

Możliwości wykorzystania programu Fragstats w badaniach środowiska przyrodniczego*

Possibilities for using Fragstats in studies of the natural environment

IWONA ZWIERZCHOWSKA
MAŁGORZATA STĘPNIEWSKA
DAMIAN ŁOWICKI

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,
61-680 Poznań, ul. Dziegiełowa 27;
izwierz@amu.edu.pl stepniew@amu.edu.pl damek@amu.edu.pl

Zarys treści. Artykuł przedstawia możliwości zastosowania programu Fragstats w naukach przyrodniczych i ich praktycznych aplikacjach. Poprzez przegląd literatury polskiej i zagranicznej oraz egzemplifikację badaniami autorów z wykorzystaniem tego programu, tekst ma pomóc w jego upowszechnieniu. Autorzy wskazują na źródła pozyskania obrazów do analizy i sposoby ich obróbki, a także ograniczenia w zastosowaniu. Opracowanie składa się z trzech części. W pierwszej przedstawiono ogólne założenia programu Fragstats oraz opisano jego najważniejsze funkcje. Druga część zawiera przegląd literatury polskiej i zagranicznej dotyczącej wykorzystania programu w badaniach różnych aspektów środowiska przyrodniczego. W części trzeciej prezentuje się badania autorskie, pokazujące zastosowanie programu zarówno w metodyce badań krajobrazu, jak i w praktyce.

Słowa kluczowe: analiza krajobrazu, Fragstats, Wielkopolska, regionalizacja krajobrazowa, tereny zielone, gospodarka ściękowa.

Wstęp

Rozwój telemetrycznych i kartograficznych metod badań otaczającej nas przestrzeni przyczynił się do szybkiego wzrostu ilości informacji o niej. Wraz ze wzrostem liczby zobrazowań powstał problem ich przetwarzania i interpretacji. Cyfrowa postać danych daje możliwość ich analizy za pomocą komputera i znacznie przyspiesza, a niekiedy w ogóle umożliwia jej przeprowadzenie.

* Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2010 jako projekt badawczy N N305 065337 i w latach 2009–2011 jako projekt badawczy N N305 049136.

W związku z tym powstały liczne programy i rozszerzenia umożliwiające statystyczną obróbkę tych danych i ułatwiające ich interpretację. Wyniki uzyskane w tych programach można stosować w sposób bezpośredni, jako charakterystyki struktury przestrzennej, albo nadawać im interpretację funkcjonalną lub przyczynowo-skutkową (Solon, 2007b). Wiele z tych programów ma charakter niekomercyjny. W obszarze badań przyrodniczych są to np. Leap II, Spatial Scaling czy SIMMAP lub też rozszerzenie tematyczne dla ArcGIS o nazwie PatchAnalyst. Jednym z pierwszych, najbardziej rozbudowanym i jednocześnie ugruntowanym w teorii programem tego typu jest Fragstats. Program ten służy do badania struktury krajobrazu, ale jego zastosowanie praktyczne sięga dużo dalej. Jak pokazuje przegląd dotychczasowych zastosowań zawarty w tym artykule, na świecie jest on bardzo popularnym narzędziem badań w naukach przyrodniczych. Ze względu na przystępność wynikającą z obudowy teoretycznej oraz bezpłatnego stosowania, program ma bardzo duży potencjał aplikacyjny, zwłaszcza w zarządzaniu środowiskiem. Dostrzegając te możliwości i jednocześnie niewielką skalę wykorzystania w Polsce, autorzy przedstawili przykłady jego zastosowań w badaniach środowiska przyrodniczego.

Wprowadzenie do programu Fragstats

Autorami programu są K. McGarigal i B.J. Marks (1995). Obecnie funkcjonuje jego wersja 3.3, która – w przeciwieństwie do poprzedniej – umożliwia analizy tylko obrazów rastrowych. Program, jak również cała dokumentacja do niego, składająca się z części teoretycznej, technicznych wskazówek dla użytkowników oraz opisu metryk krajobrazu, dostępne są bezpłatnie na stronie <http://www.umass.edu/landeco/research/Fragstats/Fragstats.html>.

Program umożliwia badanie struktury krajobrazu w dwóch płaszczyznach. Pierwsza z nich to analiza kompozycji krajobrazu. Jej miary opisują zróżnicowanie płątów pokrycia terenu w obrębie krajobrazu, biorąc pod uwagę jedynie liczbę jego składowych. Najprostszymi miarami kompozycji krajobrazu są: liczba typów pokrycia oraz powierzchniowy udział każdego z typów w krajobrazie. Jedną z bardziej skomplikowanych miar jest wskaźnik Shannona, który opisuje prawdopodobieństwo, że dwa przypadkowo wybrane piksele będą reprezentowały różne typy pokrycia terenu. W przeciwieństwie do miar kompozycji, miary konfiguracji opisują przestrzenną orientację elementów krajobrazu. Można je podzielić na metryki powierzchni i granic płątów, kształtu, wnętrza płątu, izolacji, połączeń, kontrastu, podziału oraz zróżnicowania. Pierwsze z nich opisują liczbę i rozmiar płątów, a także długość granic pomiędzy nimi, która ma decydujące znaczenie w kształtowaniu tzw. efektu krawędzi. Wskaźniki kształtu charakteryzują płąty pod względem wzajemnych relacji obwodu i powierzchni, dając obraz skomplikowania ich formy. Metryki wnętrza płątu opisują jego rdzeniową część, znajdującą się w zdefiniowanej przez użytkownika odległości

od jego krawędzi. Wskaźniki izolacji i połączeń określają odległości pomiędzy płatami tego samego typu, decydujące np. o możliwości kontaktowania się różnych populacji i możliwości wymiany genów. Metryki kontrastu granic pozwalają badaczowi określić typ sąsiedztwa pomiędzy płatami a ich otoczeniem – jest to istotne m.in. dla kształtowania się lokalnych warunków klimatycznych. Wskaźniki podziału opisują tendencję płatów tego samego typu (a jednocześnie populacji je zamieszkujących) do grupowania się w przestrzeni, znaczącą w rozprzestrzenianiu się chorób. Wreszcie wskaźniki zróżnicowania opisują liczbę płatów różnego typu oraz ich rozkład w krajobrazie. Istnieją trzy typy metryk: dla pojedynczych płatów, klas płatów (np. typów pokrycia terenu) oraz całych regionów (np. krajobrazów). Niektóre charakterystyki służą do badań zarówno pojedynczych płatów, jak i klas płatów oraz regionów (np. wskaźniki kształtu czy kontrastu granic), inne tylko do klas płatów i regionów (wskaźniki połączeń), jeszcze inne opisują region jako całość (wskaźniki zróżnicowania płatów).

Plikami wejściowymi w wersji 3.3 programu Fragstats są kategoryzowane obrazy rastrowe. Obok zwykłych plików binarnych program obsługuje także pliki wygenerowane w programach GIS takie jak ArcGrid, ERDAS czy IDRISI. Fragstats umożliwia analizę pojedynczych obrazów lub całych grup obrazów. W pierwszym przypadku w parametrach procesu należy wpisać liczbę kolumn i wierszy oraz wielkość piksela (pliki binarne w kodowaniu 8-, 16- i 32-bitowym i ASCII) oraz wartość pikseli stanowiących tło lub brak danych (wszystkie formaty). W opcji grup obrazów wszystkie te parametry powinny być zawarte w ścieżkach dostępu do plików wejściowych sporządzonych w dostępnym w programie edytorze lub w pliku tekstowym. W tym przypadku najlepiej jest umieścić katalog z plikami wejściowymi bezpośrednio na dysku C.

Przegląd dotychczasowych badań

Program Fragstats znalazł zastosowanie i w teoretycznych, i w praktycznych badaniach środowiska przyrodniczego. Prezentowane przykłady uporządkowano według poruszanej problematyki, ukazując przydatność programu do badań struktury przestrzennej środowiska przyrodniczego oraz do rozwiązywania problemów związanych z jego ochroną. Przedstawione opracowania dotyczą określenia obecnego stanu środowiska, a także zaszłych i prognozowanych zmian w czasie.

Program został wykorzystany w diagnozie kompozycji i konfiguracji płatów roślinności. J.J. Swenson i J. Franklin (2000) ocenili potencjalny stopień fragmentacji różnych typów roślinności, L. Zhang i H. Wang (2006) wykorzystali metryki krajobrazu do analizy struktury przestrzennej układu zieleni i planowanych zmian w Xiamen Island, a T. Giętkowski (2010) – do oceny zmian lesistości Borów Tucholskich w latach 1938–2000.

Fragmentacja krajobrazu w myśl teorii wysp i teorii metapopulacji ma istotne znaczenie dla różnorodności biologicznej, wpływa bowiem na skład i rozmieszczenie gatunków. W kontekście powiązania struktury krajobrazu z bioróżnorodnością, badania przeprowadzili m.in. K. McGarigal i W.C. McComb (1995), L. Brotons i inni (2003), M.I. Westphal i inni (2003) oraz N. Koper i F. Schmiegelov (2006).

T. Langanke i inni (2005) wykorzystali program do monitoringu bioróżnorodności na obszarach NATURA 2000. Fragstats znalazł także zastosowanie w ocenie obszarów wartościowych przyrodniczo, aby wyznaczyć te najbardziej predestynowane do ochrony (Bayliss i inni, 2003).

M. Alberti i inni (2007) oraz M. Alberti (2005) zastosowali analizę struktury krajobrazu do oceny ekosystemów wód płynących (na podstawie makrobezkręgowców wodnych) i różnorodności gatunków ptactwa. F.R. Kearns i inni (2005), opierając się na strukturze krajobrazu, ocenili wpływ użytkowania terenu na funkcjonowanie cieków wodnych, a H.L. Rustigian i inni (2003) określili związki między intensywnością rolniczego użytkowania terenu a zagrożeniami dla wybranych gatunków płazów w oczkach śródpolnych i na terenach podmokłych.

Jeszcze inne wykorzystanie programu Fragstats zaproponowali B.W. Duncan i P.A. Schmalzer (2004), oceniając związek pomiędzy użytkowaniem terenu a rozprzestrzenianiem się pożarów.

H.P. Minh i Y. Jamaguchi (2008) badali wpływ różnych podejść do planowania miast i modeli urbanizacji na przekształcenia krajobrazu terenów miejskich na przykładach Hanoi, Nagoya, Connecticut i Shanghai, a S. Berling-Wolff i J. Wu (2004) prognozowali zmiany struktury krajobrazu przy różnych scenariuszach rozwoju zabudowy. Wpływ urbanizacji na strukturę krajobrazu badali także J.N. DiBari (2007), M. Herold i inni (2005), L.M. Olsen i inni (2007) oraz S.A. Abdullah i N. Nakagoshi (2006). Metryki krajobrazu były również stosowane do analizy zróżnicowania kompozycji i konfiguracji krajobrazu wzdłuż gradientu miejsko-wiejskiego (Hahs i McDonell, 2006, Luck i Wu, 2002, Xie i inni, 2006), co – jak twierdzą F. Kong i N. Nakagoshi (2006) – jest efektywną metodą określania ekologicznych i społeczno-ekonomicznych funkcji zieleni.

Program Fragstats może być również wykorzystywany do analizy obszarów mocno przekształconych pod wpływem działalności człowieka. Udowodnili to F. Herzog i A. Lausch (1999, 2001) oraz F. Herzog i inni (2001), wykorzystując go do monitoringu zmian krajobrazu, spowodowanych wydobywaniem węgla brunatnego i intensyfikacją rolnictwa w Saksonii, w Niemczech.

Kolejnym obszarem wykorzystania programu Fragstats jest wspomaganie oceny struktury oraz typologii i regionalizacji krajobrazu. Na przykład X. Li i inni (2001) dokonali oceny struktury krajobrazu w północno-zachodnich Chinach. W Polsce przykładem takiego podejścia są badania T. Giętkowskiego (2006) dotyczące okolic Tucholi i D. Łowickiego (2008) dla Niziny Wielkopol-

sko-Kujawskiej. Z kolei J. Solon (2005) wykorzystał metryki krajobrazu do oceny mikrokrajobrazów roślinnych na odcinku doliny Wisły, wykazując możliwość ich zastosowania w procesie regionalizacji geobotanicznej. Inne opracowania J. Solona prezentują wykorzystanie metryk do oceny różnorodności krajobrazu na podstawie analizy struktury przestrzennej roślinności (2002) oraz oceny struktury przestrzennej obszarów wiejskich z punktu widzenia ekologiczno-krajobrazowego (2007a). Dyskusję możliwości zastosowania metryk krajobrazu w badaniach nad georóżnorodnością przeprowadzili R. Kot i K. Leśniak (2006).

Przykłady zastosowań

Kryteria wydzielenia krajobrazowych

Poniżej zaprezentowano możliwości zastosowania programu Fragstats do oceny przydatności poszczególnych cech krajobrazu do wyróżniania krajobrazowych jednostek przestrzennych. Przyjęto założenie, że cechy te powinno charakteryzować jak największe przestrzenne skupienie, które pozwala wnioskować, że wartość cechy w jednym polu podstawowym jest związana z wartością tej cechy w polach je otaczających (Bivand, 1980), co w statystyce nazwano autokorelacją przestrzenną. Jedną ze statystyk pozwalających mierzyć tę cechę jest statystyka globalna I Morana. Analizę tę oparto na macierzy wag przestrzennych według kryterium odwrotnej odległości. Istotna dodatnia autokorelacja przestrzenna świadczy o występowaniu klastrow podobnych wartości, natomiast istotna niska autokorelacja wskazuje na istnienie klastrow różnych wartości (Kopczewska, 2007). Autor przebadiał zróżnicowanie 66 cech krajobrazu w 324 mezo-regionach Polski (Kondracki, 2001). Cechy te dotyczyły udziału form pokrycia terenu, wskaźników rozkładu przestrzennego płatów poszczególnych typów pokrycia oraz zróżnicowania rzeźby w krajobrazie każdego z mezo-regionów. Dane dotyczące rzeźby pozyskano z Numerycznego Modelu Terenu (DTED2), a informacje o pokryciu terenu pochodzą z mapy Corine Land Cover 2000. Dane o mezo-regionach przygotowano w programie ArcGIS 9.3, wykorzystując narzędzie HawtsTools do przycięcia mapy rastrowej pokrycia terenu mapą wektorową jednostek fizycznogeograficznych, a następnie poddano analizie w programie Fragstats. Samą analizę autokorelacji również przeprowadzono w programie ArcGIS 9.3.

W tabeli 1 zestawiono 17 cech krajobrazu, dla których wskaźnik I Morana był istotny. Mezoregiony tworzą wyraźne klastry pod względem takich cech krajobrazu jak liczba płatów (NP) i ich przeciętna wielkość (AREA MN), gęstość płatów (PD), liczba płatów różnego typu (PR) oraz ich gęstość (PRD). Mezoregiony są także zagregowane pod względem wskaźników kształtu zarówno poszczególnych płatów (SHAPE), jak i całych krajobrazów (PAFRAC). Wysoki wskaźnik I Morana jest charakterystyczny dla cech związanych ze zagregowaniem płatów (COHESION, CONNECT, PLADJ oraz AI) oraz wskaźnikiem długości

Tabela 1. Statystyki globalne *I* Morana dla cech krajobrazu w mezoregionach fizycznogeograficznych Polski istotne statystycznie na poziomie 0,01
Global Moran *I* statistics for landscape features in the natural mesoregions of Poland, statistical significance level 0.01

Cechy krajobrazu <i>Landscape features</i>	Objaśnienie <i>Description</i>	Wskaźnik <i>I</i> Morana <i>I Moran's index</i>
Rozwinięcie rzeźby <i>Complexity of relief</i>	stosunek powierzchni rzeczywistej mezoregionu do jego powierzchni topograficznej	0,17
Udział wrzosowisk i zakrzaczeń <i>Share of heathland and scrub</i>	udział niskich i zwartych formacji roślinnych występujących w piętrach alpejskich roślinności wysokogórskiej, składających się głównie z krzaków, krzewinek i roślin zielnych (wrzosów, jeżyn, janowca ciernistego, jałowca, szczodrzeńca itp.)	0,23
SHAPE	wskaźnik kształtu	0,33
AI	wskaźnik agregacji płatów	0,36
DCAD	liczba stref rdzeniowych płatów (wewnętrznych stref płata oddalonych od granicy płata o min. 1 km) przypadająca na jednostkę powierzchni	0,38
NP	liczba płatów	0,38
PAFRAC	wskaźnik kształtu	0,39
PLADJ	wskaźnik agregacji płatów	0,42
PD	liczba płatów przypadająca na jednostkę powierzchni	0,46
Udział złożonych systemów upraw i działek <i>Share of complex cultivation patterns</i>	udział terenów z mozaiką przylegających do siebie małych działek wykorzystywanych pod różne uprawy jednoroczne i trwałe	0,46
PR	liczba typów pokrycia terenu	0,47
AREA MN	średnia powierzchnia płata	0,48
COHESION	wskaźnik przestrzennej spójności płatów	0,49
Zakres wysokości <i>Range of elevation</i>	różnica wysokości pomiędzy najwyższym i najniższym punktem	0,51
LSI	wskaźnik kształtu krajobrazu	0,53
CONNECT	stosunek liczby płatów tego samego typu w promieniu 1 km od płata do liczby wszystkich płatów tego typu w krajobrazie	0,74
PRD	liczba typów pokrycia terenu przypadających na jednostkę powierzchni	1,25

Opracowanie własne / Authors' own calculations.

granic w krajobrazie (LSI). Duże skupienie przestrzenne wykazują mezoregiony w odniesieniu do cech rzeźby. Chodzi głównie o różnicę wysokości pomiędzy najwyższym i najniższym punktem w danej jednostce fizycznogeograficznej (zakres wysokości) oraz o stosunek powierzchni rzeczywistej mezoregionu do jego powierzchni topograficznej (rozwnięcie rzeźby).

Wyniki badań wskazują na duże zróżnicowanie cech krajobrazu pod względem jednorodności przestrzennej, a tym samym przydatności do wyróżniania jednostek krajobrazowych. Wśród cech brak jest takich, które wykazują istotną ujemną autokorelację przestrzenną; świadczy to o tym, że mezoregiony o podobnych cechach krajobrazu mają raczej tendencję do skupiania się w przestrzeni lub też ich rozkład jest losowy. Największą przydatność do regionalizacji krajobrazu wykazuje konfiguracja elementów krajobrazu mierzona gęstością płatów, zwłaszcza gęstością płatów różnego typu. W analizach dotyczących całej Polski przydatne są również cechy rzeźby terenu takie jak zakres wysokości. Kompozycja krajobrazu mierzona udziałem poszczególnych typów pokrycia terenu okazała się być cechą mało przydatną w regionalizacji krajobrazu Polski.

Fragmentacja terenów zieleni w miastach województwa wielkopolskiego

Urbanizacja jest jedną z przyczyn fragmentacji terenów zieleni (Makomska-Juchiewicz, 2007; Jomaa i inni, 2007; Girvetz i inni, 2007). Analiza terenów zieleni w miastach, pod kątem stopnia ich fragmentacji, może służyć do wyjaśnienia procesów zachodzących na tych obszarach oraz ich następstw w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego. W tym kontekście program Fragstats został wykorzystany do diagnozy zróżnicowania terenów zieleni w wielkopolskich miastach, pod względem ich kompozycji i konfiguracji, której szersze wyniki przedstawiła I. Zwierzchowska (2008).

Przedmiotem badań było 109 miast województwa wielkopolskiego, rozpatrywanych w ujęciu granic administracyjnych (2003 r.). Stopień fragmentacji został określony przy zastosowaniu programu Fragstats 3.3, na podstawie danych kartograficznych o pokryciu terenu – Corine Land Cover (za 2000 r.), które zostały sprowadzone do formatu rastrowego ArcGRID (50x50m). Charakter wykorzystanych danych pozwolił na przeprowadzenie ogólnej analizy na poziomie regionalnym, ograniczając ją do terenów zieleni o powierzchni co najmniej 25 ha. Analizy kompozycji terenów zieleni dokonano na podstawie ich powierzchni i procentowego udziału w powierzchni miasta. Posługując się literaturą przedmiotu (McGarigal i Marks, 2002; Langanke i inni, 2005; Botequilha i Ahern, 2002; Buyantuyev i Wu, 2007; DiBari 2007; Hargis i inni, 1998), do analizy konfiguracji wybrano cztery metryki krajobrazu: gęstość płatów, średnią odległość między płatami, średnią powierzchnię płata oraz wskaźnik kontrastu zainwestowania terenów sąsiednich. Metryki te zostały przeanalizo-

wane w odniesieniu do pięciu typów terenów zieleni: lasów, łąk i pastwisk, zieleni urządzonej, zespołów roślinności drzewiastej i krzewiastej oraz obszarów podmokłych. Aby w pełni móc ocenić stan fragmentacji terenów zieleni, każdą metrykę należy interpretować w powiązaniu z innymi, albowiem interpretacja indywidualnych wskaźników często daje niejednoznaczne wyniki.

Łąki i pastwiska oraz lasy zidentyfikowano w ponad 70% miast, a zieleni urządzonej w 27,5% miast. Pozostałe tereny zieleni występują tylko w 5,5% miast i są mało istotne dla dalszej diagnozy. Analizę fragmentacji przeprowadzono wobec miast, w których zidentyfikowano występowanie danych typów zieleni o powierzchni płyta co najmniej 25 ha. Jak się okazało, najkorzystniejszą konfigurację w miastach mają lasy, bowiem – przy największej powierzchni całkowitej – charakteryzuje je największa średnia wielkość płyta, najmniejsza odległość między płytami i stosunkowo niewielki wskaźnik kontrastu zainwestowania z terenami sąsiednimi (tab. 2). Natomiast wskaźnik gęstości płytów, którego wyższa wartość przy niewielkiej powierzchni wskazuje na niekorzystne rozdrobnienie, w przypadku lasów wynika z ich powierzchni całkowitej, większej niż innych typów zieleni.

W miastach, w których zidentyfikowano występowanie danego typu terenów zieleni, średni udział łąk i pastwisk jest zbliżony do średniego udziału lasów, jednak ich średnia powierzchnia jest ponad dwukrotnie mniejsza. Przy mniejszej średniej powierzchni płyta łąk i pastwisk, większa jest odległość między ich płytami, kontrast zainwestowania terenów sąsiednich oraz gęstość płytów, co wskazuje na większy stopień fragmentacji.

Jeszcze mniej korzystną konfigurację mają tereny zieleni urządzonej, których niewielki udział przy relatywnie dużej powierzchni, wraz z mniejszą gęstością płytów, wskazuje na ich występowanie głównie w dużych miastach. O dużym stopniu fragmentacji świadczy niewielka średnia powierzchnia płyta, większa odległość między płytami oraz bardzo wysoki kontrast z terenami sąsiednimi, wskazujący na występowanie zieleni urządzonej w bezpośrednim otoczeniu terenów zainwestowanych.

Podsumowując można stwierdzić, że największy stopień rozdrobnienia i izolacji terenów zieleni urządzonej wiąże się z ich obecnością w sąsiedztwie terenów intensywnie zainwestowanych w największych wielkopolskich miastach. Problem fragmentacji w mniejszym stopniu dotyczy lasów. Niepokojące są natomiast rozdrobnienie i izolacja terenów łąk i pastwisk, zwłaszcza że ich ochrona skupiająca się dotychczas na ograniczaniu przeznaczania tych gruntów na cele nierolnicze – zgodnie z *Ustawą z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych* wraz z jej nowelizacją (*Ustawa z dnia 19 grudnia 2008 r. o zmianie ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych*) – w granicach administracyjnych miast została zniesiona.

Tabela 2. Średnie wartości cech kompozycji i konfiguracji terenów zieleni dla miast województwa wielkopolskiego, w których zidentyfikowano występowanie poszczególnych typów zieleni
 Mean composition and configuration values for green areas in the cities/towns of Wielkopolska, in which particular types of green space were identified

Typ terenów zieleni <i>Type of green areas</i>	Liczba miast* <i>Number of cities</i>	Powierzchnia <i>Surface area (ha)</i>	Udział <i>Proportion (%)</i>	Gęstość płatów <i>Patch density (number of patches per 100 ha)</i>	Średnia powierzchnia plata <i>Mean patch area (ha)</i>	Średnia odległość między płatami <i>Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (m)</i>	Średni kontrast krańdźwi <i>Mean Edge Contrast Index (%)</i>
Zieleń urządzona <i>Artificial, non-agricultural vegetated areas</i>	30	148,12	4,05	0,13	39,47	889,62	64,67
Łąki, pastwiska <i>Grasslands, pastures</i>	79	131,71	11,08	0,34	49,75	873,29	45,16
Lasy <i>Forests</i>	78	312,66	11,24	0,34	73,13	700,86	31,92
Zespoły roślinności drzewiastej i krzewiastej <i>Scrub and herbaceous vegetation</i>	6	27,54	3,34	0,14	27,29	1229,84	31,80
Obszary podmokłe <i>Inland wetlands</i>	6	117,25	6,26	0,16	66,81	2483,40	39,74

* Liczba miast, w których zidentyfikowano występowanie danego typu terenów zieleni o powierzchni co najmniej 25 ha.
 Number of cities in which particular types of green space of at least 25 ha were identified.

Opracowanie własne / Authors' own calculations.

Z uwagi na regionalny charakter badań otrzymane wyniki mogą służyć do porównania miast, jednakże poszczególne przypadki wymagają bardziej szczegółowej analizy w skali lokalnej.

Osadnicze uwarunkowania rozwoju gospodarki ściekowej. Przykład Wielkopolski

W kolejnym przykładzie przedstawiono możliwość wykorzystania programu Fragstats do określenia zróżnicowania wielkości, koncentracji i kształtów zabudowy na potrzeby programowania rozwoju gospodarki ściekowej. Struktura osadnicza uznawana jest za najważniejsze kryterium wyboru systemów kanalizacyjnych, gdyż w zależności od odległości między budynkami i ilości wytwarzanych ścieków różnie kształtują się koszty inwestycyjne i eksploatacyjne planowanych inwestycji (Błażejowski, 2003; Matz, 2007).

Analizę zróżnicowania struktury zabudowy przeprowadzono dla gmin wiejskich i terenów wiejskich w gminach miejsko-wiejskich województwa wielkopolskiego, które cechują się jeszcze znacznymi zaniedbaniami w zakresie gospodarki ściekowej. Badania oparto na wektorowej Mapie Sozologicznej Polski w skali 1:50 000. Dane wektorowe przekształcono do formatu rastrowego o wielkości piksela 50×50 m w programie ArcGIS 9.3. Metryki krajobrazu obliczono używając programu Fragstats.

Wyboru metryk krajobrazu do charakterystyki płatów zabudowy dokonano na podstawie następujących kryteriów:

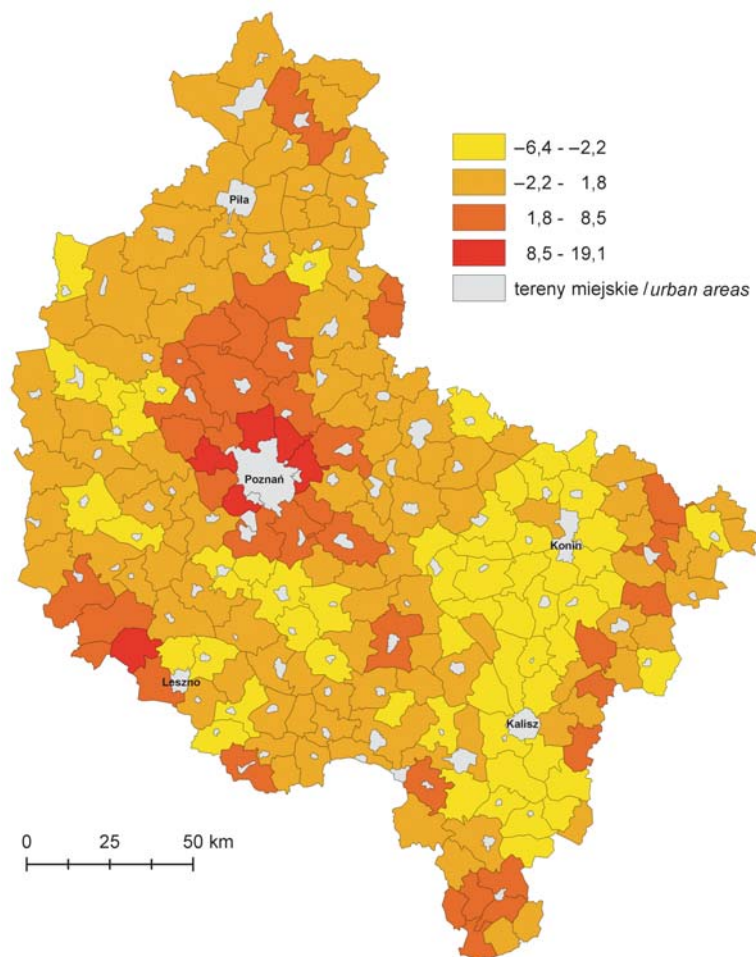
- 1) teoretyczne uzasadnienie (Li i Wu, 2004; Perry i inni, 2002) – wybór metryk opisujących cechy zabudowy istotne dla gospodarki ściekowej;
- 2) korelacja z analizowaną cechą na obszarze badań (Bailey i inni, 2007; Gulinck i inni, 2001) – dla poszczególnych metryk obliczono korelację Perasona z liczbą mieszkańców korzystających z sieci kanalizacyjnej, cechującą się poziomem istotności $p < 0,05$;
- 3) brak korelacji wyższej niż $\pm 0,9$ z innymi metrykami (Riitters i inni, 1995; Ernoult i inni, 2006), o poziomie istotności $p < 0,05$; w przypadku grup metryk korelujących ze sobą $\geq 0,9$, wybierano tę metrykę, dla której uzyskano najwyższą korelację w punkcie 2.

Taka procedura pozwoliła wyłonić spośród listy metryk krajobrazu dostępnych w programie Fragstats zestaw statystyk, które są najbardziej przydatne z punktu widzenia założonego celu. Wybrany zestaw metryk objął: średnią (AREA MN) i całkowitą (CA) powierzchnię płatów zabudowy, gęstość granic (ED), wskaźnik bliskości (PROX) i wskaźnik agregacji płatów (MESH).

Wartości wszystkich pięciu metryk poddano standaryzacji względem średniej wojewódzkiej i, po zmianie znaku w przypadku gęstości granic, zsumowano w zbiorczy wskaźnik osadniczych uwarunkowań rozwoju gospodarki ściekowej w gminach (ryc. 1). Im wyższa wartość wskaźnika, tym większa powierzchnia

zabudowy w gminie (sumaryczna i przeciętna płyta), zabudowa bardziej skoncentrowana, a poszczególne płyty zabudowy bardziej zagregowane.

Największą wartość rozpatrywany wskaźnik osiąga w powiecie poznańskim (7,6). Ponadprzeciętnymi (tj. powyżej 0,0) w województwie wartościami wskaźnika odznaczają się także powiaty: obornicki (4,5), wolsztyński (3,9), kępiński (3,1), leszczyński (2,7), wągrowiecki (1,7), jarociński, szamotulski, złotowski (po 0,7), średzki, czarnkowsko-trzcianecki (po 0,3), kolski (0,2) oraz pільski (0,1).



Ryc. 1. Wskaźnik osadniczych uwarunkowań rozwoju gospodarki ściekowej w gminach na terenach wiejskich Wielkopolski

Index of settlement-related conditions for the development of sewage management in communes of rural areas of Wielkopolska

Największą całkowitą powierzchnię płątów zabudowy (863,6 ha) i najmniejszą, korzystną z punktu widzenia budowy kanalizacji zbiorczej, gęstość ich granic (140,0 m/ha) odnotowano w powiecie obornickim. Dla powiatu poznańskiego uzyskano najwyższe wartości średniej powierzchni płąta (25,7 ha), wskaźników bliskości (7,1) oraz agregacji (84,1 ha).

Wykorzystanie metryk krajobrazu pozwoliło scharakteryzować poszczególne płąty zabudowy oraz relacje przestrzenne między nimi. W literaturze polskiej przeglądu metod badań koncentracji zabudowy i kształtów wsi dokonał już w latach 1970. M. Chilczuk (1975). W badaniach o charakterze regionalnym powszechnie bazowano jednak na danych statystycznych nie oddających relacji przestrzennych, choć względnie łatwo dostępnych. Przedstawiona analiza pozwala ocenić strukturę osadniczą w gminach pod kątem rozwoju systemów kanalizacyjnych. Gminy o najwyższej wartości rozpatrywanego wskaźnika predestynowane są do rozwoju kanalizacji zbiorczej. W przypadku gmin o niższych wartościach wskaźnika celowe jest rozważenie zastosowania alternatywnych sieci kanalizacyjnych (ciśnieniowych bądź podciśnieniowych) lub systemów indywidualnych (zbiorników bezodpływowych, oczyszczalni przydomowych).

Podsumowanie

Jak ukazują powyższe przykłady, możliwości wykorzystania programu Fragstats w badaniach środowiska są szerokie. Możliwość łatwego wykorzystania do analiz cyfrowych (Botequilha i inni, 2008) czyni go cennym narzędziem badań ilościowych. Jednakże, podobnie jak w przypadku innych programów bazujących na metrykach krajobrazu, należy mieć na uwadze ograniczenia z nimi związane, takie jak:

- brak uniwersalnej miary różnorodności struktury krajobrazu – pojedyncze metryki analizowane oddzielnie dają często niejednoznaczne wyniki, stąd konieczność wypracowania uzupełniających się i wzajemnie powiązanych zestawów metryk (Richling i Lechnio, 2005);
- konieczność rozpoznania adekwatności metryk i danych kartograficznych dla rozpoznawanego procesu, szczególnie jeżeli podstawowym kryterium ich wyboru jest współczynnik korelacji (Li i Wu, 2004), który nie zawsze świadczy o występowaniu związku przyczynowo-skutkowego;
- wpływ przyjętej skali przestrzennej na obraz struktury krajobrazu (Wu, 2004; Griffith i inni, 2000) i w rezultacie na wyniki badań (Wu i Marceau, 2002; Lausch i Herzog, 2002); dobór skali powinien wynikać z postawionego problemu badawczego;
- niewyjaśnione zachowanie niektórych metryk krajobrazu w różnych skalach (Hargis i inni, 1998);
- czułość metryk na zmiany liczby tematycznych wydzieleń i ich klasyfikację (Wickham i inni, 1997; Buyantuyev i Wu, 2007).

Pomimo tych niedogodności odpowiednio dobrane do badanego procesu metryki pozwalają na diagnozę jego przyczyn i skutków oraz pozwalają na podjęcie działań zaradczych. Zaletą programu Fragstats jest możliwość obliczania ponad stu metryk, choć interpretacja tak dużej liczby wskaźników wymaga od użytkownika zarówno wiedzy z zakresu problematyki badawczej, jak i znajomości matematyki. Jak zauważają McGarigal i inni (1995), program Fragstats „jest tak dobry, jak jego użytkownik”. Pokonanie powyższych trudności umożliwia jednak obliczenia metryki dla wielu regionów jednocześnie, przy wykorzystaniu różnych formatów danych. Ponadto dużą zaletą jest wolny dostęp do programu, niewymagającego współpracy z innym oprogramowaniem GIS.

Piśmiennictwo

- Abdullah S.A., Nakagoshi N., 2006, *Changes in landscape spatial pattern in the highly developing state of Selangor, peninsular Malaysia*, Landscape and Urban Planning, 77, 3, s. 263–275.
- Alberti M., 2005, *The effects of urban patterns on ecosystem function*, International Regional Science Review, 28, 2, s. 168–192.
- Alberti M., Booth D., Hill K., Coburn B., Avolio Ch., Coed S., Spirandelli D., 2007, *The impact of urban patterns on aquatic ecosystems: An empirical analysis in Puget lowland sub-basins*, Landscape and Urban Planning, 80, 4, s. 345–361.
- Bailey D., Herzog F., Augenstein I., Aviron S., Billeter R., Szerencsits E., Baudry J., 2007, *Thematic resolution matters: Indicators of landscape pattern for European agro-ecosystems*, Ecological Indicators, 7, 3, s. 692–709.
- Bayliss J., Helyar A., Lee J.T., Thompson S., 2003, *A multi-criteria targeting approach to neutral grassland conservation*, Journal of Environmental Management, 67, 2, s. 145–160.
- Berling-Wolff S., Wu J., 2004, *Modelling urban landscape dynamics: A case study in Phoenix, USA*, Urban Ecosystems, 7, 3, s. 215–240.
- Bivand R., 1980, *Autokorelacja przestrzenna a metody analizy statystycznej w geografii*, [w:] Z. Chojnicki (red.), *Analiza regresji w geografii*, PWN, Poznań, s. 23–38.
- Błażejowski R., 2003, *Kanalizacja wsi*, Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań.
- Botequilha L., Ahern J., 2002, *Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning*, Landscape and Urban Planning, 59, 2, s. 65–93.
- Botequilha L., Miller J., Ahern J., McGarigal K., 2008, *Measuring landscapes: A planner's handbook*, Landscape Ecology, 23, 7, s. 873–874.
- Brotans L., Mönkkönen M., Huhta E., Nikula A., Rajasärkkä A., 2003, *Effects of landscape structure and forest reserve location on old-growth forest bird species in Northern Finland*, Landscape Ecology, 18, 4, s. 377–393.
- Buyantuyev A., Wu J., 2007, *Effects of thematic resolution on landscape pattern analysis*, Landscape Ecology, 22, 1, s. 7–13.
- Chilczuk M., 1975, *Osadnictwo wiejskie. Metody badań koncentracji zabudowy i kształtów wsi*, PWN, Warszawa.

- DiBari J.N., 2007, *Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tuscon, Arizona, USA*, *Landscape and Urban Planning*, 79, 3–4, s. 308–313.
- Duncan B.W., Schmalzer P.A., 2004, *Anthropogenic influences on potential fire spread in a pyrogenic ecosystem of Florida, USA*, *Landscape Ecology*, 19, 2, s. 153–165.
- Ernoul A., Freiré-Diaz S., Langlois E., Alard D., 2006, *Are similar landscapes the result of similar histories?*, *Landscape Ecology*, 21, 5, s. 631–639.
- Giętkowski T., 2006, *Zastosowanie wybranych metod ekologii krajobrazu do analizy struktury geokompleksów na przykładzie okolic Tucholi*, [w:] P. Gierszewski, M.T. Karasiewicz (red.), *Idee i praktyczny uniwersalizm geografii, geografia fizyczna*, Dokumentacja Geograficzna, 32, s. 70–74.
- , 2010, *Zmiany lesistości Borów Tucholskich w latach 1938–2000*, *Promotio Geographica Bydgostiensia*, 4 (w druku).
- Girvetz E.H., Thorne J.H., Berry A.M., Jaeger J.A.G., 2008, *Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: A statewide multi-scale case study from California, USA*, *Landscape and Urban Planning*, 86, 3–4, s. 205–218.
- Griffith J.A., Martinko E.A., Price K.P., 2000, *Landscape structure analysis of Kansas at three scales*, *Landscape and Urban Planning*, 52, 1, s. 45–61.
- Gulinck H., Mu'gica M., Lucio V., Atauri A., 2001, *A framework for comparative landscape analysis and evaluation based on land cover data, with an application in the Madrid region (Spain)*, *Landscape and Urban Planning*, 55, 4, s. 257–270.
- Hahs A.K., McDonnell M.J., 2006, *Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban–rural gradient*, *Landscape and Urban Planning*, 78, 4, s. 435–448.
- Hargis C.D., Bissonette J.A., Davide J.L., 1998, *The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation*, *Landscape Ecology*, 13, 3, s. 167–186.
- Herold M., Couclelis H., Clarke K.C., 2005, *The role of spatial metrics in the analysis and modelling of urban land use change*, *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 4, s. 369–399.
- Herzog F., Lausch A., 1999, *Prospects and limitations of the application of landscape metrics for landscape monitoring*, [w:] M. Maudsley, J. Marshall (red.), *Heterogeneity in Landscape Ecology: Pattern and Scale*, IALE (UK), Aberdeen, s. 41–50.
- Herzog F., Lausch A., 2001, *Supplementing land-use statistics with landscape metrics: some methodological considerations*, *Environmental Monitoring and Assessment*, 72, 1, s. 37–50.
- Herzog F., Lausch A., Müller E., Thulke H.H., Steinhardt U., Lehmann S., 2001, *Landscape metrics for assessment of landscape destruction and rehabilitation*, *Environmental Management*, 27, 1, s. 91–107.
- Jomaa I., Auda Y., Saleh B.A., Hamze M., Safi S., 2008, *Landscape spatial dynamics over 38 years under natural and anthropogenic pressures in Mount Lebanon*, *Landscape and Urban Planning*, 87, 1, s. 67–75.
- Kearns F.R., Kelly N.M., Carter J.L., Resh V.H., 2005, *A method for the use of landscape metrics in freshwater research and management*, *Landscape Ecology*, 20, 1, s. 113–125.
- Kondracki J., 2001, *Geografia regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kong F., Nakagoshi N., 2006, *Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China*, *Landscape and Urban Planning*, 78, 3, s. 147–164.
- Koper N., Schmiegelow F.K.A., 2006, *A multi-scaled analysis of avian response to habitat amount and fragmentation in the Canadian dry mixed-grass prairie*, *Landscape Ecology*, 21, 7, s. 1045–1059.

- Kopczewska K., 2007, *Ekonometria i statystyka przestrzenna z wykorzystaniem programu R CRAN*, Wydawnictwo CeDeWu, Warszawa.
- Kot R., Leśniak K., 2006, *Ocena georóżnorodności za pomocą miar krajobrazowych – podstawowe trudności metodyczne*, Przegląd Geograficzny, 78, 1, s. 25–45.
- Langanke T., Rossner G., Vrščaj B., Lang S., Mitchley J., 2005, *Selection and application of spatial indicators for nature conservation at different institutional levels*, Journal for Nature Conservation, 13, 2–3, s. 101–114.
- Lausch A., Herzog F., 2002, *Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability*, Ecological Indicators, 2, 1–2, s. 3–15.
- Li H., Wu J., 2004, *Use and misuse of landscape indices*, Landscape Ecology, 19, s. 389–399.
- Li X., Lu L., Cheng G., Xiao H., 2001, *Quantifying landscape structure of the Heihe River Basin, north-west China using FRAGSTATS*, Journal of Arid Environments, 48, 4, s. 521–535.
- Luck M., Wu J., 2002, *A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA*, Landscape Ecology, 17, 4, s. 327–339.
- Łowicki D., 2008, *The share of land cover class and the landscape structure. Quantitative and qualitative analysis of Wielkopolsko-Kujawska Lowland using GIS techniques*, [w:] J. Plit, V. Andreychouk (red.), *Methods of Landscape Research*, Dissertations Commission of Cultural Landscape, 8, Sosnowiec, s. 197–206.
- Makomaska-Juchiewicz M., 2007, *O ochronie różnorodności biologicznej*, [w:] M. Grzegorzczak (red.), *Integralna ochrona przyrody*, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków, s. 55–68.
- Matz R., 2007, *Sieci kanalizacyjne podciśnieniowe, ciśnieniowe i grawitacyjne oraz ich efektywność w danym terenie*, Zeszyty Komunalne, 10, s. 86–89.
- McGarigal K., McComb W.C., 1995, *Relationships between landscape structure and breeding birds in the Oregon coast range*, Ecological Monographs, 65, 3, s. 235–260.
- McGarigal K., Marks B. J., 1995, *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, USDA Forest Service. Technical Reports, PNW-351, Portland.
- McGarigal K., Cushman, S. A., Neel M. C., Ene E., 2002, *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst.*
www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html
- Minh H.P., Yamaguchi Y., 2008, *A case study on the relation between urban growth and city planning using remote sensing and spatial metrics. International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*, Japan-Vietnam Geoinformatics Consortium, Hanoi University of Mining and Geology, 4–6 Dec. 2008,
<http://wgrass.media.osaka-cu.ac.jp/gisideas08/viewpaper.php?id=255>
- Olsen L.M., Dale V.H., Foster T., 2007, *Landscape patterns as indicators of ecological change at Fort Benning, Georgia, USA*, Landscape and Urban Planning, 79, 2, s. 137–149.
- Perry J. N., Liebhold A. M., Rosenberg M. S., Dungan J., Miriti M., Jakomulska A., Citron-Pousty S., 2002, *Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data*, Ecography, 25, 5, s. 578–600.
- Richling A., Lechnio J., 2005, *Koncepcja krajobrazu – operatory i indykatory ewolucji systemów przyrodniczych*, [w:] A. Richling, J. Lechnio (red.), *Z problematyki funkcjonowania krajobrazów nizinnych*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa, s. 11–27.

- Riitters K.H., O'Neill R.V., Hunsaker C.T., Wickham J.D., Yankee D.H., Timmins S.P., Jones K.B., Jackson B.L., 1995, *A factor analysis of landscape pattern and structure metrics*, *Landscape Ecology*, 10, 1, s. 23–39.
- Rustigian H.L., Santelmann M.V., Schumaker N.H., 2003, *Assessing the potential impacts of alternative landscape designs on amphibian population dynamics*, *Landscape Ecology*, 18, 1, s. 65–81.
- Solon J., 2002, *Ocena różnorodności krajobrazu na podstawie analizy struktury przestrzennej roślinności*, *Prace Geograficzne, IGI PAN*, 185, Warszawa.
- , 2005, *Struktura roślinności jako indykator stanu i funkcjonowania krajobrazu*, [w:] A. Richling, J. Lechnio (red.), *Z problematyki funkcjonowania krajobrazów nizinnych*, *Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW*, Warszawa, s. 207–238.
- , 2007a, *Współczesne koncepcje ekologiczno-krajobrazowe i ich przenikanie do innych nauk o środowisku przyrodniczym*, [w:] K. Ostaszewska, I. Szumacher, S. Kulczyk, E. Malinowska (red.), *Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju*, *Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW*, Warszawa, s. 57–74.
- , 2007b, *Wpływ środowiska na zróżnicowanie kierunków rozwoju obszarów wiejskich*, *Biuletyn KPZK PAN*, 234, Warszawa, s. 103–117.
- Swenson J.J., Franklin J., 2000, *The effects of future urban development on habitat fragmentation in the Santa Monica Mountains*, *Landscape Ecology*, 15, 8, s. 713–730.
- Westphal M.I., Field S.A., Tyre A.J., Paton D., Possingham H.P., 2003, *Effects of landscape pattern on bird species distribution in the Mt. Lofty Ranges, South Australia*, *Landscape Ecology*, 18, 4, s. 413–426.
- Wickham J.D., O'Neill R.V., Riitters K.H., Wade T.G., Jones K.B., 1997, *Sensitivity of selected landscape pattern metrics to land-cover misclassification and difference in land-cover composition*, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63, 4, s. 397–402.
- Wu J., 2004, *Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations*, *Landscape Ecology*, 19, 2, s. 125–138.
- Wu J., Marceau D., 2002, *Modelling complex ecological systems: an introduction*, *Ecological Modelling*, 153, 1–2, s. 1–6.
- Xie Y., Yy M., Bai Y., Xing X., 2006, *Ecological analysis of an emerging urban landscape pattern-desakota: A case study in Suzhou, China*, *Landscape Ecology*, 21, 8, s. 1297–1309.
- Zhang L., Wang H., 2006, *Planning an ecological network of Xiamen Island (China) using landscape metrics and network analysis*, *Landscape and Urban Planning*, 78, 4, s. 449–456.
- Zwierzchowska I., 2008, *Zróżnicowanie stopnia fragmentacji terenów zieleni w miastach Wielkopolski*, *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 22, s. 139–158.

[Wpłynęło: czerwiec; poprawiono: grudzień 2009 r.]

IWONA ZWIERZCHOWSKA, MAŁGORZATA STĘPNIEWSKA, DAMIAN ŁOWICKI

POSSIBILITIES FOR USING *FRAGSTATS* IN STUDIES
OF THE NATURAL ENVIRONMENT

The purpose of this study is to present examples of the use of *Fragstats* in the natural sciences, as well as of the applications they can be assigned to. The first part of this paper offers a general description of *Fragstats*, including examples of specific types of measure and supported data formats. The tool is used to analyse categorised raster images, i.e. images in which each pixel has been assigned to a particular object class. It is high-performance, and is used to describe landscape structure through the calculation of statistical measures of the composition and configuration thereof. The software allows the user to characterise both individual landscape patches and patch classes, as well as entire landscapes. The second part of this paper is an overview of Polish and foreign literature pertaining to studies in which the programme has been employed. It is shown that *Fragstats* is widely used in studies worldwide. Moreover, the range of disciplines in which the software can be applied is very broad, including such aspects of environmental research as aquatic ecosystems, green space in cities/towns, fire hazards, biodiversity protection and the functioning of areas strongly affected by human activity. As a result of the considerably more limited amount of information on the environment and level of use of GIS techniques than in the USA or Western Europe, Poland has not yet seen a great deal of use made of *Fragstats*. However, the examples of Polish studies given attest to its great scientific potential, and to new fields of study in this country, this suggesting that research employing *Fragstats* will become increasingly popular. The third part of this paper presents studies in which *Fragstats* was used. The authors of those studies point to sources of data for analysis and data processing methods, as well as to limitations on the range of application of the software.

The first of the studies in question concerned assessment of the suitability of individual landscape features for distinguishing spatial units of the landscape. It was assumed that such features should be characterised by the highest possible degree of spatial agglomeration, this allowing it to be concluded that the value of a feature in one basic field is linked with that for the same feature in surrounding fields, something referred to as spatial autocorrelation in statistics. The diversity in respect of 66 landscape features was studied in 324 mesoregions of Poland. The results show a large diversity in landscape features as regards spatial agglomeration. None of the features show a significant spatial autocorrelation, which indicates that the mesoregions with similar landscape features tend to concentrate in space, or else are distributed at random. Of greatest use in regional classification of landscape is the configuration of landscape elements measured by the density of patches, particularly of different land-cover type. Where analyses encompassing the entire country are concerned, relief features, such as height ranges, are also useful. The composition of the landscape measured in terms of the shares of individual land-cover types proved to be of little use in classifying the landscape in Poland into regions.

The second study concerned the use of the software in assessing the degree of fragmentation of green areas. The results can be used to explain processes occurring in the given areas, and related consequences for the functioning of the natural environ-

ment. The study encompassed 109 cities/towns in the region of Wielkopolska, as analysed within their administrative boundaries. Literature on the subject provided for the selection of four landscape metrics for configuration analysis, i.e. patch density, mean distance between patches, mean patch surface area and the index of investment contrast between neighbouring areas. These metrics were analysed for five land-cover types, i.e. forests, grassland and pastures, organised green space, tree and scrub vegetation complexes and marshy areas. The study showed that it is the organised green spaces which are the most scattered and isolated, a fact that relates to their proximity to areas of intensive investment in the largest cities/towns of Wielkopolska. The problem of fragmentation is less severe in the case of forests. What is alarming, however, is the scattering and isolation of patches of grassland and pasture. This is all the more so, as the protective law, namely the *Act on the Protection of Farmland and Woodland* of 3rd February 1995 (as amended by *Act amending the Farmland and Woodland Protection Act* of 19th December 2008), which focused on the restricted transformation of such areas into non-agricultural land, was abolished within the administrative boundaries of cities/towns. Because of the regional nature of the study, the results obtained can be used to compare cities/towns, though individual cases require a more detailed analysis from the local perspective.

A further example concerns the possible use of *Fragstats* in establishing the size diversity, concentration and shape of development for the purpose of wastewater management programming. The analysis of development structure diversity was carried out for Wielkopolska's rural gminas (local-level administrative units) and rural areas within mixed urban/rural gminas, these still being very much neglected from the point of view of wastewater management. From the list of landscape metrics available in *Fragstats*, a set of statistics most useful for the purpose assumed was selected. The set included: the mean (AREA MN) and total (CA) surface area of development patches, edge density (ED), the proximity index (PROX) and the patch aggregation index (MESH). The values of all five metrics were standardised in line with the voivodship average and – following a changing in the mark in the case of edge density – summed up into an overall index of settlement-related conditions for the development of wastewater management in gminas. The higher the index value, the greater the developed area in the gmina (total and mean for a patch), the more concentrated the development, and the more aggregated the individual development patches. The use of landscape metrics permitted characterisation of particular development patches, and of the spatial relations between them. The analysis provides for an assessment of the settlement structure of gminas in respect of the development of wastewater systems. Gminas with the highest values for the index should rather develop collective wastewater systems. Those with lower index values would reasonably consider alternative systems (of the pressure or vacuum types) or individual systems (septic tanks, individual wastewater treatment systems).