

## **Analiza zmian struktury przestrzennej krajobrazu warszawskiej dzielnicy Wilanów w latach 2002-2011 z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych SPOT**

*Analysis of changes in the spatial structure of the landscape of Warsaw's Wilanow district in 2002-2011 with the use of satellite images SPOT*

**Aleksandra RADECKA**

Wydział Geodezji i Kartografii,  
Politechnika Warszawska

**Katarzyna OSIŃSKA-SKOTAK**

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji  
i Systemów Informacji Przestrzennej,  
Wydział Geodezji i Kartografii,  
Politechnika Warszawska

### **Abstract**

The presented study aimed at providing a characteristic of Wilanow district's landscape structure in 2002 and 2011. In addition, it's goal was to determine the changes that occurred on the area within the analyzed period. The research was conducted using image visual interpretation method and was done on the basis of prepared photo interpretation key. A change detection analysis comprised of the identification of landscape units' boundary changes between years, as well as, the differences in measured landscape metrics' values. The results show that Wilanow's landscape structure was relatively diverse. Furthermore the district experienced land transformations which resulted in the landscape structure changes. Some of the observed are: fragmentation level increase and dispersion decrease.

**Key words:** landscape, landscape indicators, remote sensing landscape, SPOT images

**Słowa kluczowe:** krajobraz, wskaźniki krajobrazu, teledetekcja krajobrazu, obrazy SPOT

### **Wprowadzenie – podstawy teoretyczne badań krajobrazu**

Szeroko rozumiane środowisko, jak wszystkie twory otaczającej nas rzeczywistości, cechuje się wysokim stopniem skomplikowania. Tworzące je elementy przyrodnicze i antropogeniczne wchodzą ze sobą w interakcje, zmieniają się w czasie i przestrzeni. Zachodzenie wspomnianych procesów powoduje, że trafny opis – w szczególności sformalizowany – otaczającego nas świata stanowi duże wyzwanie, a równocześnie wysoce pożądanym produktem. Może być on podstawą do oszacowania zasobów środowiska czy przestrzeni, zrozumienia

zachodzących w niej procesów, prognozowania przyszłych zmian oraz wydobycia informacji o tym, jak właściwie zarządzać daną przestrzenią w przyszłości. Jednym z podejść do kompleksowej charakterystyki środowiska, tj. uwzględniającej wiele jego cech, jest koncepcja krajobrazowa. Wykorzystanie podejścia krajobrazowego do analizy zmian struktury przestrzennej Wilanowa w latach 2002-2011 oraz ich charakterystyka były głównym celem niniejszego opracowania.

Pojęcie krajobrazu w literaturze przedmiotu jest różnorodnie definiowane. Wielość podejść wynika z różnego sposobu postrzegania i analizowania krajobrazu przez specjalistów reprezentujących poszczególne dziedziny

nauki, jak również z osobistych doświadczeń związanych z percepcją krajobrazu przez każdego człowieka. Należy podkreślić, że podejścia metodologiczne oraz związane z nimi sposoby definicji krajobrazu ulegały ewolucji (RICHLING, SOLON, 2011). Pierwotnie pojęcie krajobrazu rozumiano jako obszar, następnie również jako jego charakter. Kolejno wykształciło się fizjonomiczno-przestrzenne podejście do rozumienia krajobrazu jako „fizjonomii wycinka przestrzeni geograficznej, z charakterystycznym dla danej okolicy zestawem przedmiotów” (RICHLING, SOLON, 2011). W wielu źródłach, szczególnie pochodzących z krajów anglo- i francuskojęzycznych (DREXLER, 2013) krajobraz postrzegany był w kategoriach wizualno-estetycznych. Ostatecznie wytworzył się nurt definiowania tego pojęcia z pomocą nauk przyrodniczych, który rozwijał się i wciąż rozwija w poszczególnych specjalnościach naukowych. Część z nich wykorzystuje sprofilowane podejście do definiowania krajobrazu, tj. dostosowuje sposób jego rozumienia do tematyki badań, kładąc nacisk na wybrany aspekt charakterystyki i funkcjonowania krajobrazu. Przykładami tego typu definicji mogą być: geobotaniczna<sup>1</sup>, energetyczna<sup>2</sup> i termodynamiczna<sup>3</sup>. Są również definicje przyjmujące założenie kompleksowego opisu krajobrazu. Do najważniejszych zaliczyć należy podejścia: geokompleksowe<sup>4</sup> oraz interdyscyplinarnej syntezy<sup>5</sup>.

Pojęcie krajobrazu zostało również zdefiniowane na gruncie prawnym w Europejskiej Konwencji Krajobra-

zowej jako „obszar postrzegany przez ludzi, którego charakter jest wynikiem działania i interakcji czynników przyrodniczych i/lub ludzkich”. Konwencja została sporządzona 20 października 2000 r., a od 1 stycznia 2005 r. obowiązuje w Polsce. Od 24 kwietnia 2015 r. termin ten funkcjonuje także w ustawie o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu, tj. w tzw. ustawie krajobrazowej. Dokument definiuje go jako „postrzeganą przez ludzi przestrzeń, zawierającą elementy przyrodnicze lub wytwory cywilizacji, ukształtowaną w wyniku działania czynników naturalnych lub działalności człowieka”.

Analiza poszczególnych definicji krajobrazu pozwala zauważyć, że – mimo różnych podejść do jego definiowania – stanowi on twór zorganizowany hierarchicznie. System krajobrazowy, jako całość, jest zbudowany z podsystemów, m.in. (RICHLING, SOLON, 2011):

- geosfer (atmosfery, litosfery, hydrosfery, biosfery) w badaniach małoskalowych,
- komponentów przyrody (powietrza, skał, wody, gleby, roślinności, zwierząt) w badaniach wielkoskalowych,
- elementów krajobrazu (przestrzennych jednostek przyrodniczych) jako mniejszych całości utworzonych z powiązanych ze sobą komponentów.

Opisywane zróżnicowanie przestrzenne krajobrazu tworzy tzw. chorostrukturę, która dzielona jest na strukturę wertykalną – odpowiadającą związkom „pionowym”, zachodzącym między komponentami krajobrazu – oraz strukturę horyzontalną – opartą na zależnościach „poziomych”, występujących pomiędzy elementami krajobrazu.

Struktura wertykalna tworzona jest z komponentów abiotycznych i biotycznych oraz dodatkowego komponentu – użytkownika ziemi, które modyfikuje zależności zachodzące między wcześniej wymienionymi. Wszystkie opisywane komponenty wywierają na siebie wzajemny wpływ, ale zróżnicowaniu podlega postrzegana przez specjalistów hierarchia ważności komponentów. Ważność ta jest wyrażana poprzez większy wpływ komponentu A na komponent B, niż odwrotnie. Do uznanego w literaturze przedmiotu podejścia należy postrzeganie makroklimatu oraz skały wraz z rzeźbą jako dominujących czynników, najmniej podatnych na zmiany. Rzeźba warunkuje następnie komponent wodny, a on gleby, roślinność i zwierzęta. Ostatnim komponentem, wyklarowanym przez poprzednie, jest klimat lokalny (RICHLING, SOLON, 2011).

Struktura horyzontalna krajobrazu opiera się natomiast na wydzieleniu przestrzennych jednostek pod-

<sup>1</sup> Podejście geobotaniczne skupia się w swych badaniach na komponentach: roślinności oraz siedlisk roślinnych. Jak wynika z przeprowadzonych przez geobotaników analiz, rozmieszczenie poszczególnych zbiorowisk roślinnych posiada określoną strukturę przestrzenną uzależnioną głównie od warunków siedliskowych oraz działalności człowieka. Prawdopodobnie ta decyduje o właściwościach indykacyjnych zbiorowisk roślinnych w stosunku do stanu i funkcjonowania krajobrazu.

<sup>2</sup> Podejście energetyczne charakteryzuje krajobraz jako „terytorialny system transformujący energię (słoneczną, wiatrową, wodną, chemiczną itp.) i materię, z tendencją do podwyższania poziomu samoorganizacji” (CHMIELEWSKI, 2012 za: ODUM, 1988; FISCHER, MAGOMEDOW, 2004)

<sup>3</sup> Podejście termodynamiczne przyjmuje, że „krajobraz, jako całość, jest dynamicznym, samoorganizującym się systemem, będącym w stanie dalekim od równowagi termodynamicznej” (CHMIELEWSKI, 2012 za: WILSON, 1981).

<sup>4</sup> Podejście geokompleksowe wyróżnia geokompleks jako jednostkę przestrzenną krajobrazu i definiuje go jako „prawidłowy przestrzenny zespół wzajemnie powiązanych komponentów środowiska (rzeźby terenu, podłoża geologicznego, klimatu, stosunków wodnych, gleb, roślinności i świata zwierzęcego)”. Krajobraz to natomiast „część epigeosfery stanowiąca złożony przestrzennie geokompleks, o swoistej strukturze i wewnętrznych powiązaniach” (KONDRACKI, RICHLING, 1983). Zgodnie z definicją komponenty biotyczne i abiotyczne środowiska są traktowane równorzędnie. W praktyce badawczej geografowie, których domeną jest opisywane podejście, skupiają się najczęściej na charakterystyce komponentów abiotycznych.

<sup>5</sup> Podejście interdyscyplinarnej syntezy stanowi próbę złączenia definiowanych w literaturze pojęć, wspomagając tym samym uporządkowanie dotychczas zrealizowanych opracowań w dziedzinie krajobrazu. Zgodnie z omawianym podej-

ściem krajobraz jest „całością przestrzenno-czasową obejmującą różne układy hierarchiczne, wzajemnie ze sobą powiązane. Najczęściej wyróżnia się 3 takie układy: (a) abiotyczny, dotyczący obiektów i relacji przestrzennych wyróżnionych na podstawie ich charakterystyki komponentów przyrody nieożywionej, (b) biologiczny, którego punktem centralnym są określone grupy organizmów oraz całe ekosystemy, (c) antropogeniczny, obejmujący elementy krajobrazu wytwarzane lub przekształcane przez człowieka” (SOLON, 2007, z modyfikacją CHMIELEWSKIEGO, 2008).

stawowych krajobrazu i określeniu zależności występujących między nimi. Co ważne, jednostki te dzielone są w zależności od skali przestrzenno-czasowej, czyli zajmowanej przez nie powierzchni i określonego czasu potrzebnego do zaobserwowania zmian zachodzących w ich obrębie. Opisane zależności decydują o hierarchicznym układzie jednostek – każda z nich może stanowić element jednostki nadrzędnej, jak również być autonomiczną całością w stosunku do jednostek podrzędnych. Wydzielenie podstawowych jednostek przestrzennych wymaga, oprócz skali, określenia kryteriów, na podstawie których zostanie to osiągnięte. Kryteria te uwzględniać powinny charakterystykę uwarunkowań przyrodniczych terenu (na podstawie wybranych komponentów biotycznych i abiotycznych), wpływu czynnika antropogenicznego i innych okoliczności mających istotny wpływ na ukształtowanie charakteru danego obszaru. Z założenia, przy delimitacji opisywanych jednostek pod uwagę bierze się jedynie części komponentów przyrodniczych, co wynika z ich wzajemnych zależności i trudności w dostępie do szczegółowych, rozdzielnych danych na temat każdego z nich. Dodatkowo, jak zauważają RICHLING i SOLON (2011), przyjęte do analizy kryteria powinny uwzględniać typ krajobrazu oraz istotność poszczególnych kwestii w odniesieniu do celu tworzonego opracowania.

Kryteria, na podstawie których wyróżnia się jednostki krajobrazowe mogą być bardzo różnorodne. W literaturze przedmiotu (RICHLING, SOLON, 2011; MAJCHROWSKA, 2008; SOLON, 2008), w podziale na kategorie, wyróżnia się kryteria:

- związane z komponentami abiotycznymi – zróżnicowanie hipsometryczne, geomorfologiczne, geologiczne, glebowe, klimatyczne, gęstość sieci rzecznej,
- związane z komponentami biotycznymi – zróżnicowanie roślinności, zmienne ilościowe,
- związane z działalnością człowieka w krajobrazie – formy pokrycia terenu, formy użytkowania ziemi, udział obszarów rolniczych oraz budynków i instalacji technicznych, układ przestrzenny pól i osiedli, gęstość sieci drogowej, struktura osadnictwa, struktura własności, elementy historii i kultury regionalnej terenu.

Z założenia więc każdy obszar cechuje unikalny dla niego krajobraz. W obrębie terenów o zbliżonych uwarunkowaniach przyrodniczych i wpływie działalności człowieka, krajobrazy te charakteryzuje jednakże pewien stopień podobieństwa. Stanowi on podstawę do sklasyfikowania oraz nazwania poszczególnych obszarów, a tym samym uzyskania założonej na wstępie charakterystyki środowiska.

Przedstawiona koncepcja krajobrazu stanowi sposób opisu środowiska w wymiarze przestrzennym. Zastosowanie jej wymaga zgromadzenia danych, na podstawie których zostanie opracowana charakterystyka poszczególnych komponentów biotycznych, abiotycznych i antropogenicznych. Dane te mogą zostać pozyskane technikami teledetekcyjnymi. Podejście to cechuje się wieloma

zaletami (MULARZ I IN., 2007, MULARZ, DRZEWIECKI, 2008): daje możliwość łącznego wykorzystania danych o różnym potencjale informacyjnym – optycznych, termalnych czy radarowych; pozwala na uzyskanie informacji jakościowej oraz ilościowej; funkcjonuje w wielu skalach – umożliwia dobranie rozdzielczości przestrzennej obrazów do szczegółowości badań krajobrazowych; umożliwia opisanie znacznego powierzchniowo obszaru w relatywnie krótkim czasie; pozwala na pozyskanie informacji z wielu terminów, a tym samym na detekcję zmian zachodzących w środowisku.

Jednostka podstawowa krajobrazu wyróżniona z pomocą danych pozyskanych technikami teledetekcyjnymi nazywana jest na ogół jednostką fotomorficzną. J.R. Olędzki (1992, 2001) definiuje ją jako sumaryczny, kompleksowy obraz terenu, będący efektem współwystępowania w przestrzeni określonych cech przyrodniczych i kulturowych.

Do opisanego krajobrazu w sposób sformalizowany stosowane są wskaźniki struktury przestrzennej krajobrazu, przedstawiane jako specyficzne wskaźniki środowiskowe, definiowane jako mierzalne biotyczne i abiotyczne charakterystyki środowiska, umożliwiające uzyskanie ilościowych danych dotyczących zasobów ekologicznych i sposobu funkcjonowania krajobrazu (CHMIELEWSKI, 2012; MCALPINE, EYRE, 2002).

Ze względu na znaczną liczbę wskaźników stosowane są różne podejścia do ich klasyfikacji. Jednym z nich jest podział omawianych wskaźników ze względu na opisywaną cechę krajobrazu (MCGARIGAL, MARKS, 1995):

- wskaźniki kompozycji krajobrazu – dotyczą zróżnicowania i obfitości występowania poszczególnych typów płatów, bez uwzględnienia ich lokalizacji przestrzennej,
- wskaźniki konfiguracji krajobrazu – odzwierciedlają fizyczne rozmieszczenie płatów w przestrzeni.

Z kolei twórcy oprogramowania FRAGSTATS, dedykowanego do analizy krajobrazu, klasyfikują je ze względu na wykorzystywany w obliczeniach aspekt charakterystyki struktury przestrzennej krajobrazu. Dzielą oni wskaźniki na następujące rodzaje (MCGARIGAL, 2015):

- wskaźniki powierzchni i granic,
- wskaźniki kształtu,
- wskaźniki powierzchni rdzenia,
- wskaźniki kontrastu,
- wskaźniki agregacji,
- wskaźniki różnorodności.

Zgodnie z informacjami przedstawionymi w literaturze przedmiotu (HEROLD I IN., 2002; JI, 2008; DEL CASTILLO I IN., 2015; SUTTHIVANICH I ONGSOMWANG, 2015) mogą one być stosowane m.in. do wyróżnienia jednostek krajobrazowych, czy sformułowania liczbowej charakterystyki struktury przestrzennej krajobrazu (w odniesieniu do pojedynczych płatów, poszczególnych klas jednostek bądź całości krajobrazu).

## Obszar opracowania

Obszar opracowania stanowi Wilanów – dzielnica, a jednocześnie jednostka pomocnicza Warszawy, zlokalizowana w jej południowej części. Dzielnica ta ma powierzchnię 36,73 ha, co stanowi 7,1% obszaru stolicy. Ma ona wyraźny charakter podmiejski, podlegający presji urbanistycznej. Obszary zainwestowane stanowi przede wszystkim zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna zlokalizowana w różnych częściach Wilanowa. Mniejszy udział cechuje zabudowę wielorodzinną, która w obrębie dzielnicy jest reprezentowana przez osiedla Wilanowa Wysokiego oraz nowopowstałego Miasteczka Wilanów. Znajdują się one w północno-zachodniej części analizowanego obszaru. Obiektem o szczególnym znaczeniu dla dzielnicy jest, ulokowany w jej północnej części, Pałac Króla Jana III w Wilanowie stanowiący zabytek w skali krajowej. Dominującymi powierzchniowo elementami zagospodarowania przestrzennego dzielnicy są użytki rolne – związane z historycznie ukształtowanym rolniczym charakterem znacznej części dzielnicy, a także obszary przyrodnicze w postaci lasów, zadrzewień, zakrzewień i wód powierzchniowych – stanowiące tereny w małym stopniu przekształcone przez człowieka. Omówiony sposób zagospodarowania przestrzennego analizowanej dzielnicy jest wyraźnie zauważalny na obrazie satelitarnym SPOT 5 zaprezentowanym na ryc. 1.

Istotnym elementem charakterystyki Wilanowa jest również wielość występujących w jego obrębie obszarów chronionych. Za cenne uznawane są zarówno walory środowiska przyrodniczego (m.in. obszary Natura 2000 Las Natoliński i Dolina Środkowej Wisły, rezerwaty przyrody Skarpa Ursynowska i Las Morysin, obszar chronionego krajobrazu Dolina rzeki Wilanówki), jak również walory kulturowe (m.in. Park Kulturowy utworzony na obszarze zespołów pałacowo-parkowych: Króla Jana III, Morysin, Natolin oraz Skarpa Ursynowska).

## Dane źródłowe i metodyka badań

Celem niniejszego opracowania była analiza zmian struktury przestrzennej krajobrazu Wilanowa w latach

2002-2011 oraz zidentyfikowanie przyczyn tych zmian. Do identyfikacji oraz scharakteryzowania jednostek krajobrazowych tworzących strukturę przestrzenną krajobrazu Wilanowa w latach 2002 i 2011 wykorzystano dwa wyostrzone (ang. pansharpened) obrazy satelitarne SPOT 5 o parametrach technicznych zdefiniowanych w tabeli 1. Dzięki przeprowadzeniu procedury integracji danych panchromatycznych i wielospektralnych uzyskano obraz o wyższej rozdzielczości przestrzennej, co pozwoliło na zwiększenie możliwości fotointerpretacyjnych.

Do szczegółowego zidentyfikowania charakteru poszczególnych terenów występujących w obrębie dzielnicy wykorzystywano również wysokorozdzielcze zdjęcia lotnicze dostępne w formie podglądu na platformie Google Earth.

Przeprowadzone badania zmian krajobrazu dzielnicy m.st. Warszawa-Wilanów obejmowały następujące etapy:

1. Przygotowanie danych źródłowych;
2. Opracowanie klucza fotointerpretacyjnego – kryteriów wydzielenia jednostek krajobrazowych;
3. Delimitacja poszczególnych jednostek krajobrazowych w roku 2002 i 2011, metodą fotointerpretacji;
4. Dobór i obliczenie wskaźników struktury krajobrazu;
5. Przygotowanie map struktury przestrzennej krajobrazu, mapy zmian oraz analiza i dyskusja uzyskanych wyników.

Etapy 1-3 zostały zrealizowane w środowisku oprogramowania ArcGIS firmy ESRI, etap 4 z wykorzystaniem oprogramowania FRAGSTATS, zaś etap 5 w oprogramowaniach ArcGIS i MS Excel.

Właściwą analizę poprzedzono wykonaniem czynności przygotowawczych (integracja obrazów panchromatycznego i wielospektralnego, wzmocnienie kontrastu, wybór kompozycji barwnej). Fotointerpretację jednostek krajobrazowych przeprowadzono na podstawie kompozycji barwnej RGB 432, tj. kompozycji standardowej, która wyraźnie różnicuje poszczególne rodzaje zagospodarowania terenu. Delimitacja poszczególnych jednostek krajobrazowych została wykonana na podstawie uprzednio przygotowanego klucza fotointerpretacyjnego (Tabela 2), definiującego kryteria wydzielenia poszczególnych jednostek, który opracowano przyjmując

Tabela 1. Parametry techniczne zobrażeń satelitarnych SPOT 5.

Table 1. Technical parameters of SPOT 5 satellite image.

System satelitarny <i>Satellite system</i>	Termin wykonania zdjęcia <i>Acquisition date</i>	Wielkość piksela obrazów oryginalnych <i>Pixel size of source image</i>	Wielkość piksela obrazu pansharpened <i>Pixel size of pansharpened image</i>	Rozdzielczość radiometryczna <i>Radiometric resolution</i>	Układ współrzędnych <i>Coordinate system</i>
SPOT 5	12.09.2002	PAN 2,5 m MS 10 m	2,5 m	8 bitów	PL-UTM strefa 34N
SPOT 5	26.08.2011	PAN 2,5 m MS 10 m	2,5 m	8 bitów	PL-UTM strefa 34N



Ryc.1. Fragment zobrazowania satelitarnego SPOT 5 z 2011 r. obejmujący obszar dzielnicy Wilanów m.st. Warszawa.

Fig. 1. A part of a SPOT 5 satellite image, acquired in 2011, encompassing Warsaw's district Wilanow.

jąc pewne założenia, wynikające z dokonanej analizy zagadnień z zakresu teorii krajobrazu. W badaniach przyjęto, aby:

- definiować krajobraz zgodnie z podejściem interdyscyplinarnej syntezy charakteryzującym krajobraz w najbardziej kompleksowy sposób, a także podkreślającym dynamikę i hierarchiczność krajobrazu,
- rozumieć, objętą analizą, strukturę przestrzenną krajobrazu jako strukturę horyzontalną opartą na zależnościach występujących pomiędzy przestrzennymi jednostkami podstawowymi (elementami krajobrazu),
- wyróżniać wspomniane jednostki na podstawie następujących kryteriów, możliwych do określenia na podstawie interpretacji obrazu:

- sposobu użytkowania terenu,
- stopnia zainwestowania obszaru definiowanego intensywnością zabudowy oraz udziałem terenów utwardzonych,
- stopnia rozdrobnienia elementów tworzących jednostkę,
- rodzaju pokrywy roślinnej,
- poziomu wilgotności (dla gruntów odkrytych).

Kryteria te określano na podstawie standardowych cech rozpoznawczych, jakimi są: wielkość, kształt, barwa, struktura i tekstura obrazu poszczególnych obiektów oraz zależności między poszczególnymi obiektami, definiowane m.in. przez sąsiedztwo i usytuowanie w przestrzeni. Przyjęte kryteria uwzględniają wszystkie komponenty tworzące krajobraz, w większym stopniu uwypuklając cechy obszaru odnoszące się do jego elementów antropogenicznych. Mniejszą wagę przywiązano do właściwości terenu związanych z komponentami biotycznymi i abiotycznymi. Przyczyną przyjętego podejścia jest cel opracowania oraz różnica w tempie przemian i różnorodności występujących form wymienionych komponentów, w przyjętej skali (skali dzielnicy) – komponenty antropogeniczne (np. zabudowa, infrastruktura techniczna), które ulegają szybszym przekształceniom, a ich formy cechuje większa różnorodność (widoczna na obrazach satelitarnych), niż ma to miejsce w przypadku komponentów biotycznych i abiotycznych.

W obrębie analizowanej dzielnicy wyróżniono 15 klas jednostek krajobrazowych, które połączono następnie w 5 grup reprezentujących zbliżony sposób zagospodarowania terenu. Zabieg ten miał na celu łatwiejszą analizę jednostek podczas ich późniejszego opisu. Do wyodrębnionych grup należą następujące klasy użytkowania ziemi.

Grupa I – klasy o użytkowaniu mieszkaniowym:

- 1 – klasa terenów zabudowy wielorodzinnej;
- 2 – klasa terenów zabudowy jednorodzinnej zwartej;
- 4 – klasa terenów zabudowy jednorodzinnej rozproszonej.

Grupa II – klasy o użytkowaniu rekreacyjnym:

- 3 – klasa terenów o funkcji reprezentacyjnej;
- 6 – klasa terenów rekreacyjno-wypoczynkowych.

Grupa III – klasy o użytkowaniu przemysłowym:

- 5 – klasa terenów zabudowy przemysłowej;
- 7 – klasa terenów budowy;
- 8 – klasa terenów obiektów przemysłowych.

Grupa IV – klasy o użytkowaniu wodnym i leśnym:

- 9 – klasa terenów wielkopowierzchniowych wód otwartych;
- 10 – klasa terenów wód otwartych o niewielkiej powierzchni;
- 11 – klasa terenów lasów.

Grupa V – klasy o użytkowaniu rolniczym oraz cechujące się brakiem użytkowania:

- 12 – klasa terenów użytków zielonych;
- 13 – klasa terenów rozdrobnionych pól uprawnych o dużej wilgotności gruntu;
- 14 – klasa terenów rozdrobnionych pól uprawnych o niewielkiej wilgotności gruntu;


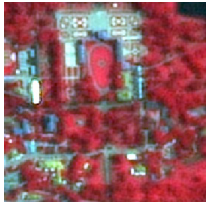


- 15 – klasa terenów wielkopowierzchniowych pól uprawnych.






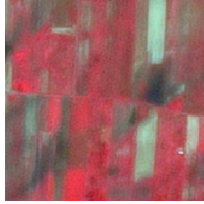
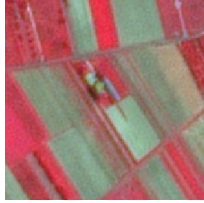

Istotnym dla opracowania przedstawionej klasyfikacji okazało się uprzednie szczegółowe przeanalizowanie charakterystyki zagospodarowania przestrzennego dzielnicy. Pozwoliło to na zaobserwowanie zależności zachodzących pomiędzy poszczególnymi tworzącymi je elementami. Wyróżnienie silnie powiązanych ze sobą części często decydowało następnie o połączeniu ich w jedną klasę jednostek krajobrazowych. Przykład charakteryzowanego zjawiska stanowić może sposób wyróżnienia klasy czwartej. W jej obrębie zidentyfikowano występowanie rozproszonej zabudowy jednorodzinnej, której najbliższe sąsiedztwo stanowiły tereny zieleni urządzonej, dalsze natomiast pól uprawnych i użytków zielonych przenikających się z nieużytkowanymi terenami zajmowanymi przez zielenie nieurządzone.

Na podstawie analizy wizualnej pozyskanych zobrażeń przyjęto również założenie dotyczące sposobu klasyfikacji ciągów infrastruktury komunikacyjnej. Zdecydowano, że ze względu na swój charakter oraz skalę opracowania nie będą one rozpatrywane jako osobna klasa jednostek krajobrazowych, lecz jako element klas zidentyfikowanych po obu stronach ciągów. Zaobserwowano, że obiekty te często stanowią rodzaj bariery rozwoju określonego, jednakowego sposobu zagospodarowania terenów zlokalizowanych po obu stronach drogi. Dodatkowo, obszary ograniczone siecią arterii komunikacyjnych postrzegane są jako zwarte jednostki, a tworzące je elementy jako powiązane ze sobą.

Na podstawie przeprowadzonej fotointerpretacji zobrażeń satelitarnych SPOT 5 oraz ich analizy uzyskano informację o strukturze przestrzennej krajobrazu w roku 2002 i w roku 2011, a następnie na ich podstawie zidentyfikowano obszary zmian, jakie zaszły na obszarze Wilanowa w latach 2002-2011. Określono również ich charakter. Informacje ilościowe na temat wspomnianych przekształceń, jak również zmianach w charakterystyce wynikowej struktury przestrzennej krajobrazu uzyskano w wyniku obliczenia tzw. wskaźników krajobrazowych (ang. landscape metrics). Na potrzeby niniejszego opracowania obliczono sześć wskaźników (Tab. 3), z trzech różnych kategorii. Wskaźniki zostały tak dobrane, aby możliwe było oszacowanie zmiany innej cechy krajobrazu. Różnice w wartościach wskaźnika pola powierzchni i udziału procentowego na dwa sposoby opisują stopień ekspansji, bądź zmniejszania się powierzchni określonych klas. Wskaźnik liczby płatów definiuje poziom fragmentacji krajobrazu, wskaźnik średniej wielkości jednostek ukazuje ich rozdrobnienie, wskaźnik średniej odległości płatów wskazuje na stopień rozproszenia jednostek klasy w obrębie krajobrazu, a wskaźnik kształtu charakteryzuje zwartość poszczególnych jednostek wchodzących w skład klas krajobrazowych. Wspomnieć należy także, iż jeden z wskaźników spośród wymienionych: wskaźnik pola powierzchni, średniej wielkości płatów oraz liczby jednostek – stanowi o redundancji danych, gdyż wartości wymienionych są ze sobą

Tabela 2. Klucz fotointerpretacyjny do delimitacji jednostek krajobrazowych w dzielnicy Wilanów.  
 Table 2. Key Photointerpretation the delimitation of landscape units in the neighborhood of Wilanow.

Nr klasy	1	2	3	4	5	6	7
<p><b>Przykład widzialnych jednostek krajobrazowych</b>  <i>Landscape unit example</i></p> 				<p><b>Oznaczenie</b>  <i>Symbol</i></p> <p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>	<p>—</p>
<p><b>Sposób użytkowania terenu</b>  <i>Land use type</i></p>	<p>mieszkalny  <i>residential land use</i></p>	<p>mieszkalny  <i>residential land use</i></p>	<p>rekreacyjny i usługowy  <i>recreational land use and services</i></p>	<p>rolniczy, mieszkalny, część obszaru niezagospodarowana  <i>agricultural and residential land use, partly waste-land</i></p>	<p>przemysłowy i usługowy  <i>industrial land use and services</i></p>	<p>rekreacyjno-wypoczynkowy  <i>recreational land use</i></p>	<p>tereny budowy  <i>under construction</i></p>
<p><b>Stopień zaawansowania</b>  <i>Terrain's development stage</i></p>	<p>bardzo wysoki  <i>very high</i></p>	<p>wysoki  <i>high</i></p>	<p>wysoki  <i>high</i></p>	<p>średni  <i>medium</i></p>	<p>bardzo wysoki  <i>very high</i></p>	<p>średni  <i>medium</i></p>	<p>wysoki  <i>high</i></p>
<p><b>Stopień rozdrobnienia elementów tworzących jednostkę</b>  <i>Unit's internal parts' size</i></p>	<p>niski  <i>small</i></p>	<p>wysoki stopień rozdrobnienia obiektów mieszkaniowych i terenów zieleni przydomowej  <i>relatively small size of residential buildings and accompanying gar-dens</i></p>	<p>niski  <i>small</i></p>	<p>wysoki stopień rozdrobnienia obiektów mieszkalnych i użytków rolnych  <i>relatively small size of residential buildings and crop fields</i></p>	<p>niski  <i>small</i></p>	<p>wysoki stopień rozdrobnienia obiektów budowlanych i terenów zieleni  <i>relatively small size of buildings and accompanying green areas</i></p>	<p>wysoki stopień rozdrobnienia obiektów budowlanych  <i>relatively small size of buildings</i></p>
<p><b>Rodzaj pokrywy roślinnej</b>  <i>Vegetation cover type</i></p>	<p>roślinność zarządzana na niską  <i>managed low vegetation</i></p>	<p>roślinność przydomowa niska, w mniejszym stopniu wysoka  <i>mainly home gardens, partly high vegetation</i></p>	<p>roślinność zarządzana na niską i wysoką  <i>managed low and high vegetation</i></p>	<p>roślinność niska, niewiele zakrzewien i zadrzewień śródpolnych  <i>low vegetation, partly shrubs, trees accompanying crop fields</i></p>	<p>roślinność izolacyjna niska  <i>insulating function vegetation</i></p>	<p>roślinność niska i wysoka o funkcji rekreacyjnej  <i>low and high recreational vegetation</i></p>	<p>roślinność niska, bądź brak pokrywy roślinnej  <i>low vegetation or the absence of vegetation cover</i></p>
<p><b>Kryteria wydzielenia klas / Landscape class's characteristic</b></p>							

<p>Poziom wilgotności (dla gruntów odkrytych) <i>Humidity level (for undeveloped terrain)</i></p>	<p>8</p> 	<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>8</p>	<p>przemysłowe <i>industrial land use</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>możliwe lokalne zastoiska wody <i>locally occurring ponding water</i></p>
<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>9</p> 	<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>9</p>	<p>wody powierzchniowe, w mniejszym stopniu rekreacyjne <i>major aquatic, minor recreational land use</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>wysoki poziom wód gruntowych <i>high groundwater level</i></p>
<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>10</p> 	<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>10</p>	<p>wody powierzchniowe, w mniejszym stopniu rekreacyjne <i>major aquatic, minor recreational land use</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>wysoki poziom wód gruntowych <i>high groundwater level</i></p>
<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>11</p> 	<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>11</p>	<p>leśny, w mniejszym stopniu rekreacyjne <i>major forest, minor recreational land use</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>
<p>występowanie obszarów lokalnego podwyższenia poziomu wód gruntowych <i>locally occurring high groundwater level</i></p>	<p>12</p> 	<p>występowanie obszarów lokalnego podwyższenia poziomu wód gruntowych <i>locally occurring high groundwater level</i></p>	<p>12</p>	<p>rolniczy, na części obszaru brak użytkowania <i>agricultural land use, partly wasteland</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>podwyższony poziom wód gruntowych przeważającej części obszaru <i>heightened groundwater level of the major part of the area</i></p>
<p>występowanie obszarów lokalnego podwyższenia poziomu wód gruntowych <i>locally occurring high groundwater level</i></p>	<p>13</p> 	<p>występowanie obszarów lokalnego podwyższenia poziomu wód gruntowych <i>locally occurring high groundwater level</i></p>	<p>13</p>	<p>rolniczy <i>agricultural land use</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>podwyższony poziom wód gruntowych znacznej części obszaru <i>heightened groundwater level of the major part of the area</i></p>
<p>występowanie obszarów lokalnego podwyższenia poziomu wód gruntowych <i>locally occurring high groundwater level</i></p>	<p>14</p> 	<p>występowanie obszarów lokalnego podwyższenia poziomu wód gruntowych <i>locally occurring high groundwater level</i></p>	<p>14</p>	<p>rolniczy <i>agricultural land use</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>
<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>15</p> 	<p>brak oznak występowania wysokiego poziomu wód gruntowych <i>no indication of high groundwater level occurrence</i></p>	<p>15</p>	<p>rolniczy <i>agricultural land use</i></p>	<p>niski <i>low</i></p>	<p>występowanie obszarów lokalnego podwyższenia poziomu wód gruntowych <i>locally occurring high groundwater level</i></p>



bezpośrednio połączone. Ich wykorzystanie w niniejszym opracowaniu pozwoliło jednak na łatwiejszą charakterystykę – wyrażonych w postaci wskaźników – zmian w strukturze krajobrazu dzielnicy Wilanów.

Wymienione w tabeli 3 wskaźniki struktury krajobrazu zostały obliczone dla poszczególnych klas jednostek krajobrazowych, a następnie również dla całości krajobrazu dzielnicy w celu wyznaczenia wskaźników sumarycznych.

Obliczenie opisanych wskaźników krajobrazowych w środowisku oprogramowania FRAGSTATS wymagało przygotowania danych w formacie rastrowym. W tym celu dokonano konwersji dwóch utworzonych map struktury przestrzennej krajobrazu Wilanowa z formatu wektorowego do rastrowego. Konieczny do zdefiniowania parametr transformacji stanowił sposób przypisania wartości poligonów do komórek rastra, dla

którego przyjęto wartość odpowiadającą środkowi pikse-la, a jego wymiar zdefiniowano na 1 m × 1 m.

Zestawienie wartości wskaźników struktury krajo-brazu obliczonych dla poszczególnych klas przedstawio-no w tabeli 5, zaś dla całości terenu dzielnicy w tabeli 4.

**Analiza wyników – identyfikacja i charakterystyka zmian w strukturze przestrzennej krajobrazu Wilanowa**

Wynikiem przeprowadzonych prac są dwie mapy struktury przestrzennej krajobrazu Wilanowa w 2002 oraz 2011 roku, mapa zmian w krajobrazie dzielnicy Wilanów w latach 2002-2011, które przedstawiono na ryc. 2, oraz zestawienia wskaźników opisujących

Tabela 3. Charakterystyka wskaźników krajobrazowych wykorzystywanych w niniejszym opracowaniu (źródło: opracowanie własne na podstawie: MCGARIGAL (2015): FRAGSTATS HELP).

Table 3. Characteristic of landscape metrics used in the study (source: own authors' work done on the basis of MCGARIGAL (2015): FRAGSTATS HELP).

Nazwa i skrót wskaźnika krajobrazowego <i>Name and abbreviation of landscape metric</i>	Wzór <i>Formula</i>	Znaczenie składowych wzoru <i>Formula elements' meaning</i>	Jednostka wartości wskaźnika <i>Metric value's unit</i>
<b>Metryki powierzchni i granic / Area and Edge Metrics</b>			
Powierzchnia zajmowana przez klasę (CA) <i>Class's area</i>	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left( \frac{1}{10000} \right)$	$a_{ij}$ – powierzchnia pojedynczego płatów / <i>single patch's area</i> $n$ – liczba płatów należących do klasy / <i>number of patches composing a class</i>	ha
Udział procentowy powierzchni klasy w całości analizowanego terenu (PLAND) <i>Class's percentage of landscape</i>	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	$a_{ij}$ – powierzchnia pojedynczego płatów / <i>single patch's area</i> $n$ – liczba płatów należących do klasy / <i>number of patches composing a class</i> $A$ – powierzchnia całości analizowanego terenu / <i>hole analysed terrain's area</i>	%
Średnia wielkość jednostek tworzących klasę (AREA_MN) <i>Mean area of class's units</i>	$AREA_{MN} = \frac{CA}{n_i}$	$n_i$ – liczba płatów należących do klasy / <i>number of patches composing a class</i>	ha
<b>Metryki kształtu / Shape Metrics</b>			
Średni kształt jednostek tworzących klasę (SHAPE_MN) <i>Mean shape of class's units</i>	$SHAPE_{MN} = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}}{n_i}$	$p_{ij}$ – obwód pojedynczego płatów / <i>single patch's perimeter</i> $a_{ij}$ – powierzchnia pojedynczego płatów / <i>single patch's area</i> $n_i$ – liczba płatów należących do klasy / <i>number of patches composing a class</i>	-
<b>Metryki agregacji / Aggregation Metrics</b>			
Liczba jednostek tworzących klasę (NP) <i>Number of patches composing a class</i>	$NP = n_i$	$n_i$ – liczba płatów należących do klasy / <i>number of patches composing a class</i>	-
Średnia odległość euklidesowa jednostek tworzących klasę (ENN_MN) <i>Mean euclidean distance between patches composing a class</i>	$ENN_{MN} = \frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n_i}$	$h_{ij}$ – odległość dwóch najbliższych położonych płatów należących do jednej klasy (ich zlokalizowanych skrajnie pikseli) / <i>distance between the closest two patches belonging to the same class (their corner pixels)</i> $n_i$ – liczba płatów należących do klasy / <i>number of patches composing a class</i>	m

strukturę krajobrazu w obu terminach. Ich analiza pozwala stwierdzić, że opisywana dzielnica – zarówno w roku 2002, jak i 2011 – cechowała się relatywnie dużą różnorodnością krajobrazu. W jej granicach wyróżniono 15 klas jednostek krajobrazowych. Sposób rozmieszczenia jednostek na obszarze analizowanej dzielnicy w obu analizowanych okresach sprawił, że pewne jej części cechowały się wyższym, niż inne, stopniem wspomnianego zróżnicowania krajobrazu – w ich obrębie występowała większa liczba płatów zaliczonych do odmiennych klas – i tak:

- w 2002 r. największa różnorodność cechowała północno-wschodnią i – w mniejszym zakresie – wschodnią i południową część Wilanowa,
- w 2011 r. największe zróżnicowanie występowało w północnej oraz wschodniej i – w mniejszym stopniu – w południowej części dzielnicy.

Jak już wspomniano wcześniej, 15 wyodrębnionych klas jednostek krajobrazowych podzielono na 5 grup o zbliżonym sposobie użytkowania:

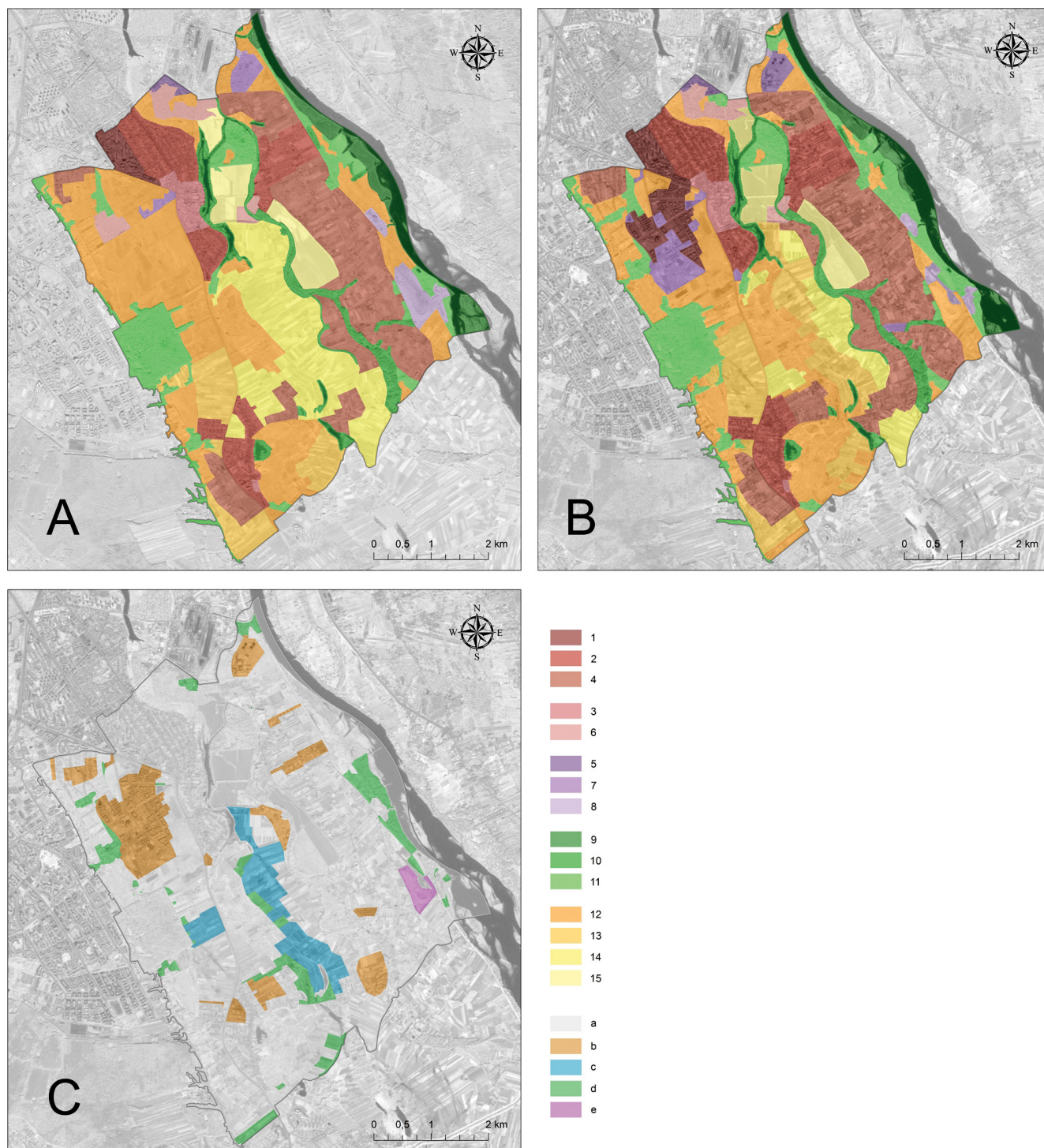
- Grupę klas o użytkowaniu mieszkaniowym (grupa I) tworzą jednostki krajobrazowe: terenów zabudowy wielorodzinnej Wilanowa Wysokiego zlokalizowanego w północnej części dzielnicy (klasa 1), obszarów zabudowy jednorodzinnej zwartej wyróżnionej w obrębie osiedli Wilanowa Niskiego na północy, Zawad na północnym wschodzie i Powsina na południu (klasa 2), a także terenów zajętych przez zabudowę jednorodziną rozproszoną zlokalizowaną przede wszystkim we wschodniej oraz południowej części Wilanowa (klasa 4);
- Grupa klas o użytkowaniu rekreacyjnym (grupa II) obejmuje jednostki krajobrazowe: Pałacu Króla Jana III wraz z otoczeniem (klasa 3 – krajobraz o funkcji reprezentacyjnej), jak również obszarów zajętych przez ogródki działkowe (klasa 6 – krajobraz rekreacyjno-wypoczynkowy);
- Grupa klas o użytkowaniu przemysłowym (grupa III) obejmuje swym zasięgiem jednostki krajobrazowe: zabudowań przemysłowych powiązanych z EC Siekierki występujących w północnej części Wilanowa (klasa 5), terenów obiektów przemysłowych innych niż zabudowa, do których zaliczono dwa obszary położonych we wschodniej części analizowanej dzielnicy – składowisko odpadów paleniskowych EC Siekierki oraz piasku wydobywanego z Wisły (klasa 8), terenów budowy, do których należała, powstająca wówczas, Oczyszczalnia Ścieków Południe usytuowana w północnej części Wilanowa, a także fragment przyszłego osiedla Miasteczko Wilanów na północnym zachodzie (klasa 7);
- Do grupy klas o użytkowaniu wodnym i leśnym (grupa IV) zaliczono jednostki krajobrazowe reprezentujące: tereny leśne reprezentowane przede wszystkim przez lasy Morysina i Natolina (klasa 11), obszary o charakterystyce zdominowanej przez wody otwarte – znaczne powierzchniowo reprezentowane przez Wisłę (klasa 9) oraz cechujące się mniejszą powierzchnią (klasa 10);

- Grupę klas o użytkowaniu rolniczym oraz cechujących się brakiem zagospodarowania (grupa V) tworzą jednostki krajobrazowe: użytków zielonych występujących głównie w zachodniej i wschodniej części dzielnicy (klasa 12), a także pól uprawnych (klasy 13, 14 i 15 różniące się stopniem uwilgotnienia gruntu oraz rozdrobnieniem poszczególnych budujących je elementów).

Analiza zmian w strukturze krajobrazu, jakie zaszły pomiędzy 2002 a 2011 r., wykonana na podstawie wydzielonych jednostek krajobrazowych, doprowadziła do stwierdzenia, że są cztery przyczyny tych zmian. Pierwszą z nich stanowi rozwój inwestycyjny Wilanowa wyrażający się wybudowaniem w północno-zachodniej części badanej dzielnicy kompleksu zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej Miasteczko Wilanów, zagęszczeniem części dotychczas rozproszonej zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej oraz ukończeniem budowy Oczyszczalni Ścieków Południe. Kolejnym czynnikiem przekształceń krajobrazu analizowanego obszaru były zmiany stosunków wilgotnościowych gruntów odnotowane w centralnej części Wilanowa. Jednakże wpływ ten ma charakter okresowy i wynika z występujących warunków pogodowych, według danych meteorologicznych rok 2011 cechował się wyższą sumą opadów niż rok 2002 i stąd obserwowana większa wilgotność na obszarach rolniczych. Trzecią spośród wyróżnionych przyczyn była sukcesja ekologiczna zaobserwowana w wielu częściach dzielnicy. Jest ona wywołana odłogowaniem gruntów ornych i wkraczaniem na te obszary roślinności występującej w formie zakrzaczeń, a także rozwojem powierzchniowym istniejącej pokrywy leśnej. Ostatnim z zaobserwowanych czynników zmian Wilanowa była rekultywacja podjęta w obrębie składowiska odpadów paleniskowych EC Siekierki.

Omawiane zmiany znalazły swoje odzwierciedlenie w wartościach wskaźników krajobrazowych obliczonych dla poszczególnych klas jednostek krajobrazowych (Tabela 5) oraz całości krajobrazu (Tabela 4):

- powierzchnia zajmowana przez poszczególne klasy jednostek krajobrazowych zmieniła się – wartości wskaźnika CA (powierzchni zajmowanej przez daną klasę) oraz PLAND (udziału procentowego powierzchni danej klasy w całości analizowanego terenu, czyli w dzielnicy) wskazują, że najwyższe dodatnie ich saldo bilansu cechuje klasy: 1 (klasę terenów zabudowy wielorodzinnej), 11 (klasę terenów lasów) oraz 13 (klasę terenów rozdrobnionych pól uprawnych o dużej wilgotności gruntu), najniższe natomiast klasy: 12 (klasę terenów użytków zielonych) i 14 (klasę terenów rozdrobnionych pól uprawnych o niewielkiej wilgotności gruntu), co przedstawiono na diagramach kołowych (ryc. 3),
- rozdrobnienie krajobrazu omawianej dzielnicy wzrosło – wartość sumarycznego wskaźnika AREA\_MN (średniej wielkości jednostek krajobrazowych tworzących daną klasę) spadła, na co wpływ w największym stopniu miały klasy 14 (tereny rozdrobnione pól uprawnych o niewielkiej wilgotności



Ryc. 2. Mapy struktury przestrzennej krajobrazu Wilanowa. A – w roku 2002; B – w roku 2011; C – zmian krajobrazu dzielnicy w latach 2002-2011.

1 – klasa terenów zabudowy wielorodzinnej; 2 – klasa terenów zabudowy jednorodzinnej zwartej; 3 – klasa terenów o funkcji reprezentacyjnej; 4 – klasa terenów zabudowy jednorodzinnej rozproszonej; 5 – klasa terenów zabudowy przemysłowej; 6 – klasa terenów rekreacyjno-wypoczynkowych; 7 – klasa terenów budowy; 8 – klasa terenów obiektów przemysłowych; 9 – klasa terenów wielkopowierzchniowych wód otwartych; 10 – klasa terenów wód otwartych o niewielkiej powierzchni; 11 – klasa terenów lasów; 12 – klasa terenów użytków zielonych; 13 – klasa terenów rozdrobnionych pól uprawnych o dużej wilgotności gruntu; 14 – klasa terenów rozdrobnionych pól uprawnych o niewielkiej wilgotności gruntu; 15 – klasa terenów wielkopowierzchniowych pól uprawnych; a – brak zmian; b – rozwój inwestycyjny; c – zmiany stosunków wilgotnościowych gleby; d – sukcesja roślinna; e – podjęcie rekultywacji.

Fig. 2. Landscape structure maps of the Wilanow district. In 2002 (A), in 2011 (B), as well as, Wilanow's landscape change between 2002 and 2011 map (C). 1 – multi-family residential areas; 2 – single-family residential areas (compact); 3 – representative places; 4 – single-family residential areas (dispersed); 5 – industrial areas; 6 – recreational areas; 7 – construction sites; 8 – heaps and dumps; 9 – huge water bodies; 10 – small water bodies; 11 – forest; 12 – grassland and pastures; 13 – high moisture fragmented arable land; 14 – low moisture fragmented arable land; 15 – consolidated arable land; a – no changes; b – urban development; c – soil moisture changes; d – ecological succession; e – reclamation of land.

gruntu) i 12 (klasa terenów użytków zielonych), zmiana średniej wielkości jednostek krajobrazowych tworzących daną klasę spowodowana jest w tym wypadku m.in. rozdziałaniem obszarów rolnych terenami zabudowy,

- podwyższeniu uległa również fragmentacja obszarów Wilanowa wyrażona wartością sumarycznego wskaźnika NP (liczby jednostek tworzących klasę), która zwiększyła się w analizowanym przedziale czasowym. Znaczący wpływ miały na to klasy: 7 (klasa terenów budowy), 12 (klasa terenów użytków zielonych) i 14 (klasa terenów rozdrobnionych pól uprawnych o niewielkiej wilgotności gruntu),
- zmianie nie uległ stopień zwartości obszaru omawianej dzielnicy – wartość sumarycznego wskaźnika SHAPE\_MN (średniego kształtu jednostek tworzących daną klasę) była taka sama w obu rozpatrywanych terminach, czego przyczyną było zbilansowanie zmian o dodatnim i ujemnym saldzie bilansu, jakie cechowało poszczególne wyróżnione klasy krajobrazowe,
- rozproszenie krajobrazu zmniejszyło się natomiast, na co wskazuje spadek wartości sumarycznej metryki ENN\_MN (średniej odległości euklidesowej jednostek tworzących daną klasę) w omawianym przedziale czasowym, na co wpływ wywarła przede wszystkim klasa 7 (klasa terenów budowy) oraz 8 (klasa terenów obiektów przemysłowych).

## Podsumowanie

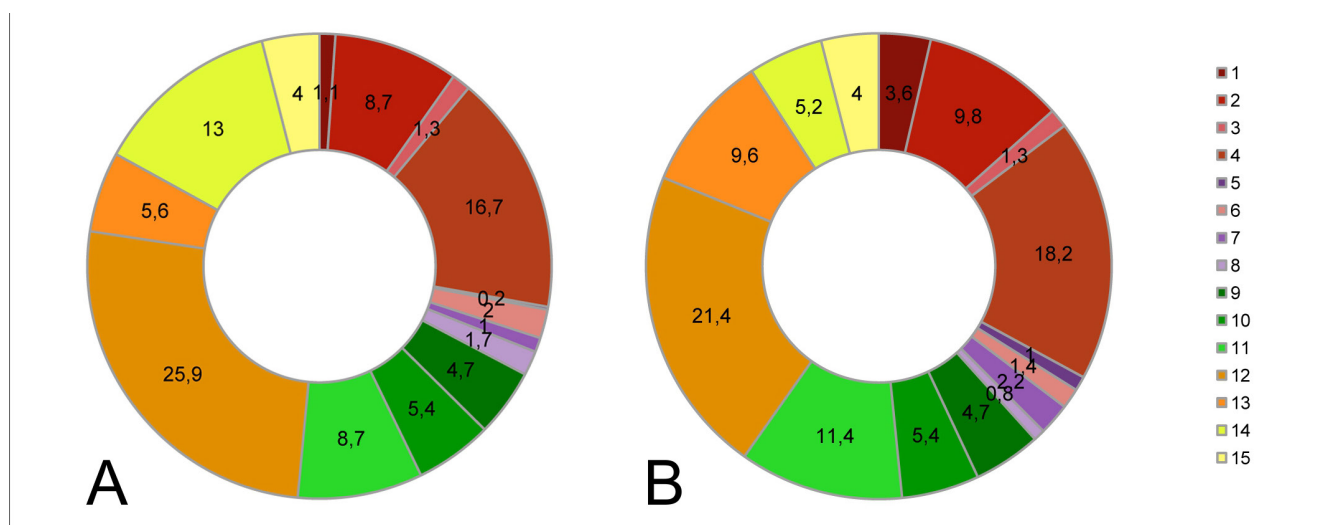
Celem niniejszego opracowania było zidentyfikowanie i charakterystyka jednostek krajobrazowych tworzących strukturę przestrzenną krajobrazu dzielnicy Wilanów w latach 2002 i 2011 na podstawie obrazów satelitarnych, a także analiza zmian, jakie cechowały tę strukturę w analizowanym okresie. Jednostki krajobrazowe wyróżniono stosując metodę fotointerpretacji ekranowej zobrazowań satelitarnych SPOT. Analizę zmian w krajobrazie dzielnicy przeprowadzono na podstawie porównania zasięgów powierzchniowych poszczególnych klas jednostek krajobrazowych wyróżnionych w obu terminach, a także obliczając wskaźniki struktury krajobrazu.

W wyniku fotointerpretacji struktury przestrzennej krajobrazu Wilanowa wyróżniono piętnaście klas jednostek krajobrazowych, które ujęto w pięciu grupach reprezentujących zbliżony sposób użytkowania terenu. Były to grupy klas o użytkowaniu: I. mieszkaniowym, II. rekreacyjnym, III. przemysłowym i podlegającym zmianom użytkowania, IV. wodnym i leśnym oraz V. rolniczym oraz cechujących się brakiem zagospodarowania. Porównując i analizując wyniki uzyskane dla obu terminów stwierdzono, że czynniki powodujące zmiany w krajobrazie dzielnicy Wilanów w latach 1992-2011 to przede wszystkim: rozwój inwestycyjny, związany z presją urbanistyczną, postępowanie sukcesji ekologicznej na obszarach rolniczych oraz podjęcie rekultywacji na obszarze poprzemysłowym. Ponadto zaobserwowano

Tabela 4. Zestawienie wartości wskaźników struktury krajobrazu obliczonych dla całości terenu dzielnicy.

Table 4. The comparison of landscape metrics' values measured for the all district's area.

AREA_MN [ha]		NP		SHAPE_MN		ENN_MN [m]	
2002	2011	2002	2011	2002	2011	2002	2011
59,1	50,9	86	104	2	2	814,3	705,5



Ryc. 3. Procentowy udział klas jednostek krajobrazowych (numery klas w słupku po prawej stronie wykresu) w całkowitej powierzchni dzielnicy Wilanów w roku 2002 (A) i w roku 2011 (B).

Fig. 3. A percentage share of the classes of landscape units (classes' numbers are presented in the column on the right) in the total Wilanow district's area in 2002 (A) and 2011 (B).

**Tabela 5.** Zestawienie wartości wskaźników struktury krajobrazu obliczonych dla wyróżnionych klas jednostek krajobrazowych w latach 2002 i 2011.  
*Table 5. The comparison of landscape metrics' values measured for each class of the landscape units in 2002 and 2011.*

CA [ha]	Metryki powierzchni i granic <i>Area and edge metrics</i>			Metryki kształtu <i>Shape metrics</i>		Metryki agregacji <i>Aggregation metrics</i>	
	PLAND [%]	AREA_MN [ha]	SHAPE_MN	NP	ENN_MN [m]		
<b>Klasy o użytkowaniu mieszkaniowym / Residential land use classes</b>							
Klasa 1	2002	41.1	1.1	41.1	1.8	1	-
<i>Class 1</i>	2011	134.0	3.6	134.0	3.1	1	-
Klasa 2	2002	320.1	8.7	80.0	1.7	4	1096.1
<i>Class 2</i>	2011	361.0	9.8	90.3	1.6	4	1123.4
Klasa 4	2002	611.2	16.7	87.3	1.9	7	673.7
<i>Class 4</i>	2011	667.0	18.2	83.4	1.7	8	635.9
<b>Klasy o użytkowaniu rekreacyjnym / Recreational land use classes</b>							
Klasa 3	2002	48.9	1.3	24.5	1.4	2	4441.7
<i>Class 3</i>	2011	48.9	1.3	24.5	1.4	2	4441.7
Klasa 6	2002	73.2	2.0	18.3	1.6	4	857.9
<i>Class 6</i>	2011	51.7	1.4	17.2	1.6	3	538.3
<b>Klasy o użytkowaniu przemysłowym / Industrial land use</b>							
Klasa 5	2002	9.0	0.2	9.0	2.3	1	-
<i>Class 5</i>	2011	35.6	1.0	17.8	1.8	2	690.3
Klasa 7	2002	36.6	1.0	18.3	1.7	2	2009.8
<i>Class 7</i>	2011	81.4	2.2	10.2	1.5	8	566.3
Klasa 8	2002	62.1	1.7	20.7	1.6	3	1502.9
<i>Class 8</i>	2011	28.3	0.8	7.1	1.7	4	1043.5
<b>Klasy o użytkowaniu wodnym i leśnym / Aquatic and forest land use classes</b>							
Klasa 9	2002	174.3	4.7	174.3	4.0	1	-
<i>Class 9</i>	2011	170.8	4.7	170.8	3.9	1	-
Klasa 10	2002	198.6	5.4	16.6	2.2	12	275.7
<i>Class 10</i>	2011	196.5	5.4	15.1	2.0	13	267.8
Klasa 11	2002	318.2	8.7	15.2	2.4	21	243.3
<i>Class 11</i>	2011	417.2	11.4	19.9	2.4	21	217.0
<b>Klasy o użytkowaniu rolniczym oraz cechujące się brakiem zagospodarowania / Agricultural land use and wasteland classes</b>							
Klasa 12	2002	948.5	25.9	52.7	1.9	18	183.6
<i>Class 12</i>	2011	785.9	21.4	35.7	2.0	22	135.1
Klasa 13	2002	204.6	5.6	40.9	1.6	5	345.5
<i>Class 13</i>	2011	353.1	9.6	50.4	1.9	7	199.2
Klasa 14	2002	474.8	13.0	237.4	2.3	2	279.1
<i>Class 14</i>	2011	189.6	5.2	37.9	1.7	5	417.4
Klasa 15	2002	148.6	4.0	49.5	1.6	3	305.9
<i>Class 15</i>	2011	148.6	4.0	49.5	1.6	3	305.9

okresową zmianę stosunków wilgotnościowych gruntów rolnych, która była spowodowana sytuacją pogodową w roku 2011 (wyższe od średniej wieloletniej opady). Przekształcenia powstałe na skutek omówionych przyczyn wpłynęły także na wyniki obliczonych sumarycznych wskaźników krajobrazowych. Ich wartości wykazały, że w latach 2002-2011 nastąpił m.in. wzrost rozdrobnienia krajobrazu dzielnicy Wilanów, podwyższenie fragmentacji obszaru i zmniejszenie jego rozproszenia. Zarówno rozdrobnienie (zmiana średniej wielkości jednostek krajobrazowych tworzących daną klasę), jak i fragmentacja (liczba jednostek danej klasy) krajobrazu zostały spowodowane zwiększeniem się liczby terenów budowy i terenów rozdrobnionych pól uprawnych, do czego przyczyniła się nowopowstała i nadal powstająca zabudowa, która rozdzieliła większe kompleksy pól uprawnych i użytków zielonych, zwiększając ich liczbę i zmniejszając średnią wielkość jednostek krajobrazowych danej klasy. Zaobserwowane zależności wskazują, że zastosowane w niniejszej pracy wskaźniki krajobrazowe mogłyby być wykorzystywane do badania procesów urbanizacji i suburbanizacji, ponieważ dobrze odzwierciedlają obserwowane zmiany w krajobrazie terenów podmiejskich. W zależności od etapu procesu urbanizacji terenów podmiejskich wskaźniki krajobrazowe przybierają odmienne wartości. W początkowej fazie procesu rozdrobnienia, fragmentacja i rozproszenie krajobrazu będą wzrastać, ale w późniejszej fazie, z uwagi na większą konsolidację obszarów zabudowanych, będzie maleć. W celu wykorzystania wskaźników struktury krajobrazu do oceny stopnia procesów urbanizacyjnych konieczne byłoby jednak opracowanie bardziej obiektywnej metody delimitacji jednostek krajobrazowych, tak aby uzyskiwane wyniki były w jak najmniejszym stopniu obciążone subiektywizmem interpretatora.

## Literatura

- CHMIELEWSKI T. J., 2008. *Zmierzając ku ogólnej teorii systemów krajobrazowych*. Problemy Ekologii Krajobrazu T. XXI, Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, s. 93-108.
- CHMIELEWSKI T. J., 2012. *Systemy krajobrazowe, Struktura-Funkcjonowanie-Planowanie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 408.
- DEL CASTILLO E. M., GARCÍA-MARTIN A., ALADRÉN, L.A.-L., DE LUIS M., 2015. *Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain)*. Applied Geography 62, Elsevier, 247-255.
- DREXLER D., 2013. *Landscape, Paysage, Landschaft, Táj: The Cultural Background of Landscape Perceptions in England, France, Germany, and Hungary*. Journal of Ecological Anthropology, Vol. 16, No. 1, 85-96.
- HEROLD M., SCEPAN J., CLARKE K., 2002. *The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses*. Environment and Planning A vol. 34, SAGE Publications, 1443-1458.
- JI W., 2008. *Landscape effects of urban sprawl: spatial and temporal analyses using remote sensing images and landscape metrics*. ISPRS Archives, Vol. XXXVII, Part B, 1691-1694.
- KONDRACKI J., RICHLING A., 1983. *Próba uporządkowania terminologii w zakresie geografii fizycznej kompleksowej*. Przegląd Geograficzny T. LV, z.1, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Polska Akademia Nauk, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 201-210.
- MCALPINE C., EYRE T., 2002. *Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forest (Queensland, Australia)*. Landscape Ecology, Volume 17, Issue 8, Kluwer Academic Publishers, 711-728.
- MCGARIGAL K., 2015. *Fragstats Help*. 77-171.
- MCGARIGAL K., MARKS B., 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Gen. Tech. Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR., 9-12.
- MAJCHROWSKA A., 2008. *Systematyzacja krajobrazów w wybranych krajach europejskich*. Problemy Ekologii Krajobrazu T. XX, Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, 127-134.
- MULARZ S., DRZEWIECKI W., 2008. *Interpretacja głównych elementów krajobrazu na teledetekcyjnych obrazach lotniczych i satelitarnych*. Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 101-107.
- MULARZ S., DRZEWIECKI W., PIROWSKI T., 2007. *Teledetekcyjne metody rejestracji krajobrazu*. Roczniki Geomatyki T. V, z. 8, Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, 67-78.
- OLEDZKI R. J., 1992. *Geograficzne uwarunkowania różnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podziału na jednostki fotomorficzne*. Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, poz. 396, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, s. 290.
- OLEDZKI R.J., 2001. *Regiony fotomorficzne Polski*. Akapit-DTP, Warszawa, s. 245.
- RICHLING A., SOLON J., 2011. *Ekologia krajobrazu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 464.
- SOLON J., 2007. *Współczesne koncepcje ekologiczno-krajobrazowe i ich przenikanie do innych nauk o środowisku przyrodniczym*. W: Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju, red. Ostaszewska K., Szumacher I., Kulczak S., Malinowska E., Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, 57-74.
- SOLON J., 2008. *Przegląd wybranych podejść do typologii krajobrazu*. Problemy Ekologii Krajobrazu T. XX, Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, 25-33.
- SUTTHIVANICH I., ONGSOMWANG S., 2015. *Evaluation on Landscape Change Using Remote Sensing and Landscape Metrics: A Case Study of Sakaerat Biosphere Reserve (SBR), Thailand*. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 6 No. 3, Springer Berlin Heidelberg, 182-186.



**Inż. Aleksandra RADECKA** jest studentką studiów magisterskich na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. Interesuje się zastosowaniami teledetekcji i GIS w badaniach środowiska miejskiego.



**Dr hab. inż. Katarzyna OSIŃSKA-SKOTAK** jest absolwentką Wydziału Geodezji i Kartografii (spec. Fotogrametria i Kartografia) oraz Wydziału Inżynierii Środowiska (spec. Ochrona Atmosfery i Meteorologia Techniczna) Politechniki Warszawskiej. W 2001 r. uzyskała z wyróżnieniem stopień doktora, a w roku 2011 stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie naukowej geodezja i kartografia (spec. teledetekcja i fotogrametria). Obecnie jest kierownikiem Zakładu Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. Zajmuje się zaawansowanymi technikami teledetekcji i GIS, w szczególności w zakresie ich wykorzystania w badaniach środowiska (m.in. w badaniach jakości wód śródlądowych, w planowaniu przestrzennym, w badaniach zjawiska miejskiej wyspy ciepła). Posiada duże doświadczenie w zakresie przetwarzania obrazów satelitarnych i korekcy atmosferycznej zdjęć satelitarnych, opracowała m.in. metodę korekcy atmosferycznej jednokanałowych zdjęć termalnych, metodę obliczania temperatury powierzchni Ziemi na podstawie jednokanałowych zdjęć termalnych oraz zaproponowała metodykę przetwarzania zdjęć superspektralnych do oceny stanu wód śródlądowych. Odebrała staże naukowe, m.in. w Belgii na Uniwersytecie w Gent (1996), we Francji w GDTA w Toulouse (1997), w Niemczech na Uniwersytecie we Freiburgu (1998-1999, w ramach stypendium Fundacji im. Nowickiego i Fundacji DBU), w Niemieckim Centrum Kosmicznym w Oberpfaffenhofen k. Monachium (1999), w Szwecji na KTH (1999). Współzałożycielka Stowarzyszenia "Środowisko dla Środowiska". Członek Grupy Ekspertów przy Sekcji Teledetekcji Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych przy Prezydium PAN, członek Zarządu Oddziału Teledetekcji i Geoinformatyki PTG, członek Komisji Głównej ds. Zawodu i Kształcenia Zawodowego Stowarzyszenia Geodetów Polskich oraz członek Platformy Technik Kosmicznych Politechniki Warszawskiej.