer, Berlin.
- Waananen A.O., Limerinos J.T., Kockelman W.J., Spangle W.E., Blair M.L., 1977, *Flood-prone areas and land-use planning: selected examples from the San Francisco Bay region, California. US*, „Geological Survey Professional Paper”, 942.
- Walczykiewicz T., 2002, *Priorytety decyzyjne w zakresie realizacji systemów ochrony przeciwpowodziowej*, „Gospodarka Wodna”, 2, s. 61–64.
- Wytyczne techniczne. *Baza Danych Topograficznych. TBD*, 2008, Główny Geodeta Kraju, Warszawa.

Zebisch M., Grothmann T., Schroeter D., Hasse C., Fritsch U., Cramer W., 2005, *Climate change in Germany: vulnerability and adaptation of climate sensitive sectors, Report commissioned by the Federal Environmental Agency, Germany, UFOPLAN 20141253*, Potsdam Institute of Climate Impact Research, Potsdam.

SZACOWANIE POTENCJALNYCH STRAT POWODZIOWYCH W KONTEKŚCIE ZMIAN ZAGOSPODAROWANIA OBSZARÓW ZALEWOWYCH PRZY WYKORZYSTANIU GIS

Celem artykułu jest określenie zmian wysokości potencjalnych strat powodziowych na podstawie analizy rozkładu przestrzennego form zagospodarowania obszarów zalewowych, przy wykorzystaniu narzędzi GIS. Opracowano procedurę szacowania potencjalnych strat powodziowych przy wykorzystaniu narzędzi GIS, stosując sposób obliczania strat obowiązujący w polskim ustawodawstwie. Badania wykazały, że w latach 1996–2007 w mieście Gryfino, położonym w Polsce nad rzeką Odrą, wzrosło potencjalne zagrożenie stratami powodziowymi na skutek wzrostu intensyfikacji zagospodarowania obszarów zalewowych

Słowa kluczowe: *zagospodarowanie obszarów zalewowych, straty powodziowe, ryzyko powodziowe, Gryfino, GIS*

Mgr Ewa Głosińska

Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geografii Społeczno-
-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Planowania Przestrzennego
e-mail: ewaglo@amu.edu.pl

Mgr Łukasz Lechowski

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Instytut Miast i Turystyki, Zakład Geoinformacji
e-mail: lukasz.lechowski@gmail.com

Grzegorz Walek

WYKORZYSTANIE PROGRAMÓW QUANTUM GIS I SAGA GIS DO BUDOWY CYFROWEGO MODELU WYSOKOŚCIOWEGO ZLEWNI GRAJCARKA

W artykule przedstawiono możliwości opracowania cyfrowego modelu wysokościowego (CMW) w formie rastra o rozdzielczości przestrzennej 5 m dla zlewni potoku Grajcarek, której powierzchnia wynosi 85 km². CMW stworzono na podstawie digitalizacji poziomic z mapy topograficznej w skali 1:10 000, z użyciem oprogramowania typu Open-Source GIS – Quantum GIS i SAGA GIS. Opisano procedurę tworzenia modelu, rozpoczynając od wektoryzacji treści mapy topograficznej, przez wybór metody interpolacji, kończąc na preprocessingu, prowadzącym do uzyskania poprawności hydrologicznej modelu. Szczególną uwagę zwrócono na niedoskonałości tworzonego CMW, wynikające z zastosowania różnych metod interpolacji. Pomimo iż budowa CMW zgodnie z opisaną procedurą jest bardzo czasochłonna, to stanowi często jedyną możliwość pozyskania dokładnego modelu wysokościowego małych zlewni lub innych jednostek przestrzennych, który umożliwiałby przeprowadzanie szczegółowych analiz hydrologicznych, geomorfologicznych lub innych interpretacji.

Słowa kluczowe: *cyfrowy model wysokościowy, numeryczny model terenu, zlewnia Grajcarka, Quantum GIS, SAGA GIS*

1. Stan wiedzy

We współczesnym środowisku naukowym operującym technikami GIS wzrasta świadomość potencjału wykorzystania cyfrowych modeli wysokościowych¹ (CMW) zarówno w badaniach związanych z geografią fizyczną, jak i społeczno-ekonomiczną (np. Jensen, Cowen 1999, Vassilopoulou, Hurni 2001, Martinez-Vega i in. 2005, Nita i in. 2007, Kurczyński i in. 2007, Tomczyk, Ewertowski 2009, Gudowicz i in. 2010). W związku z różnym zasięgiem przestrzennym tych badań istnieje zapotrzebowanie na modele o zróżnicowanej rozdzielczości, dostosowanej do realizacji konkretnych analiz. W przypadku większości opracowań z geografii społeczno-ekonomicznej oraz opracowań z dziedzin geografii

¹ W niniejszym artykule posłużono się terminologią sprecyzowaną w artykule pt. *O homologiczności polskiej terminologii geoinformacyjnej* (Zwoliński 2010).

fizycznej w skali regionalnej wystarczające są modele o niewielkiej dokładności (SRTM3, ASTER, DTED level 2). Niestety, do badań w skali lokalnej, np. badań procesów hydrologicznych i geomorfologicznych zachodzących w małych zlewniach, o powierzchni nieprzekraczającej do 100 km², dokładność wymienionych CMW jest najczęściej niewystarczająca. W tych przypadkach istnieje konieczność posiadania modelu o dużo wyższej rozdzielczości przestrzennej – o rozmiarach boku piksela 5 m lub mniejszych, dochodzących do skali mikro (Soycan, Soycan 2009, Gudowicz i in. 2010, Tomczyk 2010).

Zestawienie danych wysokościowych dostępnych w tworzeniu i analizie CMW na obszarze Polski przedstawili szczegółowo J. Nita z zespołem (2007). Obecnie w Polsce, wśród danych przestrzennych dostępnych w obrocie komercyjnym, zaznacza się brak dostatecznej ilości dokładnych CMW o wysokiej rozdzielczości, w szczególności pokrywających obszary peryferyjne oraz tereny zalesione (CODGiK 2012). Badacze często stoją przed zadaniem własnoręcznej budowy CMW, który spełniałby ich wymagania. W takich sytuacjach najczęściej stosowaną metodą tworzenia CMW jest interpolacja zwektoryzowanej treści hipsometrycznej z map topograficznych za pomocą oprogramowania GIS.

2. Cel pracy

Celem pracy jest ocena możliwości zastosowania programów Quantum GIS i SAGA GIS w procesie tworzenia cyfrowego modelu wysokościowego w formie rastrowej o rozdzielczości przestrzennej 5 m na podstawie wektoryzacji treści map topograficznych w skali 1:10 000, na potrzeby modelowania obiegu wody w zlewni rzecznej. Przyjęto, iż dokładność treści kartograficznej na mapie w skali 1:10 000, w związku z tzw. dopuszczalnym błędem położenia obiektów na mapie (Urbański 2010), wynosi 0,5 mm, co po przeliczeniu przez skalę daje 5 m w terenie. Można założyć, że CMW w formie rastra powstały w wyniku wektoryzacji i interpolacji treści hipsometrycznej z mapy topograficznej w skali 1:10 000 będzie miał rozdzielczość przestrzenną 5 m (komórka rastra będzie w kształcie kwadratu o rozmiarze 5 x 5 m) i będzie to wielkość metodologicznie poprawna².

² Praktycznie można programowo zwiększyć rozdzielczość każdego CMW, uzyskując większą liczbę pikseli. Na przykład rozdzielczość modelu SRTM3 można sztucznie powiększyć, stosując odpowiednią procedurę próbkowania danych (ang. *resampling*) tak, aby wielkość jednego piksela wynosiła nie 60 x 90 m, a np. 10 x 15 m. Należy jednak pamiętać, że nowo powstałe piksele będą danymi wtórnymi, których wysokości nie muszą odpowiadać rzeczywistości. Według C.H. Grohmana (2006) taki CMW będzie niejako wygładzonym modelem pierwotnym o spójnych zależnościach kątowych.

Dokonano ewaluacji wyników procedur interpolacyjnych i metod preprocessingu danych dostępnych w wykorzystanych programach. Analizę przeprowadzono na przykładzie zlewni Grajcarka o bardzo urozmaiconej rzeźbie terenu.

3. Dane

W drodze do realizacji postawionego celu badawczego wykorzystano następujące materiały kartograficzne, obejmujące swoim zasięgiem zlewnię potoku Grajcarek o powierzchni 85 km², położoną w południowej części Polski na pograniczu Pienin i Beskidu Sądeckiego: arkusze mapy topograficznej w skali 1:10 000 w układzie PUWG 1965 (obecnie jedyne dostępne mapy w tej skali, pokrywające swoim zasięgiem cały analizowany obszar) oraz arkusze mapy topograficznej Sztabu Generalnego w skali 1:50 000 w układzie PUWG 1942. Mapy w skali 1:10 000 uzyskano z Małopolskiego Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, mapy w skali 1:50 000 pozyskano z zasobów Instytutu Geografii UJK.

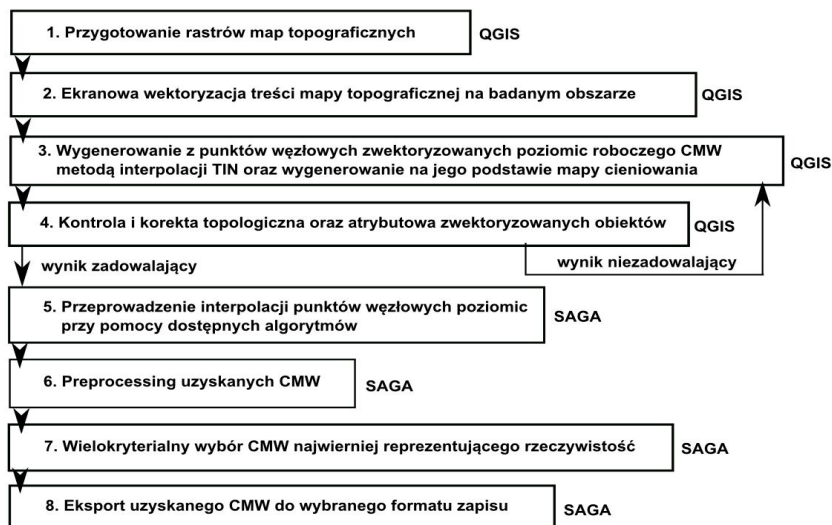
Analityczną część pracy wykonano z wykorzystaniem oprogramowania z grupy tzw. Open-Source GIS. Termin ten definiuje systemy informacji geograficznej o otwartym dostępie do kodu źródłowego, który można modyfikować i udostępniać. Systemy te oparte są najczęściej na otwartej i wolnej licencji (Ramsey 2007). Często jest ona darmowa do zastosowań prywatnych i komercyjnych, ustalana w zależności od polityki deweloperów (Camara, Onsrud 2004). Posłużono się dwoma popularnymi programami z dziedziny Open Source GIS: Quantum GIS (QGIS) v. 1.7.2, dającymi duże możliwości edycji modeli wektorowych, oraz SAGA GIS v. 2.0.8, który stworzono głównie do pracy nad modelami rastrowymi.

4. Metody

W badaniach wykorzystano szereg metod informatycznych dostępnych przy użyciu GIS, w tym metody statystyczne i geostatystyczne metody interpolacji (Thin Plate Spline oraz Kriging). Posłużono się także szeroko definiowaną przez K.A. Saliszczewa (1984) kartograficzną metodą badań. Autor ten stwierdził, iż mapę można zastosować do „(...) opisu, analizy i poznania naukowego zjawisk”.

Schemat postępowania badawczego, prowadzącego do budowy CMW z wykorzystaniem programów QGIS i SAGA GIS, przedstawiono na rysunku 1. Można go podzielić na dwa główne etapy. Pierwszy z nich polega na pracy danymi wektorowymi w programie QGIS w celu zgromadzenia materiałów wejściowych niezbędnych dla realizacji drugiego etapu – interpolacji i preprocessingu danych oraz weryfikacji jakościowej wygenerowanych modeli w pro-

gramie SAGA GIS. W pierwszym etapie przygotowano materiał badawczy w formie wektorowych warstw tematycznych (w formacie shp). Najważniejszą jego częścią była wektoryzacja niezbędnej do stworzenia hydrologicznie poprawnego CMW treści mapy topograficznej (poziomic, cieków wodnych, wcięć drogowych i innych wcięć erozyjnych oraz punktów wysokościowych), równoległa budowa poprawnej struktury tabeli atrybutów warstw wektorowych oraz kontrola topologiczna i atrybutowa zwektoryzowanych obiektów.



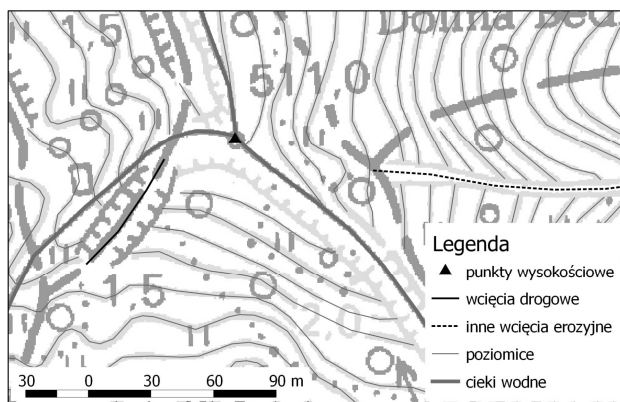
Rys. 1. Schemat postępowania prowadzącego do budowy CMW

Źródło: opracowanie własne

Najbardziej czasochłonną częścią tego etapu, a także całego procesu badawczego, była wektoryzacja treści mapy topograficznej w skali 1:10 000³ na obszarze zlewni Grajcarka i terenów przyległych. Korzystając z polskich map topograficznych w skali 1:10 000, napotkano na problem braku treści kartograficznej na obszarach położonych poza granicami Polski, wzdłuż południowego odcinka działu wodnego zlewni Grajcarka. Do ustalenia przebiegu rysunku poziomicowego na tych obszarach posłużyły rastry słowackich map topograficznych w skali 1:10 000, udostępnione na stronie www.geoportal.sk (2012) oraz rastry map topograficznych Sztabu Generalnego w skali 1:50 000, których treść kartograficzna wykracza poza granice Polski.

³ W następstwie znacznego urozmaicenia rzeźby terenu badanej zlewni wektoryzacja 1 km² zajmowała średnio 3–4 godziny zegarowe. Etap ten nie mógłby się odbyć bez zaangażowania studentów geografii UJK na zajęciach modelowania przestrzeni geograficznej, za co autor składa im serdeczne podziękowania.

Wektoryzację treści mapy topograficznej prowadzono tak, aby linie i punkty, powstałe jako wynik wektoryzacji, nie wykraczały swoim zasięgiem poza linie i punkty, narysowane na podkładowej mapie topograficznej (rys. 2). Integralną częścią warstw wektoryzowanych poziomic i punktów wysokościowych były odpowiednie tabele atrybutów, zawierające (w formacie liczb rzeczywistych, ang. *float*) odczytane z mapy topograficznej informacje o wysokości każdego obiektu z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku. W wielu miejscach na mapie topograficznej zaistniał problem błędnego opisanie rysunku poziomicowego lub punktów wysokościowych. W większości przypadków rozwiązano go, analizując stosunki wysokościowe na obszarach przyległych do miejsca wystąpienia problemu. W całej zlewni pojawiło się jednak kilka przypadków, kiedy niemożliwe było przypisanie poprawnej wartości poziomicy ze 100% pewnością, wpisywano więc wartości, które były najbardziej prawdopodobne. W tych miejscach wynikowy CMW został obciążony dodatkowym błędem.



Rys. 2. Przykład wektoryzacji fragmentu mapy topograficznej w skali 1:10 000

Źródło: opracowanie własne

Po zakończonej wektoryzacji treści mapy topograficznej przeprowadzono kontrolę topologiczną i atrybutową obiektów na powstałych warstwach tematycznych. Sprawdzono ciągłość i dokładność lokalizacji obiektów oraz wartości wysokości przypisane poziomicom i punktom wysokościowym. Wartości te skontrolowano wizualnie na roboczym CMW, stworzonym za pomocą interpolacji punktów węzłowych poziomiec metodą TIN (Triangulated Irregular Network) w programie QGIS. Równolegle na ekranie monitora została wyświetlona mapa cieniowania. Błędy opisu wysokości poziomiec w tabeli atrybutów jawiły się jako widoczne zniekształcenia (artefakty⁴) na roboczym CMW.

⁴ „Artefakty” to zwrot zapożyczony z terminologii grafiki komputerowej. Oznacza on wady cyfrowego modelu rastrowego, będące skutkami ubocznymi zastosowania róż-

W drugim etapie pracy badawczej interpolację punktów węzłowych z warstwy wektorowej poziomic przeprowadzono pięcioma metodami, które nie wymagały wcześniejszej modyfikacji danych wejściowych (np. konwersji linii do punktów). Wykorzystane metody interpolacji to⁵:

1. Multilevel B-Spline Interpolation,
2. Ordinary Kriging,
3. Ordinary Kriging z funkcją Block Kriging,
4. Thin Plate Spline (Local),
5. Thin Plate Spline (TIN).

Parametry interpolacji dla wszystkich wymienionych metod pozostawiono bez zmian jako domyślnie ustawione w programie, precyzując tylko docelowy rozmiar piksela wynikowego CMW w formacie rastrowym na 5 m.

W wyniku przeprowadzonych procedur interpolacji wygenerowano pięć CMW, które następnie poddano preprocessingowi. W fazie tej, za pomocą modułu *Burn Stream Network Into DEM*, „wypalono” w modelach sieć rzeczną, wcięcia drogowe i erozyjne – tzn. obniżono wartość komórek rastra znajdujących się w miejscu wymienionych liniowych form rzeźby terenu na CMW o stałą wartość, którą przyjęto na -1 m. Następnie za pomocą modułu *Fill Sinks* (Wang & Liu) wypełniono zagłębienia bezodpływowe (powstałe jako zniekształcenia interpolacji) oraz ustalono w ich obrębie minimalny kąt nachylenia pomiędzy komórkami rastra o wartości 0.1°, który informuje program o możliwości powierzchniowego odpływu wody z tych obszarów.

Ostatecznie wygenerowane CMW poddano ewaluacji w celu wytypowania najlepszej z wykorzystanych metod interpolacji. Wyboru najlepszego CMW dokonano na podstawie trzech kryteriów:

1. Jakości powierzchni CMW z uwzględnieniem widocznych zniekształceń.
2. Zgodności rzeczywistego układu sieci rzecznej (cieki stałe i okresowe zaznaczone na mapie topograficznej w skali 1:10 000) z siecią wygenerowaną.
3. Krosvalidacji, mającej na celu ustalenie zgodności wysokości terenu odczytanych z wygenerowanych CMW z punktami wysokościowymi o różnym położeniu morfologicznym⁶, uzyskanymi z mapy topograficznej w skali 1:10 000. Krosvalidacja, nazywana także sprawdzianem krzyżowym, polega na

nich algorytmów podczas jego przetwarzania, np. powstające na skutek kompresji oryginalnego pliku w celu zmniejszenia jego objętości, zmiany formatu lub przeprowadzenia interpolacji danych. Uwidaczniają się jako nienaturalne zniekształcenia modelu źródłowego lub obrazu rzeczywistości, który podlega modelowaniu.

⁵ Wszystkie nazwy wykorzystanych metod i modułów podano w oryginale w języku angielskim, tak jak występują w programie SAGA GIS.

⁶ Punktów tych nie użyto wraz z punktami węzłowymi rysunku poziomicowego do przeprowadzenia interpolacji, jak to czynią niektórzy autorzy (Krocak 2010). Pozostawiono je do wykorzystania jako próbę, na podstawie której oceniono efekty interpolacji.

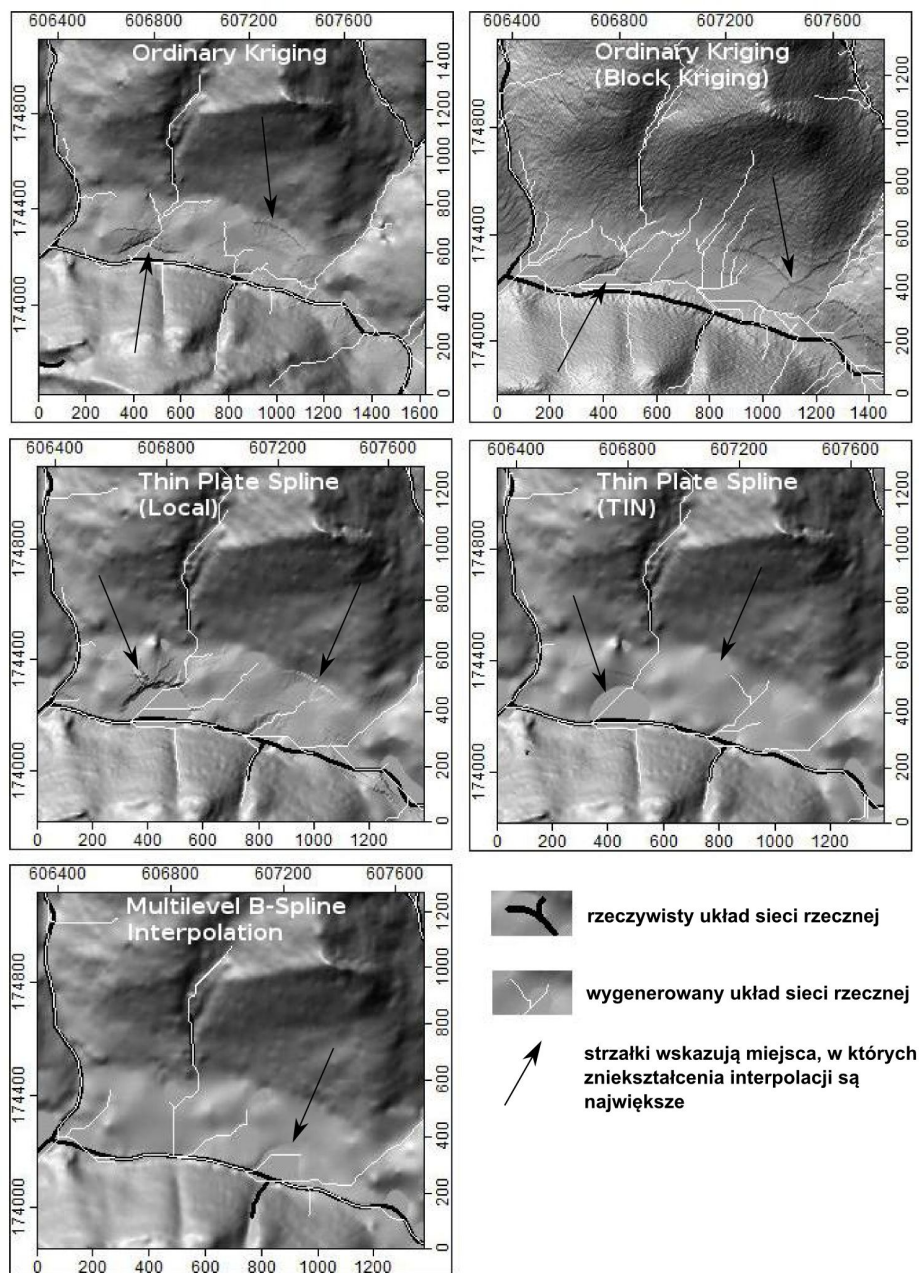
podziale próby statystycznej na podzbiory, po czym jeden z nich użyty zostaje do wykonania analiz (zbiór uczący), a drugi jest używany do potwierdzenia wiarygodności ich wyników (zbiór walidacyjny). W artykule podzbiorem, za pomocą którego wykonano procedury interpolacji, a ostatecznie cyfrowe modele wysokościowe, były wartości wysokości punktów węzłowych zwektoryzowanych poziomic. Podzbiór walidacyjny stanowiły wartości zwektoryzowanych z mapy topograficznej punktów (pikiet) wysokościowych.

5. Rezultaty

Na podstawie wizualnej analizy powierzchni cyfrowych modeli wysokościowych oraz porównania sieci rzecznej stwierdzono, iż najlepszą zgodność uzyskał model wykonany metodą *Multilevel B-Spline Interpolation*, w którym wygenerowany układ sieci rzecznej nie odbiegał zbyt od rzeczywistości, a zniekształcenia interpolacji były najmniej widoczne. Najmniejszą zgodność uzyskał model wykonany metodą *Ordinary Kriging* z funkcją *Block Kriging*, w którym duża ilość niewielkich zniekształceń spowodowała sztuczną szorstkość terenu, co przyczyniło się do znacznego zagęszczenia wygenerowanej sieci rzecznej (rys. 3).

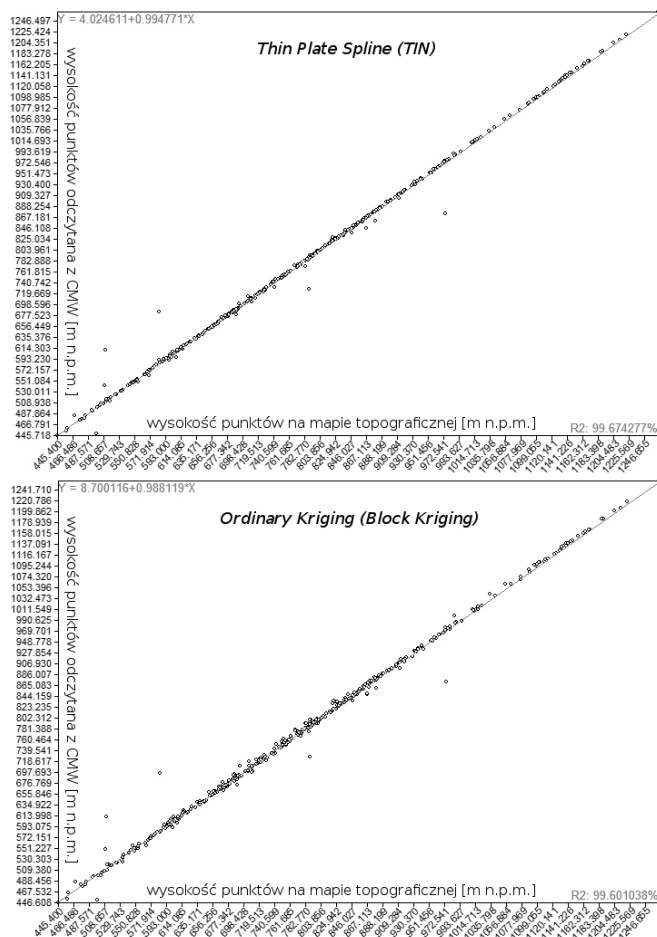
Krosvalidacja przy użyciu punktów wysokościowych wykazała, iż dopasowanie modeli do rzeczywistej powierzchni terenu jest bardzo dobre. Największą wartość współczynnika determinacji, na poziomie $R^2 = 97,674\%$, uzyskano przy zastosowaniu interpolacji *Thin Plate Spline (TIN)*, średni błąd kwadratowy (RMS) wysokości pomiędzy odpowiadającymi sobie punktami wyniósł 9,86 m. Najlepsze, jednak dalej bardzo dobre dopasowanie na poziomie $R^2 = 99,601\%$, uzyskano przy użyciu metody *Ordinary Kriging* z funkcją *Block Kriging*, gdzie RMS wyniósł 11,00 m (rys. 4).

Wysokie wartości RMS są skutkiem błędnego opisanie wysokości niektórych punktów na mapie topograficznej. Są to punkty najbardziej odbiegające od linii trendu widocznej na rysunku 4. Współczynniki determinacji R^2 pomiędzy rzeczywistymi wartościami wysokości punktów wysokościowych a wysokościami określonymi z CMW wszystkich analizowanych metod różniły się minimalnie – w granicach 0,01%. Różnice te byłyby większe, gdyby wziąć pod uwagę tylko punkty wysokościowe położone na wierzchołkach wzniesień, ze względu na zmienne interpretowanie krzywizn powierzchni statystycznej przez różne metody interpolacji.



Rys. 3. Porównanie powierzchni wynikowych CMW oraz wygenerowanych układów sieci rzecznej z układem rzeczywistym

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Wykresy zgodności punktów wysokościowych odczytanych z mapy topograficznej w skali 1:10 000 z wysokością tożsamych punktów odczytaną z CMW

Źródło: opracowanie własne

Z powodu małych różnic pomiędzy CMW ocenionych na podstawie kryterium analizy krzyżowej kluczową rolę w ostatecznej ewaluacji CMW odegrały pozostałe dwa kryteria. Ustalono, iż CMW, wykonany przy użyciu metody *Multilevel B-Spline Interpolation*, najlepiej odzwierciedla rzeczywistość powierzchni terenu zlewni. Najlepsze dopasowanie na podstawie wszystkich kryteriów uzyskał model wykonany przy użyciu metody *Ordinary Kriging* z funkcją *Block Kriging*.

6. Podsumowanie i dyskusja

Wykorzystanie programów Quantum GIS i SAGA GIS do budowy CMW o wysokiej rozdzielczości przestrzennej na podstawie wektoryzacji treści map topograficznych daje dobre rezultaty, oczekiwane w modelowaniu procesów hydrologicznych. Za pomocą programu QGIS można sprawnie prowadzić wszelkie operacje związane z wektoryzacją treści map topograficznych i przygotowaniem danych wejściowych do przeprowadzenia interpolacji. Program SAGA GIS ma znacznie większy potencjał do pracy z danymi rastrowymi, umożliwia zastosowanie różnego rodzaju złożonych metod interpolacji, preprocessing uzyskanych danych rastrowych oraz zbiór funkcji służących do modelowania hydrologicznego, pozwalających na weryfikację jakości uzyskanego CMW.

Modele wysokościowe, uzyskane dzięki wykorzystanym metodom interpolacji i preprocessingu w programie SAGA GIS, są zróżnicowanej jakości. Najbardziej różnią się one między sobą w miejscach, w których rysunek poziomicowy jest ubogi. Obszary te są głównym wyznacznikiem jakości wygenerowanych modeli, ponieważ w tych miejscach zaobserwowano największe rozbieżności pomiędzy wygenerowanym a rzeczywistym układem sieci rzecznej oraz największe artefakty interpolacji. Najlepsze rezultaty podczas generowania CMW dają zaawansowane techniki Spline'ów (TPS), co znajduje także potwierdzenie w literaturze przedmiotu (Soycan, Soycan 2009). Zaznaczył się także brak bardziej zaawansowanej metody wypalania sieci rzecznej, dzięki której można by było uzyskać znacznie lepsze rezultaty dopasowania wygenerowanego układu sieci rzecznej do jego rzeczywistego przebiegu niż obecnie.

Zaproponowana metodyka budowy CMW jest czasochłonna, ale pozwala na stworzenie CMW o wystarczającej dokładności do przeprowadzania modelowania procesów przyrodniczych, w tym zjawisk hydrologicznych, zachodzących w małych zlewniach (do 100 km) lub innych niewielkich jednostkach przestrzennych.

Literatura

- Camara G., Onsrud H., 2004, *Open source GIS Software: myths and realities*, Open Access and the Public Domain in Digital Data and Information for Science, The National Academic Press, Washington.
- Grohmann C.H., 2006, *SRTM resample with short distance-low nugget kriging*, Proceedings of International Symposium on Terrain Analysis and Digital Terrain Modelling, Nanjing.
- Gudowicz J., Buchwał A., Ćwiąkała P., 2010, *Zastosowanie wysokorozdzielczych cyfrowych modeli wysokościowych w badaniu zmian mikrorzeźby*, „Landform Analysis”, 12, s. 71–78.

- Jensen J.R., Cowen D.C., 1999, *remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes*, „Photogrammetric Engineering & Remote Sensing”, 65 (5), s. 611–622.
- Kroczyk R., 2010, *Geomorfologiczne i hydrologiczne skutki funkcjonowania dróg polnych na Pogórzu Ciężkowickim*, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Kurczyński, Z., Gotlib, D., Olszewski, R., Kaczyński, R., Butowtt, J., 2007, *Numeryczny model terenu – podstawy, budowa i wykorzystanie*, [w:] Kunz M. (red.), *Systemy informacji geograficznej w praktyce (studium zastosowań)*, Wydawnictwo UMK, Toruń.
- Martinez-Wega J., Martin-Isabel R., Romero-Calcerrada R., 2005, *Digital cartography and GIS, decision tools for sustainable development in the Province of Cuenca (Central Spain)*, International Cartographic Conference, La Coruna.
- Nita J., Małolepszy Z., Chybiorz R. 2007, *Zastosowanie numerycznego modelu terenu do wizualizacji rzeźby terenu i interpretacji budowy geologicznej*, „Przegląd Geologiczny”, 55 (6), s. 511–519.
- Ramsey P., 2007, *The state of open source GIS*, Refrations Research, Victoria.
- Saliszczew K.A., 1984, *Kartografia ogólna*, PWN, Warszawa.
- Soycan A., Soycan M., 2009, *Digital elevation model production from scanned topographic contour maps via thin plate spline interpolation*, „The Arabian Journal of Science and Engineering”, 34 (1A), s. 121–134.
- Tomczyk A.M., 2010, *Cyfrowe modele mikroform rzeźby terenu i ich zastosowanie do badania dynamiki przekształceń powierzchni szlaków turystycznych*, „Landform Analysis”, 12, s. 127–136.
- Tomczyk A., Ewertowski M., 2009, *Cyfrowe modele wysokościowe w geomorfologii – wprowadzenie*, [w:] Zwoliński Z. (red.), *GIS – platforma integracyjna geografii*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 67–87.
- Urbański J., 2010, *GIS w badaniach przyrodniczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Sopot.
- Vassilopoulou S., Hurni L., 2001, *The use of digital elevation models in emergency and socio-economic planning: A case study at Kos-Yali-Nisyros-Tilos Islands, Grece*, Proceedings 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, s. 3424–3431.
- Zwoliński Z., 2010, *O homologiczności polskiej terminologii geoinformacyjnej*, [w:] Zwoliński Z. (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 21–30.

Strony internetowe

<http://www.codgik.gov.pl/zasob>
www.geoportal.sk

USE OF QUANTUM GIS AND SAGA GIS SOFTWARE TO BUILD DIGITAL ELEVATION MODEL OF GRAJCAREK CATCHMENT

In this paper use of 1:10 000 scale topographic maps and open-source GIS software to build Digital Elevation Model (DEM) with 5-meters resolution was analysed. DEM was built from contour lines vectorised in Quantum GIS using five different interpolation methods available in SAGA GIS: Ordinary Kriging, Ordinary Kriging with Block Kriging, Thin Plate Spline (Local), Thin Plate Spline (TIN), Multilevel B-Spline Interpolation. Special attention was given to the accuracy of DEM's built with those methods. DEM's were analyzed by crossvalidation of their surface with elevation points vectorised from topographic maps, which were not used in DEM interpolations. Correctness of generated drainage network was also investigated. Although construction of DEM in presented way is very time-consuming, it is often the only way to build high-resolution DEM of small catchments or other spatial units, which could be used in large-scale hydrological or geomorphological modeling.

Keywords: *Digital Elevation Model, Grajcarek catchment, Quantum GIS, SAGA GIS*

Mgr Grzegorz Wałek
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii
e-mail: grzegorz.walek@ujk.edu.pl

Marcin Jaskulski, Aleksander Szmidt

OCENA PRZYDATNOŚCI AUTOMATYCZNEGO WYZNACZANIA LINII SZKIELETOWYCH TERENU DO ANALIZ GEOMORFOMETRYCZNYCH

Celem artykułu jest przedstawienie i ocena możliwości automatycznego wyznaczania linii szkieletowych powierzchni terenu za pomocą oprogramowania komputerowego na podstawie cyfrowego modelu wysokościowego. Autorzy przedstawili przykłady analiz morfometrycznych w geomorfologii i trudność oraz czasochłonność przeprowadzania tego rodzaju badań przy zastosowaniu ręcznych, tradycyjnych metod pomiarowych. Testowym badaniom poddano mapę ukształtowania powierzchni podłoża czwartorzędu regionu łódzkiego. Wyznaczono na niej linie szkieletowe powierzchni terenu metodą tradycyjną, a następnie poddano ją obróbce za pomocą oprogramowania ArcGIS z rozszerzeniami ArcHydro i SpatialAnalyst. Uzyskane w ten sposób mapy porównano i oceniono wyniki.

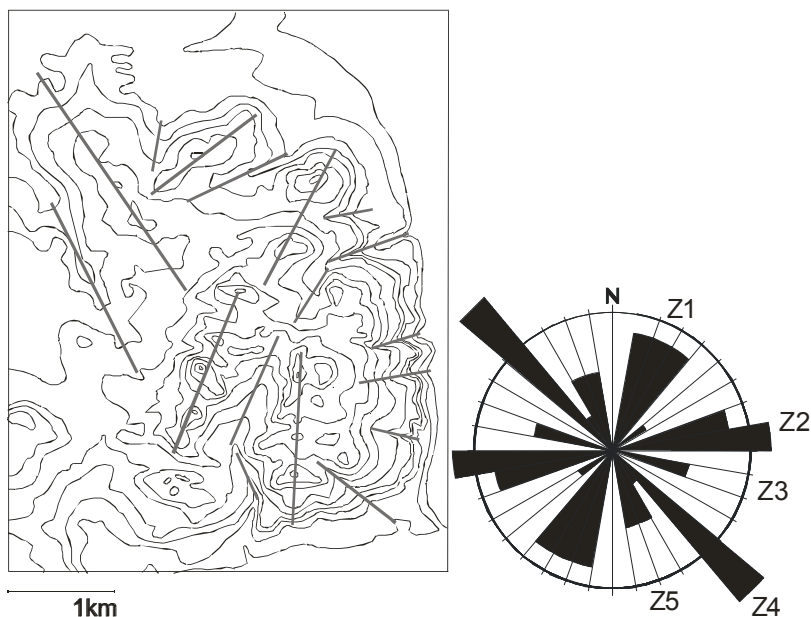
Słowa kluczowe: *linie szkieletowe terenu, GIS*

1. Wstęp

Powszechne wykorzystanie metod geoinformacyjnych jako narzędzi analitycznych w naukach o Ziemi obserwuje się od końca lat 80. XX w. Z punktu widzenia przedmiotu badań nauk geograficznych, dostępne obecnie metody oraz programy geoinformacyjne w głównej mierze stanowią gotowe narzędzia badawcze. Na gruncie nauk geograficznych na ogół nie tworzy się nowych algorytmów, natomiast wskazuje się szereg nowych możliwości ich wykorzystania. W opracowaniu przedstawiono możliwość wykorzystania narzędzi służących głównie do badań hydrologicznych i do analiz geomorfologicznych. Autorzy starają się wykazać, że rozszerzenie ArcHydro do oprogramowania ArcGIS może stanowić jedną z alternatywnych metod automatycznego generowania linii szkieletowych powierzchni terenu, dając jednocześnie wyniki w miarę zbliżone do tych uzyskanych technikami tradycyjnymi. Stanowi to główny cel tego opracowania.

2. Analizy danych kierunkowych metodami tradycyjnymi

Do najczęściej stosowanych metod geoinformacyjnych w badaniach geomorfologicznych można zaliczyć operacje na rastrach, gdzie na podstawie cyfrowego modelu wysokościowego (DEM) wyznacza się podstawowe atrybuty topograficzne, takie jak: nachylenie stoków, ich ekspozycję czy też krzywiznę (Placek 2008, Urbański 2008, Tomczyk, Ewertowski 2009). Mapy pochodne DEM, oprócz przeznaczenia podstawowego, mają również szerokie zastosowania aplikacyjne, m.in. w prognozowaniu współczesnych procesów geomorfologicznych, takich jak np. osuwiska (Długosz, Gębica 2008, Tyszkowski 2008). Inną metodą badawczą stosowaną w naukach geologicznych i geomorfologicznych jest wyznaczenie lineamentów różnych obiektów, elementów czy też całych form terenu. Na przykład w geomorfologii i geologii czwartorzędu próbuje się szukać różnego rodzaju prawidłowości pomiędzy rozmieszczeniem i przebiegiem form terenu powierzchni kopalnych i współczesnych (rys. 1).



Rys. 1. Szkic hipsometryczny oraz lineamenty topograficzno-morfologiczne Pagórków Warciańskich

Źródło: M. Jaskulski (2008)

W tym celu na podstawie zdjęć satelitarnych i lotniczych lub na podstawie cyfrowych modeli wysokościowych dokonuje się wyznaczanie linii określających przebieg np. form tektonicznych lub form powierzchni terenu. Nakładając na siebie mapy lineamentów dla różnych powierzchni kopalnych wraz z siecią

uskoków, bardzo często można zaobserwować ich wzajemną korelację, będącą podstawą do wysuwania wielu wniosków. Badania takie są typowe zarówno w światowych pracach geologicznych (Allen 1975, Campbell 1976, Jacobi 2002), jak i w polskich opracowaniach geomorfologicznych (Molewski 2007, Jaksa, Szmidt 2008, Jaskulski 2008).

Metodą tradycyjną dokonywano głównie wyznaczania lineamentów niektórych form terenu, takich jak: wydmy, kemy czy ozy, gdzie ich kierunek wskazywał na przebieg procesów geomorfologicznych. Do podstawowych wad tej metody należała pracochłonność oraz duża subiektywność pomiarów w przypadku form złożonych o nieregularnych kształtach (rys. 1).

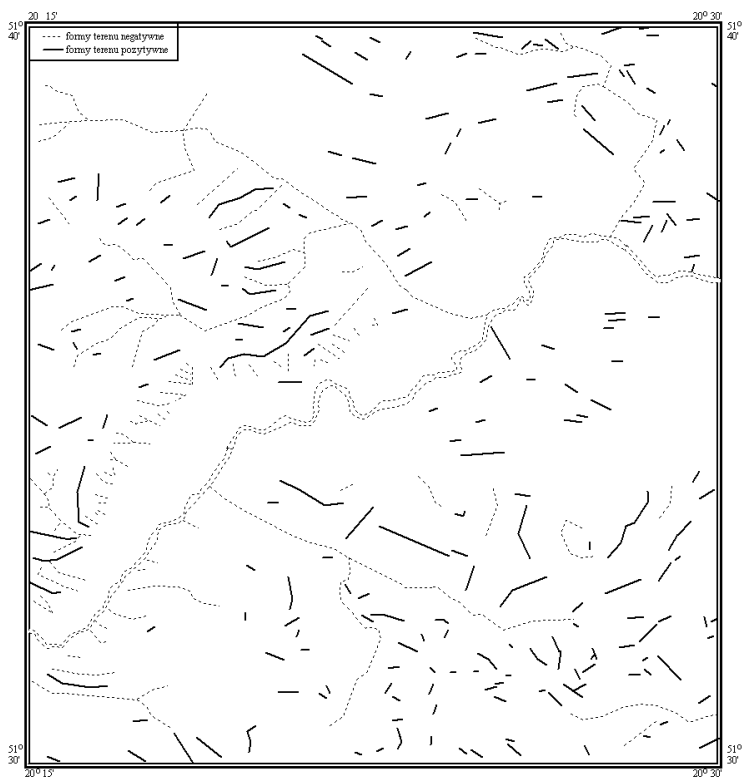
Z reguły po wyznaczeniu na kalce technicznej liniijką oraz kątomierzem poszukiwanych linii, autorzy dokonywali pomiarów, które następnie były poddawane obróbce statystycznej. W wyniku tego otrzymywano wykresy kierunkowe na siatkach stereograficznych, które dostarczały ważnych informacji mogących służyć poszukiwaniom korelacji z innymi badanymi strukturami geologicznymi (Rutkowski 1995).

W momencie osiągnięcia przez komputery odpowiedniej wydajności, możliwe stało się wczytywanie map o dużej rozdzielczości do pamięci komputera, a następnie dokonania dalej jeszcze ręcznego pomiaru, jednak już nie za pomocą kątomierza, lecz przy użyciu funkcji pomiarów kątów (np. program graficzny GIMP, ImageJ).

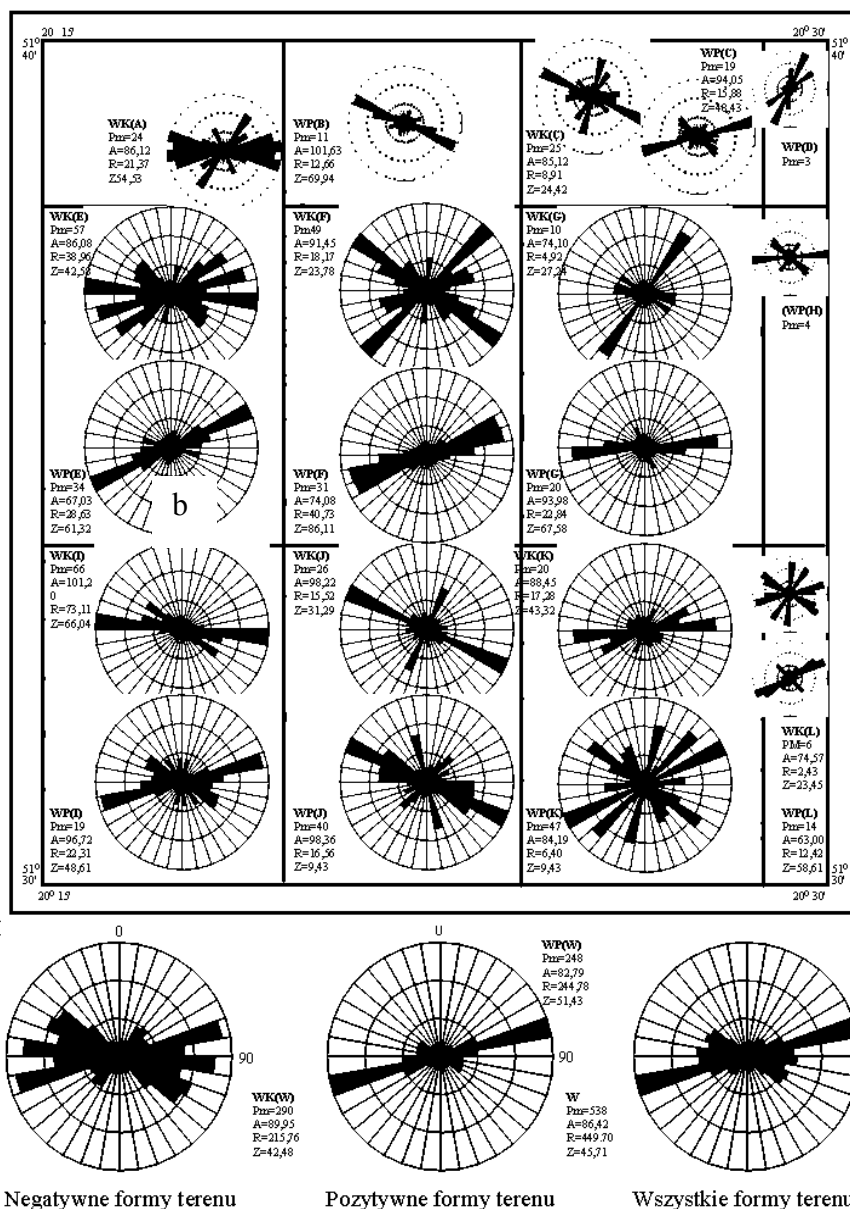
Rzadziej stosowaną metodą w badaniach geomorfologicznych, za to częściej w dydaktyce, jest wyznaczanie linii szkieletowych terenu (rys. 2). Termin ten jest różnie rozumiany przez kartografię tradycyjną oraz systemy informacji geograficznej. W pierwszym przypadku, w podręcznikach linie te opisuje się jako osie dolin (linie ściekowe lub ciekowe) oraz grzbiety form (linie grzbietowe). W drugim przypadku za linie szkieletowe uważa się dodatkową informację morfometryczną poprawiającą jakość numerycznego modelu terenu (Urbański 2008). Do tego typu obiektów powierzchni terenu można zaliczyć np. skarpy i bardzo strome zbocza, których nie można przedstawić za pomocą rysunku poziomicowego, a tym bardziej za pomocą numerycznego modelu terenu.

Od strony analizy geometrycznej linie szkieletowe przecinają się z poziomiami prostopadle, w miejscach ich największego wygięcia. Jeżeli wygięte poziomic skierowane są wypukłością w stronę spadku – to przedstawiają grzbiet i tam, prostopadle do miejsc największego wygięcia poziomic rysujemy linię grzbietową. Jeżeli wygięte poziomic skierowane są wypukłością przeciwnie do spadku terenu, to obrazują dolinę. Tam, prostopadle do miejsc największego wygięcia poziomic, rysujemy oś dolinną z zaznaczonym kierunkiem spływu wody. W wyniku tego otrzymujemy linie grzbietowe (rys. 3b), będące jednocześnie linią działu wodnego, oraz linie dolinne (rys. 3a), będące najczęściej miejscem koncentracji odpływu.

W rzeczywistości jednak wyznaczanie lineamentów na podstawie rysunku poziomicowego jest dość skomplikowane ze względu na nieregularność, nierówność, nierównoległość poziomic. Rzeźba powierzchni terenu przedstawiana za pomocą rysunku poziomicowego najczęściej daleka jest od takiego wyidealizowanego wzoru jak na rysunku 3. Dodatkowo należy stwierdzić, że metoda wyznaczania linii szkieletowych jest dość subiektywna i narażona na liczne błędy podczas oceny i pomiarów dokonywanych przez człowieka. Należy uwzględnić również to, że prace takie wykonuje się na rysunku poziomicowym, będącym uproszczeniem obrazu ukształtowania powierzchni terenu, zniekształconym dodatkowo podczas procesu interpolacji. Na przykład w trakcie prac prowadzonych techniką tradycyjną wygładza się poziomicę i prowadzi zgodnie z zasadą współkształtności (Piątkowski i in. 1961). W wyniku tego przebieg wielu linii szkieletowych terenu może być nieco odmienny niż jest to w rzeczywistości w terenie.

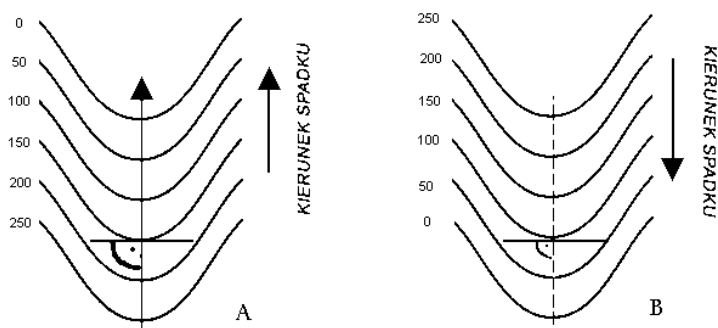


Rys. 2a. Osie dłuższe głównych form podłoża czwartorzędu w rejonie pomiędzy Inowłódzem a Nowym Miastem nad Pilicą według A. Szmidta (2004) na podstawie Szkicu odkrytego załączonego do Objasnień do arkusza SMGP Rzeczyca
Źródło: P. Kłoda (1993)



Rys. 2b. Osie dłuższe głównych form podłoża czwartorzędu (diagramy kierunkowe) w rejonie pomiędzy Inowłodzem a Nowym Miastem nad Pilicą według A. Szmida (2004) na podstawie Szkicu odkrytego załączonego do Objśnień do arkusza SMGP Rzeczyca

Źródło: P. Kłoda (1993)



Rys. 3. Interpretacja rysunku poziomicowego przy tradycyjnym sposobie wyznaczania linii szkieletowych terenu

Źródło: opracowanie własne

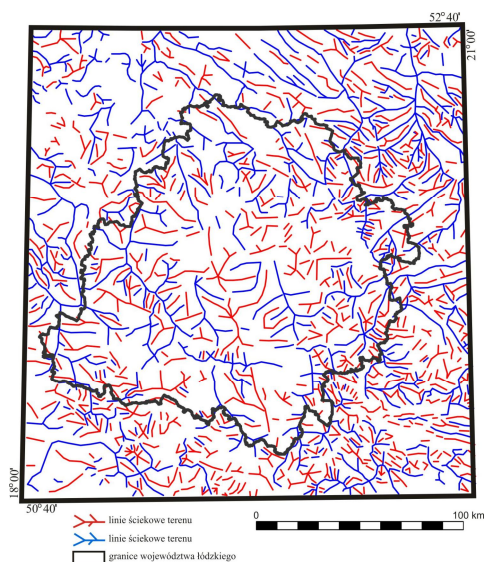
Zamieszczony powyżej krótki opis problemu obrazuje pracochłonność prowadzonych tego typu pomiarów. Wskazuje to potrzebę poszukiwań metod automatycznego wyznaczania linii szkieletowych terenu. Oprócz przyspieszenia prac metody takie powinny zmniejszyć subiektywność pomiarów wykonywanych przez człowieka oraz zapewnić ich powtarzalność. Za przykład takich propozycji można wskazać badania Y.C. Changa i in. (1998) i F. Gülgena i T. Gökgöza (2004). Autorzy ci testowali możliwość wykorzystania algorytmów, napisanych pod kątem wykrywania omawianych linii w zapisie obrazu powierzchni terenu. Badania te, wykonane na podstawie DEM, powstały na bazie map topograficznych w skali 1:5000 i w ocenie autorów niniejszego opracowania metody te mogą stanowić jedno z rozwiązań omawianego problemu.

Jak wcześniej zasygnalizowano, rolą geografów jest także wskazywanie nowych możliwości wykorzystania już istniejących algorytmów komputerowych lub znajdowanie innych ścieżek rozwiązania problemu badawczego. W przypadku tego opracowania autorzy zdecydowali się przetestować możliwość wykorzystania popularnych i łatwo dostępnych narzędzi GIS do wyznaczania linii szkieletowych terenów.

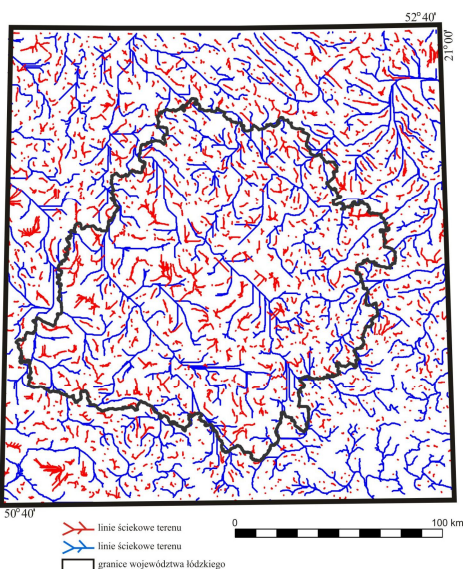
3. Metody automatyczne

W celu porównania tradycyjnej metody wyznaczania linii szkieletowych terenu (rys. 4) z metodą automatyczną (rys. 5) testowi poddano mapę ukształtowania powierzchni czwartorzędu, wygenerowaną przez A. Szmidta (2012) na podstawie rysunku poziomicowego, zamieszczonego na Mapach geologicznych Polski bez utworów czwartorzędowych w skali 1:200000, Arkusz Konin (Ciuk 1979), Arkusz Płock (Baraniecka, Skompski 1978), Arkusz Warszawa-Zachód (Słowański i in. 1995), Arkusz Kalisz (Baranowski, Mańkowska 1972), Arkusz

Łódź (Piwocki 1980), Arkusz Skierniewice (Makowska 1973), Arkusz Kluczbork (Haisig i in. 1979), Arkusz Częstochowa (Haisig, Bierut 1980), Arkusz Kielce (Filonowicz 1978). Dane do analizowanej warstwy tematycznej pozyskano za pomocą ręcznej digitalizacji poziomic ze skanów map geologicznych w programie Surfer 8. Ze względu na to, że w programie Surfer 8 georeferencja została oparta tylko na dwóch punktach referencyjnych, w kolejnym kroku dokonano korekty georeferencji już zdigitalizowanych poziomic w programie ESRI ArcGIS 9.1. Interpolację tak pozyskanych i przetworzonych punktów opisujących poziomicę ponownie dokonano w programie Surfer 8, metodą naturalnych sąsiadów. Porównanie rysunków poziomicowych na mapach źródłowych z rastrami wynikowymi wykazało, że w przypadku tego typu danych metoda naturalnych sąsiadów daje obraz rastrowy najbardziej zbliżony do rysunku poziomicowego, wykreślonego techniką tradycyjną.



Rys. 4. Linie szkieletowe terenu
wyznaczone techniką tradycyjną
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Linie szkieletowe terenu
wyznaczone w programie ArcGIS 9
za pomocą rozszerzenia ArcHydro
Źródło: opracowanie własne

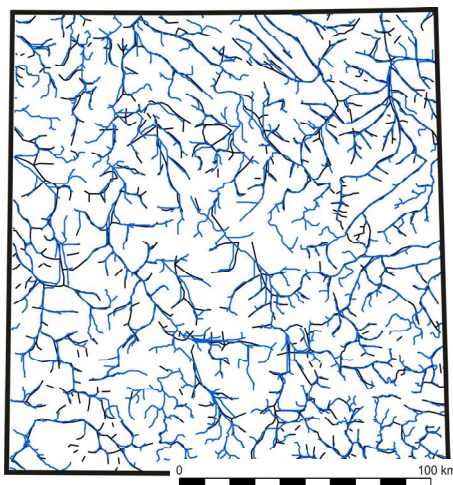
W kolejnym kroku raster po dostosowaniu formatu zapisu danych poddano analizom za pomocą oprogramowania komputerowego. Próby wyznaczenia linii grzbietowych w oprogramowaniu MicroDem nie przyniosły satysfakcjonujących wyników. Obraz linii szkieletowych wygenerowany w tym programie w dużej mierze nie pokrywał się z tym, uzyskanym techniką tradycyjną. W tym celu dokonano próby wykorzystania narzędzi związanych z modelowaniem hydro-

logicznym, służących m.in. do wyznaczania obszarów zlewni. Poniższe przekształcenia wykonano metodą wyznaczania zlewni elementarnych zaproponowaną przez D.R. Maidment (2002) (Urbański 2008, Gudowicz, Zwoliński 2009):

1. Wypalanie sieci rzecznej (*dem reconditioning*),
2. Wypełnienie zagłębień (*fill sinks*) likwidujące miejsca zagłębień bezodpływowych, których obraz może powstać podczas procesu interpolacji.
3. Tworzenie mapy kierunku spływu (*flow direction*).
4. Tworzenie mapy akumulacji spływu (*flow accumulation*).
5. Definiowanie cieków wodnych.
6. Segmentacja cieków wodnych.

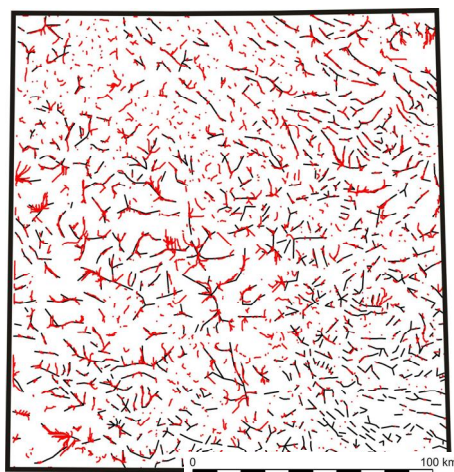
Z uwagi na to, że analizowana powierzchnia była reliefem kopalnym, pominięto etap pierwszy, uwzględniający w cyfrowym modelu wysokościowym przebieg faktycznych cieków wodnych. W przypadku wykrywania linii szkieletowych na powierzchni współczesnej, warto również rozpatrzyć pominięcie tego kroku, ponieważ głównym celem obliczeń nie są wydzielania i analizy hydrologiczne realnych zjawisk, lecz wychwycenie wszelkich miejsc, którymi teoretycznie mógłby zachodzić spływ wody. Proces wypełniania zagłębień w danych rastrowych, tworzenie map kierunku spływu oraz akumulacji spływu wykonane zostało w module ArcHydro automatycznie. Problem natomiast może się pojawić na etapie definiowania cieków wodnych na podstawie warstw wygenerowanych wcześniej. W prognozowaniu hydrologicznym na odpowiednich modelach należy ustalić wartość, od której nastąpi koncentracja wody w zlewniach elementarnych, mogąca przekształcić się w spływ liniowy. W przypadku tego opracowania, aby ustalić linie ciekowe terenu, należało przyjąć, że wszystkimi liniami ciekowymi powinna płynąć woda. Warunkowało to wskazanie oprogramowaniu najniższych wartości przy określaniu parametrów funkcji definiowania cieków oraz skonfrontowanie wyników z mapą poziomową. Po uzyskaniu satysfakcjonującego wyniku dane z rastra wynikowego zostały wyeksportowane do formy wektorowej jako obiekty liniowe (rys. 5–6).

Trudniejsze do realizacji tą metodą jest wyznaczenie linii grzbietowych terenu. Teoretycznie może się wydawać, że ich obrazem powinien być negatyw mapy akumulacji spływu. Niestety, metoda obliczania kierunku spływu oraz akumulacji spływu generuje duże obszary, gdzie spływ nie powinien zachodzić, co nie daje podstaw do wyznaczenia obiektów liniowych. Częściowym rozwiązaniem tego problemu może być stworzenie negatywu rastra wejściowego za pomocą funkcji *negate* w rozszerzeniu *Spatial Analyst* programu ArcGIS. Użytkany w ten sposób negatyw odwraca formy terenu, czyli doliny stają się grzbietami, grzbiety zaś strefami spływu.



— linie ściekowe wyznaczone techniką tradycyjną
— linie ściekowe wyznaczone za pomocą narzędzi GIS

Rys. 6. Zestawienie linii ciekowych terenu wyznaczonych techniką tradycyjną oraz za pomocą rozszerzenia ArcHydro
Źródło: opracowanie własne



— linie grzbietowe wyznaczone techniką tradycyjną
— linie grzbietowe wyznaczone za pomocą narzędzi GIS

Rys. 7. Zestawienie linii grzbietowych terenu wyznaczonych techniką tradycyjną oraz za pomocą rozszerzenia ArcHydro
Źródło: opracowanie własne

Należy jednak uwzględnić, że tak uzyskany obraz stanowi nietypowy zespół form z punktu widzenia geomorfologii i hydrologii, ponieważ w miejscach faktycznie istniejących wzniesień generowane są obszary bezodpływowe (rys. 5–7). Rodzi się wówczas pytanie, czy ma wówczas sens użycie funkcji wypełnienia zagłębień (*fill sinks*). Obrazy map wynikowych pokazują, że lepsze rezultaty daje zastosowanie tej funkcji jeszcze na rastrze źródłowym, a dopiero w kolejnym kroku wykonanie jego negatywu. Nałożenie na siebie linii grzbietowych wyznaczonych techniką tradycyjną oraz komputerową wskazuje na mniejszą zgodność uzyskanych wyników niż w przypadku linii ściekowych (rys. 6–7).

4. Podsumowanie

Przeprowadzone próby wykazały, że moduł ArcHydro oraz zaimplementowane w niego funkcje mają również przydatność do analiz geomorfometrycznych. Wygenerowane za pomocą tego oprogramowania linie szkieletowe terenu są zgodne z oczekiwaniami, szczególnie w przypadku linii ciekowych terenu. Zestawienie obrazów linii ciekowych wyznaczonych techniką tradycyjną z obrazem linii wyznaczonych za pomocą modułu ArcHydro wykazują duże podobieństwo, zarówno jeśli chodzi o długość obiektów, jak i ich kształt (rys. 6). Niewielkie różnice występują tylko w ilości wydzieleni małych cieków, co może

wynikać głównie z dużej subiektywności odbioru mapy przez człowieka i większej możliwości popełniania przez niego błędów podczas pomiarów. Zdaniem autorów, przedstawiona tutaj automatyczna metoda wyznaczania linii ciekowych terenu posiada przewagę nad metodą tradycyjną przy analizie względnie dużych obszarów, charakteryzujących się małymi deniwelacjami terenu. Algorytm komputerowy z reguły potrafi precyzyjniej wyliczyć środek danej formy, człowiekowi zaś trudno jest dokonać właściwej interpretacji przebiegu szukanej osi. Omawiany problem dobrze jest uwidoczniiony w NW części analizowanego obszaru (rys. 6), który na mapach ukształtowania powierzchni podczwartorzędowej charakteryzuje się małymi deniwelacjami powierzchni. W strefie tej zaznacza się wyraźna dysproporcja w ilości i jakości wydzielen lineamentów na korzyść metody automatycznej.

Algorytm wyznaczania zlewni elementarnych, zawarty w module ArcHydro, daje natomiast gorsze rezultaty niż metoda tradycyjna w przypadku wyznaczania linii grzbietowych. Bazowanie na sumowaniu wartości z kolejnych komórek rastra powoduje, że w miejscach grzbietów, przekształconych wcześniej za pomocą narzędzia *negate* na strefy obniżień, wyliczane są duże obszary koncentracji linii ciekowych (rys. 7). Ponadto generowana jest dużo większa ilość samych wydzielen niż przy metodzie tradycyjnej. Poza tymi miejscami, kierunku, ilość oraz długość wydzielonych elementów jest podobna dla obu metod pomiarowych.

Zdaniem autorów, przedstawiony powyżej zestaw narzędzi zawarty w module ArcHydro może stanowić jedną z alternatywnych metod automatycznego generowania linii szkieletowych powierzchni terenu, przyspieszając znacząco czas wykonywania pomiarów oraz zwiększając ich precyzję i porównywalność.

Literatura

- Allen C.R., 1975, *Geological criteria for evaluating seismicity*, „Geological Society of America Bulletin”, 5, s. 86.
- Baraniecka M.D., Skompski S., 1978, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Płock, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Baranowski J., Mańkowska A., 1972, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Kalisz, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Campbell R.H., 1976, *Structural features related to earthquakes in Managua, Nicaragua and Cordoba. Mexico*, „Geological Survey Professional Paper”, 929.
- Chang, Y.C., Hsu, S.K., Song, G.S., 1998, *Automatic extraction of ridge and valley axes Using the profile recognition and polygon breaking algorithm*, „Computers & Geosciences”, 24 (1), s. 83–93.

- Ciuk E., 1979, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Konin*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Długosz M., Gębica P., 2008, *Geomorfologiczne skutki oraz rola lokalnych ulew i powodzi w kształtowaniu rzeźby progu Pogórza Karpackiego (na przykładzie ulewy z marca 2006 r. w rejonie Sędziszowa Młp.)*, [w:] Florek W., *Rola procesów ekstremalnych w kształtowaniu rzeźby*, Landform Analysis, t. 8, Poznań, s. 13–20.
- Filonowicz P., 1978, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Kielce*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Gülgen F., Gökgoz T., 2004, *Automatic extraction of terrain skeleton lines from digital elevation models*, 20th ISPRS Congress, 12–23 July 2004, Instambul.
- Gudowicz J., Zwoliński Z., 2009, *Geoinformacyjne modelowanie hydrologiczne*, [w:] Zwoliński Z. (red.), *GIS platforma integracyjna geografii*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 101–114.
- Haisig J., Biernat S., 1980, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Częstochowa*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Haisig J., Wilanowski J., Biernat S., Kaziuk H., Kotlicki S., 1979, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Kluczbork*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Jacobi R.D., 2002, Basement faults and seismicity in the Appalachian Basin of New York State, [w:] Fakundiy R.H., Jacobi R.D., Lewis C.F.M. (red.), *Tectonophysics, Neotectonics and Seismicity in the Eastern Great Lakes Basin*, t. 353, s. 75–113.
- Jaksa A., Szmidt A., 2008, *Wpływ tektoniki dysjunktywnej na rozmieszczenie kemów na obszarze województwa łódzkiego w świetle analizy kartograficznej*, [w:] Florek W., Kaczmarzyk J. (red.), *Współczesne problemy geomorfologii*, Landform Analysis, t. 9, Poznań, s. 146–191.
- Jaskulski M., 2008, *Zaburzenia dysjunktywne w kemach regionu łódzkiego*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Łódź.
- Kłoda P., 1993, *Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50000, ark. Rzeczyca*, PIG, Warszawa.
- Maidment D.R., 2002, *Arc Hydro. GIS for Water Resources*, ESRI Press, Redlands.
- Makowska A., 1973, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Skierniewice*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Molewski P., 2007, *Geotektoniczne i glacydynamiczne uwarunkowania wykształcenia plejstocenu Wysoczyzny Kujawskiej*, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń.
- Piątkowski F., Rokocki J., Dmochowski J., Słupczyński B., 1961, *Atlas kartowania form terenu Polski*, PPWK, Warszawa.
- Piwocki M., 1980, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Łódź*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Placek A., 2008, *Zastosowanie numerycznego modelu terenu w geomorfologii strukturalnej na przykładach z obszaru Sudetów*, [w:] Florek W., Kaczmarzyk J. (red.), *Współczesne problemy geomorfologii*, Landform Analysis, t. 9, Poznań, s. 364–368.
- Rutkowski J., 1995, *O strukturach kierunkowych i sposobach ich przedstawiania*, [w:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), *Badania osadów czwartorzędowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, s. 204–220.

- Słowański W., Piechulska-Słowańska B., Gogołek W., 1995, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Warszawa-Zachód*, Polska Agencja Ekologiczna, Warszawa.
- Szmidt A., 2004, *Wpływ podłoża mezozoicznego na rzeźbę w rejonie doliny Pilicy pomiędzy Inowłodzem a Nowym Miastem nad Pilicą*, [w:] Sołtysik R. (red.), *Czwartorzęd obszaru Polski na tle struktur starszego podłoża*, Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach, nr 13, Kielce, s. 125–139.
- Szmidt A., 2012, *Wpływ podłoża na rzeźbę i osady czwartorzędu na obszarze województwa łódzkiego w świetle wybranych metod GIS*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Łódź.
- Tomczyk A., Ewertowski M., 2009, *Cyfrowe modele wysokościowe w geomorfologii – wprowadzenie*, [w:] Zwoliński Z. (red.), *GIS – platforma integracyjna geografii*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 67–87.
- Tyszkowski S., 2008, *Badania rozwoju osuwisk w rejonie Świecia na podstawie materiałów fotogrametrycznych*, [w:] Florek W., Kaczmarzyk J. (red.), *Współczesne problemy geomorfologii*, Landform Analysis, Vol. 9, Poznań, s. 385–389.
- Urbański J., 2008, *GIS w badaniach przyrodniczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.

EVALUATE THE USEFULNESS OF AUTOMATIC EXTRACTION OF TERRAIN SKELETON LINES IN GEOMORPHOMETRY RESEARCH

The aim of following article is to present and evaluate possibility of automatic extraction of terrain skeleton lines using computational methods from Digital Elevation Model (DEM). Authors describe examples of morphological analysis in geomorphology, difficulty and time-consuming of executing of this kind of research using traditional, manual methods. Topography map of quaternary ground of Lodz Region has been analyzed. Firstly terrain skeleton lines were traced using traditional ways. After that lines were generated and analyzed by using ArcGIS software with ArcHydro and SpatialAnalyst extensions. Both of received maps were compared and evaluated.

Keywords: *terrain skeleton lines, GIS*

Dr Marcin Jaskulski
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji
e-mail: jaskul@geo.uni.lodz.pl

Dr Aleksander Szmidt
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Katedra Geografii Fizycznej
e-mail: olo_mineralny@geo.uni.lodz.pl

Piotr Drop, Paweł Gajewski, Michał Mackiewicz

ZASTOSOWANIE DANYCH OPENSTREETMAP ORAZ WOLNEGO OPROGRAMOWANIA DO BADAŃ DOSTĘPNOŚCI KOMUNIKACYJNEJ W SKALI LOKALNEJ

Autorzy w artykule pragną przedstawić możliwości tkwiące w wykorzystaniu baz OpenStreetMap oraz w zastosowaniu metod dostępnych w wolnym oprogramowaniu do badań nad zagadnieniami dostępności transportowej, skupiając się na skali lokalnej, jaką będzie w tym przypadku miasto Lublin.

Słowa kluczowe: *GIS, dostępność komunikacyjna, OpenStreetMap, Lublin, analiza*

1. Czym jest dostępność transportowa i dane przestrzenne

Pojęcie dostępności transportowej było definiowane w swojej historii na wiele różnych sposobów. Autorzy z krajów zachodnich podjęli badania nad dostępnością (*accessability*) już w latach 70. minionego wieku (Ingram 1971, Moseley 1979). W latach 80. podjęto szerzej metodykę badań opartą na wzajemnych powiązaniach. Stworzono modele oparte na relacjach pomiędzy ośrodkami, między którymi przemieszczała się ludność (Taylor 1986). Następnym etapem ewolucji w badaniu dostępności komunikacyjnej było oderwanie tych badań od aspektu przestrzennego, a przeniesienie głównego ciężaru badań na aspekt czasowy. Odbiorca dostępności transportowej w rzeczywistości nie odczuwa przestrzeni, którą ma pokonać, a bardziej czas i koszty, które są do tego potrzebne. Powoduje to, że badania nad dostępnością powinny zawierać aspekt jakości połączeń, a w przypadku badań nad komunikacją publiczną także nad częstotliwością kursów i połączeń między przystankami (Gadziński 2010). W niniejszym artykule autorzy skupili się na aspekcie wykorzystania danych pochodzących z zasobów OpenStreetMap (OSM), jako wolnego zasobu baz danych informacji przestrzennej, oraz wykorzystania modeli, mogących pracować w środowisku wolnego oprogramowania.

2. Otwarta baza danych OpenStreetMap jako źródło informacji o sieci drogowej

Jednym z problemów przy badaniu dostępności transportowej może być brak danych przestrzennych odnoszących się do sieci drogowej. Przeprowadzenie odpowiednich analiz jest uwarunkowane:

- dostępnością danych – czy dane można w prosty sposób pozyskać,
- aktualnością danych – czy dane są na bieżąco aktualizowane i przedstawiają rzeczywistą sieć dróg w badanym czasie,
- dokładnością i prawdziwością danych – czy zawarte w bazie dane odpowiadają rzeczywistości.

Jeszcze dekadę temu powszechne było przekonanie, że do wykonywania pomiarów ziemi i obrazowania ich wyników na mapie niezbędne jest specjalistyczne wykształcenie i drogi sprzęt (Haklay, Weber 2008). Jednakże postęp techniczny ostatnich lat, w szczególności upowszechnienie tanich i nieskomplikowanych odbiorników GPS, umożliwił pozyskiwanie danych geograficznych także przez niespecjalistów. Ponieważ pomiar dokonywany w ten sposób jest w dużym stopniu zautomatyzowany, ryzyko popełnienia poważnych błędów jest niewielkie (Haklay 2010).

Nastąpiły również przemiany w technologii internetowej. Upowszechnienie łącz szerokopasmowych oraz dynamicznego łączenia stron internetowych z bazami danych dzięki API znacznie uprościło uzupełnianie treści internetowych przez użytkowników, co doprowadziło do powstania nowego modelu korzystania z Internetu: producent-użytkownik (*produser*, jak definiują Coleman i in. 2009). Połączenie tych dwóch możliwości dało początek zupełnie nowemu zjawisku w geografii, a mianowicie ochotniczej informacji geograficznej (*Volunteered Geographic Information, VGI*) (Goodchild 2007). Jednym z najbardziej złożonych i dynamicznie rozwijających się projektów VGI jest OpenStreetMap (Neis i in. 2012).

Projekt OpenStreetMap został zainicjowany w 2004 r. przez Steve'a Coasta z University College of London. Wizją projektu jest stworzenie wolnej i otwartej (w sensie analogicznym, jak w przypadku oprogramowania) mapy świata, którą każdy może edytować. Misją jest dostarczanie zarówno gotowych map, jak i surowych geodanych „wszystkim, którzy tego potrzebują” (OSM 2012).

OSM ma własną, dedykowaną infrastrukturę do przechowywania, udostępniania, przeszukiwania i wizualizacji danych, która według M.F. Goodchilda (2007) może być porównywana z Infrastrukturą Informacji Przestrzennej. Niestety, jest ona niezgodna ze standardami OGC, ponieważ według M. Haklaya i P. Webera (2008) były one „zbyt trudne do pogodzenia z ideą współpracy w stylu Wiki”. Dane przechowywane są w relacyjnej bazie PostgreSQL, bez rozszerzeń przestrzennych. Podstawową jednostką jest węzeł (*node*), który może

występować samodzielnie jako obiekt punktowy bądź też jako część większej całości. Z węzłów zbudowane są drogi (*ways*), które z kolei mogą być liniowe lub powierzchniowe. Wymienione typy mogą wchodzić w skład relacji (*relations*) służących do logicznego połączenia obiektów tworzących większą całość, np. przystanki autobusowe należące do jednej trasy. Dane mają odniesienie przestrzenne w geograficznym układzie współrzędnych WGS84. Dane atrybutowe mają postać tzw. tagów, przechowywanych w układzie klucz:wartość, bez ograniczeń typu ani zawartości. Obowiązującym językiem w definiowaniu atrybutów jest angielski (OSM 2012).

Od początku istnienia projektu kładziono szczególny nacisk na sieć drogową, co znalazło odzwierciedlenie w jego nazwie. Drogi wprowadzane są do bazy jako liniowe *ways*, opatrzone atrybutem *highway*. Podstawowa klasyfikacja dróg w OSM wygląda następująco:

- *motorway* – autostrada,
- *trunk* – droga ekspresowa,
- *primary* – droga pierwszej klasy (w Polsce oznacza się tak drogi krajowe),
- *secondary* – droga drugiej klasy (w Polsce wojewódzka),
- *tertiary* – droga trzeciej klasy (w Polsce powiatowa),
- *unclassified* – droga pozaklasowa (w Polsce gminna),
- *residential* – droga osiedlowa, nieobjęta rygorami strefy zamieszkania,
- *living_street* – droga w strefie zamieszkania,
- *pedestrian* – utwardzona droga tylko dla pieszych,
- *cycleway* – utwardzona droga tylko dla rowerów,
- *service* – droga na wewnętrzne potrzeby przedsiębiorstwa lub gospodarstwa,
- *track* – droga gruntowa,
- *footway* – chodnik,
- *path* – ścieżka.

Do tych danych mogą być dołączone, w postaci kolejnych tagów, informacje dodatkowe. I tak:

- *surface* – definiuje rodzaj nawierzchni,
- *smoothness* – jakość nawierzchni,
- *lanes* – liczbę pasów ruchu,
- *maxspeed* – dopuszczalną prędkość,
- *access* – dopuszczenie do ruchu różnych rodzajów pojazdów.

Warto przy tym zauważyć, że część z danych dostępnych w OSM nie ma wszystkich tagów. Przy badaniu dostępności komunikacyjnej szczególnie istotny jest element zawierający dane dotyczące maksymalnej prędkości, ponieważ może on być elementem, według którego będzie można wyznaczać czas przejazdu po danym fragmencie drogi. Zatem przy stosowaniu podejścia czasowego w dostępności komunikacyjnej należy uzupełnić braki w danych.

Dane OSM w celu wykorzystania w środowisku GIS muszą zostać poddane konwersji na standardowy format. Istnieją dwa podstawowe rodzaje konwerterów:

- przeznaczone do wizualizacji danych – zapisują dane bez zachowania topologii, w tradycyjnym modelu punkt–linia–poligon,
- przeznaczone do analiz sieciowych – zachowują topologię.

Do analiz na sieci drogowej odpowiedniejsze jest wykorzystanie konwerterów drugiego typu. Wśród nich można wymienić programy *osm2pgrouting* oraz *osm2po*, które przekształcają zbiór danych w formacie OSM w graf zgodny z rozszerzeniem *pgRouting* geograficznej bazy danych *PostGIS*.

Wykorzystanie danych VGI implikuje pytanie o ich jakość. Odejście od tradycyjnego modelu – pozyskiwania danych przez profesjonalistów i następnie kontroli jakości – budziło podejrzenia o znacznie niższą jakość informacji typu VGI (Goodchild 2007). Porównania jakości danych OSM z urzędową bazą danych przestrzennych *MERIDIAN 2* dokonał M. Haklay (2010). Dane referencyjne zostały wybrane ze względu na porównywalny zakładany poziom precyzji: w *MERIDIAN* dopuszczalne jest 20 m odchylenia od mapy wielkoskalowej, OSM jest ograniczone dokładnością typowego odbiornika GPS, czyli ok. 5–15 m. Porównanie zostało wykonane na różnych poziomach: dokładności geometrycznej głównych dróg w okolicy Londynu oraz kompletności danych na obszarze Anglii. Obszar badań został wybrany zgodnie z historią projektu – zbadano obszary, które zostały skartowane najwcześniej.

Oceny dokładności geometrycznej dokonano metodą M.F. Goodchilda i G.J. Huntera (1997): wokół referencyjnych obiektów liniowych wyznaczono ekwidystantę 20 m (zgodnie z deklarowanym poziomem precyzji), a wokół badanych obiektów – 1 m. Następnie określono procentowy wskaźnik nakładania się danych. Wyniki wahały się od 59,81% pokrycia dla drogi M2 do 88,80% dla drogi M25, z wartością średnią 80%. Autorzy artykułu przeprowadzili podobne badania dla Lublina, korzystając z danych OSM, udostępnionych w formacie *shp*, oraz bazy dróg urzędu miasta jako bazy referencyjnej. Otrzymano przy tym wysoki wskaźnik, wynoszący 86%, który mówi, że dokładność danych jest bardzo duża. Dodatkowo należy zaznaczyć, że współczynnik ten mógłby być jeszcze wyższy, gdyby nie fakt, iż dane OSM zostały poprowadzone przez środek dróg, a dane UM przez środek pasów drogowych, przez co niektóre obszary widnieją w danych OSM jako błędne, pomimo że w rzeczywistości są bardzo dobrze reprezentowane.

Ocena kompletności została wykonana w regularnej siatce kwadratów o boku 1 km, w których obliczono sumę długości dróg w bazach OSM i *MERIDIAN*. 13,2% kwadratów pozostało pustych, w 61,4% stwierdzono więcej danych z bazy *MERIDIAN*, natomiast w 25,4% więcej danych OSM. Oceniono, że obszary o większym pokryciu OSM to głównie duże miasta oraz tereny, dla

których dostępne jest pokrycie ortofotomap z serwisu Yahoo!, udostępnione jako podkład do wektoryzacji. Ponadto wskazano na dużą dynamikę przyrostu ilości danych OSM.

Zjawisko to zbadali w ujęciu ilościowym P. Neis i in. (2012). Wykonywali oni od stycznia 2007 r. do lipca 2011 r. regularne porównania bazy OSM z bazą danych do nawigacji samochodowej, wykonaną przez firmę TeleAtlas, w odstępach kwartalnych. Terenem badań był obszar Niemiec. Autorzy tych badań wykazali istnienie stałej tendencji wzrostowej długości sieci dróg oraz osiągnięcie w ostatnim okresie badań wskaźników 127% długości dróg ogółem i 91% długości dróg dostępnych dla pojazdów mechanicznych w stosunku do danych referencyjnych.

Dane OSM w czasie wykonywania analizy były publikowane na licencji firmy Creative Commons Attribution – ShareAlike, znanej również jako CC-Wiki. Zezwala ona na kopiowanie, rozpowszechnianie i przerabianie mapy pod warunkiem podania informacji o źródle i licencji oryginału oraz udostępnienia zmienionego utworu na tych samych warunkach. Po 6 września 2012 r. zmieniono ją na inną, odnoszącą się *explicite* do prawa ochrony baz danych licencję pod nazwą Open Database License. Spowodowało to konflikt z innym polskim projektem VGI o nazwie UMP, który nie zgadza się z treścią nowej licencji i zażądał skasowania pochodzących od niego danych. Ponieważ UMP rozwinął się wcześniej, jego dane stanowiły podstawę do utworzenia OSM na obszarze Polski. Wobec braku zgody dane pochodzące z tego źródła zostały w zdecydowanej większości usunięte przez OpenStreetMap Foundation. Dane te są sukcesywnie zastępowane nowymi, pochodzącymi z innych źródeł – w szczególności ortofotomap udostępnionych przez Bing Maps oraz nowych śladów GPS. Dane archiwalne są w dalszym ciągu dostępne na pierwotnej licencji i możliwe do wykorzystania zgodnie z jej zasadami dla obszarów, gdzie jakość nowych danych nadal jest niezadowalająca.

3. Wybrane metody badania dostępności komunikacyjnej

Dostępność zasadniczo opisuje zdolność osoby do osiągnięcia pożądaných towarów, usług, miejsc – ogólnie zwanych „możliwościami” (Litman 2003). Jednakże tę pozornie prostą koncepcję trudno jest precyzyjnie definiować i badać przy użyciu wskaźników ilościowych. K. Geurs i B. van Wee (2004) stwierdzili, że pomimo dużego wpływu, jaki wywiera dostępność komunikacyjna na politykę administracji lokalnej i krajowej, jest to czynnik powszechnie źle rozumiany, źle definiowany i niedokładnie analizowany. Według L. Bertoliniego i F.I. Clercq (2003), dostępność komunikacyjna jest bezpośrednio powiązana z systemem transportowym (np. szybkość przejazdu) oraz planem prze-

strzennym dla obszaru (np. zagęszczenie zabudowy, jej zwartość i relacje przestrzenne). W badaniach naukowych i analizach technicznych stosuje się wiele różnych metod badania dostępności komunikacyjnej – od prostych kalkulacji matematycznych do bardziej złożonych modeli uwzględniających uwarunkowania demograficzne, ekonomiczne, lokalizacji transportu publicznego oraz główne kierunki przemieszczania się ludzi w obrębie badanego obszaru. Dobór metody zależy od skali prowadzonej analizy – inna metoda zostanie wybrana dla badania całego powiatu w skali gminy, aglomeracji, miasta lub dzielnicy. Istnieje stały związek pomiędzy skalą prowadzonych analiz a dokładnością danych, które trzeba pozyskać. W skali powiatu analizie poddano sieć dróg krajowych i wojewódzkich, w skali miasta sieć dróg lokalnych i osiedlowych wraz z głównymi arteriami. W ramach sieci komunikacyjnej wyróżnić możemy podstawowe typy dróg:

- 1) ze względu na prawo własności:
 - a) publiczne (krajowe, wojewódzkie, lokalne);
 - b) prywatne;
- 2) ze względu na rodzaj nawierzchni:
 - a) drogi o nawierzchniach twardych:
 - ulepszone (gładkie): beton, asfalt, kostka;
 - nieulepszone (ostre): tłuczeń, kamień naturalny;
 - b) drogi gruntowe:
 - profilowane i wzmacniane twardym materiałem;
 - profilowane i niewzmacniane;
 - nieprofilowane;
- 3) ze względu na rolę:
 - magistralne (zbiorcze);
 - niezbędnej obsługi;
 - pomocnicze (Bronicka 2005).

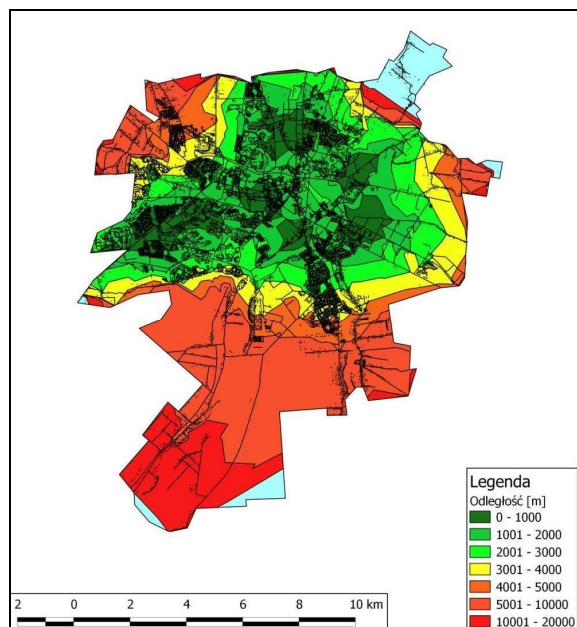
Podstawowymi metodami badania dostępności komunikacyjnej są metody ilościowe (rys. 1–3):

1. Względny obszar dróg – jest to iloraz powierzchni dróg do powierzchni obszaru obsługiwanego przez drogę. Często stosowany na obszarach wiejskich do określenia wielkości straty powierzchni gruntów rolnych kosztem sieci komunikacyjnej.

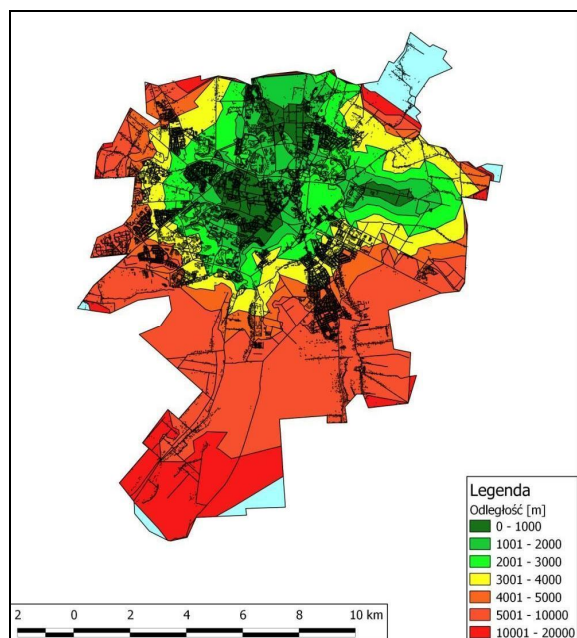
2. Wskaźnik gęstości dróg – to iloczyn długości dróg do powierzchni obsługiwanego przez drogę.

3. Wskaźnik wydłużenia dróg – jest to iloraz średniej odległości rzeczywistej do średniej odległości optymalnej. Za odległość średnią przyjęto prostą linię łączącą punkt docelowy z najbliższą drogą, za odległość rzeczywistą – odległość mierzoną wzdłuż dostępnych szlaków komunikacyjnych.

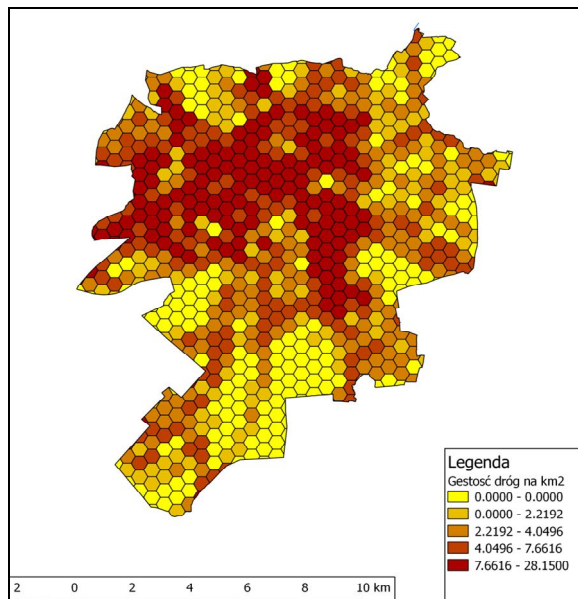
4. Ocena przepływu komunikacyjnego na podstawie badań ankietowych.



Rys. 1. Dostępność drogowa do centrów handlowych dla Lublina
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UM i OSM



Rys. 2. Dostępność drogowa do siedzib uczelni wyższych dla Lublina
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych UM i OSM



Rys. 3. Gęstość dróg w Lublinie

Źródło: opracowanie własne
na podstawie danych UM

Metody te zastosowane z wykorzystaniem Systemów Informacji Przestrzennej (GIS) umożliwiają odniesienie przestrzenne obliczanych danych.

Bardziej kompleksowe podejście prezentują modele uwzględniające większą liczbę czynników. Takim modelem jest LUPTAI, który jest często stosowany przez administrację szczebla lokalnego Australii. Jest to model *open source*, który nie jest dostosowany do żadnego konkretnego pakietu oprogramowania GIS. Istnieje możliwość stosowania modelu we wszystkich aplikacjach desktop GIS, posiadających możliwości analiz sieciowych. Metodyka modelu opiera się na pomiarze dostępności punktów POI, związanych z zaspokajaniem potrzeb nowoczesnego społeczeństwa (służba zdrowia, edukacja, sprzedaż detaliczna, bankowość, miejsca zatrudnienia). Dostępność mierzona jest na podstawie osiągalności punktów samochodem, transportem publicznym lub piechotą. Model ten jako pierwszy uwzględnia komunikację miejską jako ważny czynnik wpływający na dostępność komunikacyjną; nie analizuje punktów docelowych podróży, stojąc tym samym w opozycji do metod opartych jedynie na ekwidystantach i czasie przejazdu. Wynikiem obliczeń jest mapa „łatwości” dotarcia do danych usług wymienionymi środkami transportu zarówno w formie jednoczynnikowej (samochód), jak i łączonej (komunikacja miejska oraz podróż piesza z przystanku). Analizowany obszar podzielony został na pięć klas dostępności: brak dostępności, bardzo słaba dostępność, słaba, średnia i wysoka (Yigitcanlar i in. 2007).

LUPTAI dąży do określenia dostępności danej lokalizacji na podstawie określania czasu podróży oraz pokonywanego dystansu pomiędzy dwoma lokalizacjami, korzystając z transportu publicznego oraz podróży pieszej. Model realizuje analizy oparte na dwóch koncepcjach:

1. Grawitacyjnej interakcji przestrzennej – potencjalna dostępność wyrażona dla dwóch miejsc (start i cel) jest wprost proporcjonalna do atrakcyjności danego miejsca i odwrotnie proporcjonalna do impedancji podróży (Hansen 1959, Lineker, Spence 1992). Ta zależność wyrażana jest wzorem:

$$A_i = \sum_j M_j f(d_{ij}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n,$$

gdzie:

$f(d_{ij})$ – funkcja impedancji,
 m – liczba miejsc początkowych,
 n – liczba miejsc docelowych.

2. Pomiaru na podstawie miejsca docelowego – wyszukiwanie najbliższego miejsca docelowego (wymienione wcześniej POI) lub wyszukiwanie punktów docelowych dostępnych w ramach zadanej odległości lub czasu podróży z miejsca początkowego – tzw. pomiar dostępności skumulowanej (Wachs, Kumagai 1973), wyrażonej wzorem:

$$A_i = \begin{cases} \sum_j M_j & \text{if } d_{ij} \leq L, \\ 0 & \text{if } d_{ij} > L, \end{cases}$$

gdzie:

A_i – dostępność punktu początkowego,
 i, M_j – atrakcyjność punktu docelowego,
 j, d_{ij} – dystans (czas lub koszt) z miejsca początkowego i do celu j ,
 L – zadany limit odległości (czasu lub kosztów).

4. Podsumowanie

Dane dają możliwość szybkiego i bezpłatnego pozyskania informacji przestrzennej dotyczącej dróg. Jednakże informacje te nie nadają się do projektów inżynierskich, lecz wystarczają do zwykłych analiz dostępności transportowej, nawet jeżeli analizy te są przeprowadzone w skali lokalnej, która to wymusza większą precyzję danych. Czasem proces badawczy wymaga uzupełnienia danych. Przy zastosowaniu odpowiednich metod staje się możliwe stworzenie czasowej dostępności komunikacyjnej, bez posilkowania się płatnymi bazami danych bądź komercyjnym oprogramowaniem. Może to ułatwić i przyspieszyć badania dostępności w poszczególnych ośrodkach miejskich. Jednakże na nie-

których obszarach zmiany idące wraz ze zmianą licencji mogły spowodować fragmentację danych i nie zostać do tej pory naprawione. Dlatego do czasu pełnego odtworzenia brakujących danych, przed wykonaniem analizy należy dokonać porównania bazy archiwalnej z aktualną i dobrać wersję o wyższym stopniu kompletności.

Literatura

- Bertolini L., Clercq F.I., 2003, *Urban development without more mobility by car? Lessons from Amsterdam, a multimodal urban region*, „Environment and Planning A”, 35 (4), s. 575–589.
- Bronicka K., 2005, *Ekonomika i organizacja gospodarstw rolnych*, Kraków.
- Coleman D.J., Georgiadou Y., Labonte J., 2009, *Volunteered Geographic Information: The nature and motivation of producers*, „International Journal of Spatial Data Infrastructures Research”, 4 (1), s. 332–358.
- Gadziński J., 2011, *Ocena dostępności komunikacyjnej przestrzeni miejskiej na przykładzie Poznania*, Poznań.
- Geurs K., Wee B. v., 2004, *Land-use/transport interaction models as tools for sustainability impact assessments of transport investments*, „European Journal of Transport and Infrastructure Research”, 6, s. 333–355.
- Goodchild M.F., 2007, *Citizens as voluntary sensors: spatial data infrastructure in the world of Web 2.0*, „International Journal of Spatial Data Infrastructures Research” 2, s. 24–32.
- Goodchild M.F., Hunter G.J., 1997, *A simple positional accuracy measure for linear features*, „International Journal of Geographical Information Systems”, 11, s. 299–306.
- Haklay M., 2010, *How good is volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets*, „Environment and Planning B”, 37, s. 682–703.
- Haklay M., Weber P., 2008, *OpenStreetMap: User-generated street maps*, „IEEE Pervasive Computing”, 7 (4), s. 12–18.
- Hansen W.G., 1959, *How accessibility shapes land use*, „Journal of American Institute of Planners”, 25, s. 73–76.
- Ingram D.R., 1971, *The concept of accessibility: search for an operational form*, „Regional Studies”, 5 (2), s. 101–107.
- Kumagai T., Wachs M., 1973, *Physical accessibility as a social indicator*, „Socio-Economic Planning Sciences”, 7 (5), s. 437–456.
- Lineker B.J., Spence N.A., 1992, *Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London Orbital Motorway on Britain*, „Environment and Planning”, A 24, s. 1137–1154.
- Litman T., 2003, *Measuring transportation: traffic, mobility and accessibility*, „ITE Journal”, 73 (10):www.ite.org.

- Moseley M.J., 1979, *Accessibility: the rural challenge*, London.
- Neis P., Zielstra D., Zipf A., 2012, The street network evolution of crowdsourced maps: OpenStreetMap in Germany 2007–2011, „Future Internet”, 4 (1), s. 1–21.
- Taylor Z., 1986, *How to improve accessibility in rural areas?*, Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR, Leipzig, Wissenschaftliche Mitteilungen, 20, s. 107–117.
- Wachs M., Kumagai J.G., 1973, *Physical accessibility as a social indicator*, „Socio-Economic Planning Sciences”, 7, s. 437–456.
- Yigitcanlar T., Dodson J., Gleeson B.J., N.G. Sipe, 2007, *Travel self-containment in master planned estates: analysis of recent Australian trends*, „Urban Policy and Research”, s. 129–149.

USAGE OF OPEN STREET MAP DATA AND OPEN SOURCE SOFTWARE, FOR ESTIMATING TRANSPORT ACCESSIBILITY AT LOCAL ADMINISTRATION LEVEL

The authors of this paper intend to present the opportunities inherent in the use of the OpenStreetMap database, as well as the methods available for using open source software to study transport accessibility issues. It will focus on a local area near the city of Lublin.

Keywords: *GIS, transport accessibility, OpenStreetMap, Lublin, analysis*

Mgr Piotr Drop
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie,
Zakład Geografii Społeczno-Ekonomicznej
e-mail: pdrop@wp.pl

Mgr Paweł Gajewski
Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie,
Zakład Geologii i Ochrony Litosfery
e-mail: pavelgajewski@gmail.com

Mgr inż. Michał Mackiewicz,
Stowarzyszenie OpenStreetMap Polska, Łódź

SPIS TREŚCI

Iwona Jażdżewska, Jacek Urbański – GIS w nauce	5
– GIS in science	15
Bogumił Szady – Czasowo-przestrzenne bazy danych jako narzędzie w geografii historycznej	17
– Spatio-temporal databases as a tool for historical geography	31
Elżbieta Lewandowicz, Alicja Packa, Szymon Kondratowicz – Przekształcanie danych topologicznych, geometrycznych i atrybutowych GIS do modeli analitycznych	33
– Conversion topological geometric and attribute GIS Data to analytical models ...	44
Piotr Fogel – Wspomaganie procesu tworzenia polityki przestrzennej w gminie poprzez wykorzystanie prostych analiz GIS	45
– Support for the spatial planning process in the community through the use of simple GIS analysis	58
Łukasz Lechowski – Analiza zmian pokrycia terenu wokół autostrad za pomocą metod GIS	59
– Analysis of land cover changes for areas located around the motorways with use of GIS methods	75
Stanisław Mordwa – Zastosowanie GIS w badaniach przestępczości	77
– The application of GIS in crime research	92
Łukasz Kowalski, Anna Łobodzińska – Modelowanie lokalizacji miejsc w przedszkolach w Małopolsce na podstawie dostępności przestrzennej	93
– Modelling location of new places in kindergartens in Małopolska region based on spatial accessibility	105
Jadwiga Brzuchowska – Rozszerzenie możliwości analiz rozkładu przestrzennego kontaktów z wykorzystaniem GIS	107
– Extension of analysis of spatial distribution of contact with the use of GIS	115
Ewa Głosińska, Łukasz Lechowski – An estimation of potential flood losses in the context of floodplain development changes using GIS	117
– Szacowanie potencjalnych strat powodziowych w kontekście zmian zagospodarowania obszarów zalewowych przy wykorzystaniu GIS	132
Grzegorz Walek – Wykorzystanie programów Quantum GIS i SAGA GIS do budowy cyfrowego modelu wysokościowego zlewni Grajcarka	133
– Use of Quantum GIS and SAGA GIS software to build Digital Elevation Model of Grajcarek catchment	144

Marcin Jaskulski, Aleksander Szmidt – Ocena przydatności automatycznego wyznaczania linii szkieletowych terenu do analiz geomorfometrycznych	145
– Evaluate the usefulness of automatic extraction of terrain skeleton lines in geomorphometry research	156
Piotr Drop, Paweł Gajewski, Michał Mackiewicz – Zastosowanie danych OpenStreetMap oraz wolnego oprogramowania do badań dostępności komunikacyjnej w skali lokalnej	157
– Usage of OpenStreetMap data and open source software, for estimating transport accessibility at local administration level	167