

## ANALIZA ROZWOJU SIERADZA NA PODSTAWIE INTERPRETACJI ZDJĘĆ LOTNICZYCH I WALORYZACJI PRZESTRZENI Z WYKORZYSTANIEM ELEMENTÓW TEORII ZBIORÓW ROZMYTYCH

Mariola Matuszewska<sup>1</sup>✉, Krzysztof Będkowski<sup>2</sup>✉

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-7945-343X

<sup>1</sup> Mark Net Marek Knapski

ul. Waryńskiego 13 96-100 Skierniewice, **Polska**

<sup>2</sup> Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji, Uniwersytet Łódzki

ul. Kopcińskiego 31, 90-142 Łódź, **Polska**

### ABSTRAKT

Rozprzestrzenianie się miast stanowi poważne wyzwanie urbanizacyjne i przyrodnicze oraz znacząco wpływa na jakość życia mieszkańców. Celem badań było sprawdzenie możliwości analizy zjawiska rozprzestrzeniania się Sieradza na podstawie interpretacji wieloczasowych zdjęć lotniczych. Wykorzystano zdjęcia lotnicze z lat: 1959, 1996 i 2015 oraz Bazę Danych Obiektów Topograficznych. Wyróżniono 22 formy użytkowania terenu, którym przypisano zapożyczone z literatury współczynniki określające stopień ich przynależności do miejskiego sposobu użytkowania przestrzeni. Obszar miasta podzielono na sześciokątne pola podstawowe (o powierzchni 1 ha) i określono w nich udział poszczególnych form użytkowania terenu, a następnie obliczono wskaźnik  $M$ , który określa, w jakim stopniu każde pole podstawowe należy do miejskiego sposobu użytkowania przestrzeni. Sześciokąty zaliczono do strefy miejskiej ( $0,5 < M \leq 1,0$ ), przejściowej ( $0,3 \leq M \leq 0,5$ ) lub o przewadze wiejskiego sposobu użytkowania przestrzeni ( $0 \leq M < 0,3$ ). Wykonano także mapy przyrostu tego wskaźnika w badanych okresach.

W mieście niezmiennie przeważały tereny o wiejskim charakterze użytkowania przestrzeni, bowiem Sieradz ma duży udział terenów rolniczych, roślinności trawiastej, terenów leśnych i zadrzewionych oraz sadów, plantacji i ogródków działkowych. Wraz z upływem czasu zwiększa się jednak powierzchnia obszarów o typowo miejskim sposobie użytkowania, które znajdują się głównie w centralnej oraz wschodniej części miasta i wyraźnie zbliżają się do jego południowej granicy, co jest potwierdzeniem ekspansji zabudowy miejskiej na tereny peryferyjne. Do roku 1996 przyrost wskaźnika  $M$  widoczny był głównie w centralnej części miasta, a w następnym okresie ujawniły się wyraźne „wyspy” tego wzrostu dosyć odległe od centrum. W okresie 1959–1996 można zauważyć w Sieradzu wczesny etap rozwoju zjawiska *urban sprawl* – głównie postępującą zabudowę w pobliżu kolei. W późniejszych latach natomiast wzrost dostępności do transportu samochodowego był przyczyną pogłębiającego się zjawiska „rozlewania się” zabudowy na tereny peryferyjne, powodując żywiołowy rozwój przedmieść. W badaniach wykazano, że zjawisko *urban sprawl* dotyczy także miast o średniej wielkości i potwierdzono przydatność archiwalnych zdjęć lotniczych i opracowań wykonanych z zastosowaniem teorii

✉ [matuszewska-m@o2.pl](mailto:matuszewska-m@o2.pl), ✉ [krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl](mailto:krzysztof.bedkowski@geo.uni.lodz.pl)

zbiorów rozmytych do analizy rozprzestrzeniania się miast. Wykorzystana metoda jest względnie prosta w użyciu oraz może być w pełni zautomatyzowana.

**Słowa kluczowe:** teledetekcja, rozprzestrzenianie się miast, miejski i wiejski sposób użytkowania przestrzeni, zbiory rozmyte, strefa podmiejska, suburbanizacja, dane wieloczasowe

## WSTĘP

Już w XVIII w. w Londynie zaobserwowano przenoszenie się ludzi najbogatszych na obszary peryferyjne, gdzie wznosili swoje wille, które były wyznacznikiem ich bogactwa, a zarazem miejscem odpoczynku. Druga dekada XIX w. była początkiem suburbanizacji w Stanach Zjednoczonych. Zjawisko rozprzestrzeniania się miast (ang. *urban sprawl*) jest obecnie problemem występującym na wszystkich kontynentach, choć jest badane przede wszystkim w Europie, w której bodaj najwcześniej zdano sobie sprawę z ograniczoności zasobów, w tym przestrzeni, i gdzie nie bez powodu silnie rozwijane są koncepcje tzw. rozwoju zrównoważonego (Kozłowski 2006). Rozprzestrzenianie się miast generuje wiele szkód w różnych aspektach – ekologicznym, społecznym i ekonomicznym. Stanowi poważne wyzwanie urbanizacyjne, przyrodnicze i znacząco wpływa na jakość życia, ogranicza możliwości rozwojowe miast i całych regionów. Negatywne strony zjawiska ujawniają się w bardziej zaawansowanej jego fazie, gdy zmiany są na ogół już nieodwracalne, a dotyczą one zarówno mieszkańców powiększających się przedmieść, jak i centrów miast (Dylewski 2006).

Zmiany w peryferiach dużych miast doprowadzają zazwyczaj do nieplanowanej lokalizacji funkcji, zmian użytkowania ziemi, uciążliwego wydłużania sieci infrastruktury komunalnej oraz połączeń transportowych. Przemiany w strefach podmiejskich mogą także doprowadzić do pojawienia się ograniczeń przestrzennych w dostępie do pewnych obszarów, bądź nawet ich wyłączenia z obecnego użytkowania (Urban sprawl... 2006, Ulańska i in. 2012). *Urban sprawl*, w Europie zwane także *Eurosprawl*, prowadzi do powstawania nowych form przestrzennych (Litwińska 2010): w sposób ciągły zagospodarowywane są przedmieścia na obrzeżach miasta, powstają pasma niskiej zabudowy wzdłuż dróg, albo skupiska

małych domów oddalonych od siebie, wyodrębniają się tereny intensywnego rozwoju małych jednostek osadniczych położonych w obszarze oddziaływania miasta. Sadowy (2008) wskazuje, że planistyczne granice miejskie zaczęły się rozmywać na skutek uwidocznienia się na peryferiach nieintensywnej zabudowy wykraczającej poza granice administracyjne miasta. W oddali od centrum miasta powstają ośrodki usługowo-handlowe, metropolie nabierają właściwości policentrycznych. Znaczna liczba zamożnych mieszkańców przenosi się na obrzeża kosztem dzielnic śródmiejskich.

Rozprzestrzenianie się miast jest zjawiskiem powszechnym, nienowym oraz w pewnym sensie naturalnym, wręcz nieuniknionym. Związane jest z procesem suburbanizacji, jednym z elementów cyklicznego rozwoju miasta zaproponowanym przez Leo van den Berga (Jałowiecki i Szczepański 2013). Określenie wzorców rozwoju niezbędnych w analizie empirycznej jest jednak bardzo trudne i złożone z uwagi na wieloaspektowy charakter tego zjawiska. Ostatecznie zjawisko rozlewania się miast należy oceniać po jego konsekwencjach (Ewing i in. 2002). Biłozor (2012) podkreśla, że miasto nie może pozostać niezmienione, każda metropolia podlega procesowi ciągłych zmian. W ramach strefy podmiejskiej wyodrębnia się obszar, który jest styczny do granic inwestycji miejskich, planistycznie ciągły, przeznaczony do lokalizacji tych funkcji służących obsłudze miasta, które nie mogą być umiejscowione w samym mieście. Wystarczy, że 40% ogólnej powierzchni terenów peryferyjnych miasta użytkowana jest do wykonywania różnych czynności związanych z obsługą miasta, aby stwierdzić, że ukształtował się typ strefy przejściowej (Hopfer i in. 1987). Analizując, w przyjętych jednostkach przestrzennych, charakterystyki przestrzeni miasta można je wykorzystać do wyodrębnienia stref funkcjonalnych miasta, a także do ustalenia granic samego miasta i strefy przejściowej między miastem

i wsią. Biłozor (2005, 2012) wprowadził tutaj pojęcia miejskiego i wiejskiego sposobu użytkowania przestrzeni i propozycje analiz oparte na teorii zbiorów rozmytych.

Zdjęcia lotnicze, jak podaje Jędrzejczyk (1998), do polskiej teorii i praktyki urbanistycznej wprowadził już w 20-leciu międzywojennym Jeromin Feliński, wybitny architekt i urbanista. Interpretacja zdjęć lotniczych, a także satelitarnych, pozwala na badanie genezy i funkcjonowania przestrzeni miejskiej, sprawne wyodrębnianie obszarów funkcjonalnych miast, daje podstawy do opracowywania planów ich optymalizacji i racjonalizacji. Obecnie stosowanie zdjęć w analizach przestrzeni miast jest powszechne, korzysta się z interpretacji ich treści (Głębocki 1977, Olędzki i Mycke 1977, Tomaszewski 1977, Mycke-Dominko 1985, Kaczyński 1997, Bujakiewicz i in. 2002) oraz zaawansowanych metod przetwarzania cyfrowego obrazów i analizy z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej (Hofman 2001, Iwaniak i in. 2002, Wyczałek i in. 2004, Remote sensing... 2010, Nowocień 2011, Kupidura 2015, Radecka i Osińska-Skotak 2015, Jafari i in. 2016, Li i in. 2016) i wielu innych.

Celem badań opisanych w prezentowanej pracy było sprawdzenie możliwości analizy zjawiska rozprzestrzeniania się miasta na podstawie interpretacji wieloczasowych zdjęć lotniczych z wykorzystaniem wskaźników stopnia miejskiego i wiejskiego użytkowania przestrzeni oraz elementów teorii zbiorów rozmytych. Celem praktycznym opracowania jest zbadanie rozprzestrzeniania się Sieradza, a także kierunków dalszej ekspansji miasta.

## **OBSZAR BADAŃ**

Badania dotyczą przestrzennego rozwoju Sieradza, miasta w województwie łódzkim, na Nizinie Południowowielkopolskiej, w centralnej części Kotliny Sieradzkiej, w całości w dorzeczu Warty, której dolina jest korytarzem ekologicznym. Powierzchnia miasta wynosi 51,22 km<sup>2</sup>. Sieradz dysponuje korzystnymi połączeniami zewnętrznymi z regionem, województwem oraz krajem (Zmiana studium... 2012).

Układ przestrzenny miasta jest przejrzysty i pozwala wydzielić kilka faz jego rozwoju. Pierwsza z tych faz utrzymywała się do połowy XIII w. i była związana z przedlokacyjną historią grodu umiejscowionego w zakolu Żegliny, lewobrzeżnym dopływie Warty. W badaniach archeologicznych wykazano, że na obszarze opracowania osadnictwo rozwijało się silnie już od połowy XI w. Osadnictwo zajmowało powierzchnię ok. jednego hektara. Obszar ten zamieszkiwało 750 osób w około 100 domach (Rosin 1977), a następnie ludność przeniosła się z bagnistych terenów doliny Warty na wysoczyznę. Przekształcenia te powiązane były z lokacją miasta na prawie niemieckim w połowie XIII w. Pochodzący z tej fazy rozwoju miasta układ urbanistyczny w najstarszej, średniowiecznej, centralnej części nie został zmieniony. Sieradz otrzymał prawa miejskie w r. 1247 od Kazimierza Konradowicza (Rosin 1977). W latach 1262–1263 powstało Księstwo Sieradzkie, które w drugiej połowie XIV w. przekształciło się w województwo sieradzkie (Infooko... 2017).

Analizując historię miasta, należy wspomnieć, że podczas rozbiorów Polski Sieradz dostał się do zaboru pruskiego. Ważnym elementem rozwoju zabudowy miasta była budowa linii kolejowej w 1902 r. Położenie stacji kolejowej w północno-zachodniej części Sieradza w odległości około 1,5 km od śródmieścia skutkowało szybkim wzrostem zabudowy wzdłuż linii kolejowej oraz sąsiadujących ulic. Ograniczył ją wybuch I wojny światowej (Żebrowska 1977). Zmiany dokonane na przełomie XIX i XX stulecia skutkowały przesunięciem strefy zwartej zabudowy głównie w kierunku zachodnim oraz południowym. Zabudowania zapełniły puste obszary przestrzenne między wyspami osadniczymi, takimi jak Stare i Nowe Miasto oraz Poświętna Górka i Duże Olendry oraz Małe Olendry. Zauważono rozprzestrzenianie się zabudowy na niezabudowane tereny ułożone między miastem i położoną poza nimi stacją kolejową Łódź–Kalisz (Jaworski 1982).

W latach 1918–1939 Sieradz był miastem na prawach powiatu – wzrosło znaczenie funkcji usługowej oraz kulturalnej. Miało to wpływ na sposób rozwoju zabudowy. Okresem intensywnego wzrostu zabudowy

w mieście były lata 1923–1933. Najszybciej zabudowa rozwijała się w centrum, dominowała tam zabudowa dwu- lub trójkondygnacyjna. W południowych oraz północnych dzielnicach ówczesnego miasta znajdowały się głównie budynki mieszkalne jednokondygnacyjne. Dzielnice te charakteryzowały się zabudową chaotyczną, przeważały gospodarstwa domowe jedno- lub dwurodzinne. W zachodniej części miasta wzdłuż linii kolejowej zlokalizowały się zakłady przemysłowe. Były to głównie fabryki ukierunkowane na zaspokajanie potrzeb powiatu (Żebrowska 1977).

W 1939 r. Sieradz był bombardowany i część budowli uległa zniszczeniu. Jego rozwój przestrzenny podczas okupacji niemieckiej został zahamowany. Po wyzwoleniu Sieradza (23 stycznia 1945 r.) władze miejskie niezwłocznie podjęły odbudowę zniszczonego miasta, uruchomiono również zakłady przemysłowe. Już w 1951 r. powstał plan rozwoju przestrzennego miasta, w którym zakładano rozwój budownictwa wielomieszkaniowego oraz rozbudowę prywatnego budownictwa jednorodzinnego. Na terenach nowych dzielnic wyróżniono trzy rodzaje zabudowy: śródmiejską i miejską czterokondygnacyjną oraz wielorodzinną, podmiejską o zabudowie niskiej, jednorodzinnej o dużej powierzchni działki budowlanej, a także zabudowę osiedli wiejskich, które zlokalizowane były tylko w północnej i południowej części miasta. Dawne śródmieście zaliczono do zabudowy śródmiejskiej. Rozwój przemysłu oraz budownictwa mieszkaniowego zmusiły władze miejskie do przebu-

dowy szlaków komunikacyjnych. Zaprojektowano nową obwodnicę w południowej części Sieradza, w pobliżu nowego centrum. W 1964 r. rozporządzeniem Prezesa Rady Ministrów zmieniono granice miasta poprzez wcielenie 128 hektarów z gromady Monice. W 1967 r. obszar miasta zwiększył się do 1517 ha, a w 1971 r. do 1670 ha (Żebrowska 1977).

Od 1 czerwca 1975 r. do 31 grudnia 1998 r. Sieradz był miastem wojewódzkim. W 1999 r. ponownie stał się miastem powiatowym w województwie łódzkim.

## MATERIAŁY I METODY

Głównym źródłem danych wykorzystanych w badaniach były zdjęcia lotnicze obszaru Sieradza – czarno-białe, panchromatyczne z roku 1959, barwne z 1996 r. i barwne z 2015 r., a także Baza Danych Obiektów Topograficznych. Zdjęcia wpisano w układ współrzędnych prostokątnych płaskich oparty na odwzorowaniu Gaussa-Krügera (odwzorowanie kartograficzne pasów południkowych; wiernokątne, walcowe) – PUWG 1992 na elipsoidzie GRS80. Źródłem współrzędnych georeferencyjnych była ortofotomapa udostępniona przez CODGiK w usłudze WMS. Wyniki transformacji rastrów zdjęć do przyjętego układu współrzędnych zestawiono w tabeli 1.

Interpretację zobrażeń lotniczych wykonano na podstawie rozpoznania, oceny oraz klasyfikacji obiektów i zjawisk odfotografowanych na zdjęciach, wyłącznie za pomocą obserwacji wizualnej, z wyko-

**Tabela 1.** Wyniki transformacji rastrów zdjęć do układu współrzędnych PUWG 1992

**Table 1.** Results of transformation of image raster to the PUWG 1992 coordinate system

Rok Year	Rodzaj zdjęć Type of images	Liczba zdjęć Number of images	Liczba punktów kontrolnych (min-max), średnia Number of GCPs (min, max), average	Błąd RMS RMS error		
				RMS <sub>min</sub> [m]	RMS <sub>max</sub> [m]	RMS <sub>mean</sub> [m]
1959	czarno-białe black and white	12	(4–11) 6	0,3	18,8	6,3
1996	barwne natural color RGB	7	(5–8) 6	4,3	12,8	10,1
2015	barwne natural color RGB	17	(6–13) 9	1,0	6,1	3,0

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



rzystaniem pośrednich i bezpośrednich cech rozpoznawczych obiektów.

Istotnym elementem metodyki jest to, że warstwę informacyjną GIS opisującą użytkowanie terenu Sieradza w roku 1996 utworzono poprzez skopiowanie warstw BDOT z roku 2015 i odpowiednie „wsteczne” skorygowanie ich treści o różnice odczytane (zinterpretowane) na zdjęciach. Tą samą drogą utworzono warstwę informacyjną dla roku 1959 na podstawie warstwy dotyczącej roku 1996. Dzięki takiemu rozwiązaniu zapewniono spójność przestrzenną warstw danych.

Do interpretacji zdjęć z całego analizowanego okresu (1959–2015) zastosowano jednolitą metodykę. Zidentyfikowano 22 formy użytkowania terenu, które wyróżniono na podstawie standardowych cech rozpoznawczych: wielkości, kształtu, barwy, struktury i tekstury obrazu pojedynczych obiektów oraz korelacji między obiektami, które są rozumiane przez sąsiedztwo oraz usytuowanie w przestrzeni. Formy te wyodrębniono zgodnie z zaadaptowanymi wytycznymi technicznymi TBD (Topograficznej Bazy Danych). Uzasadnieniem jej użycia była chęć zastosowania w czasie wektoryzacji zdjęć tej samej metodyki jak ta wykorzystana podczas tworzenia Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) Sieradza z 2015 r., którą otrzymano z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Uzyskane warstwy interpretacyjne (rys. 1) użyto do wyznaczenia prostych statystyk użytkowania obszaru miasta (tab. 2).

Pojęcie **użytkowania terenu** związane jest z pełnionymi przez dany teren funkcjami, którego nie należy mylić z **pokryciem terenu** opisującym fizyczny stan fragmentu powierzchni Ziemi ze względu na znajdujące się na niej obiekty naturalne i antropogeniczne (Ciołkosz i Poławski 2005). Metody teledetekcyjne umożliwiają przede wszystkim odczytanie (zidentyfikowanie) form pokrycia terenu. Przejście z pokrycia na użytkowanie terenu jest w teledetekcji możliwe w procesie interpretacji treści zdjęć, jednak obarczone jest ryzykiem popełnienia niekiedy znacznych błędów, szczególnie gdy zdjęcia lotnicze są w małej skali. Autorzy prezentowanej pracy starali

się zminimalizować możliwość popełnienia błędów interpretacyjnych poprzez stałe konfrontowanie treści zdjęć z zawartością BDOT. W treści pracy, mimo różnego znaczenia przywołanych terminów, konsekwentnie używane jest wyłącznie pojęcie **użytkowanie terenu**. Zabieg ten ma także zapewnić zgodność z przyjętymi za Biłozorem (2005, 2012) i stosowanymi tutaj pojęciami **miejskiego i wiejskiego sposobu użytkowania przestrzeni**.

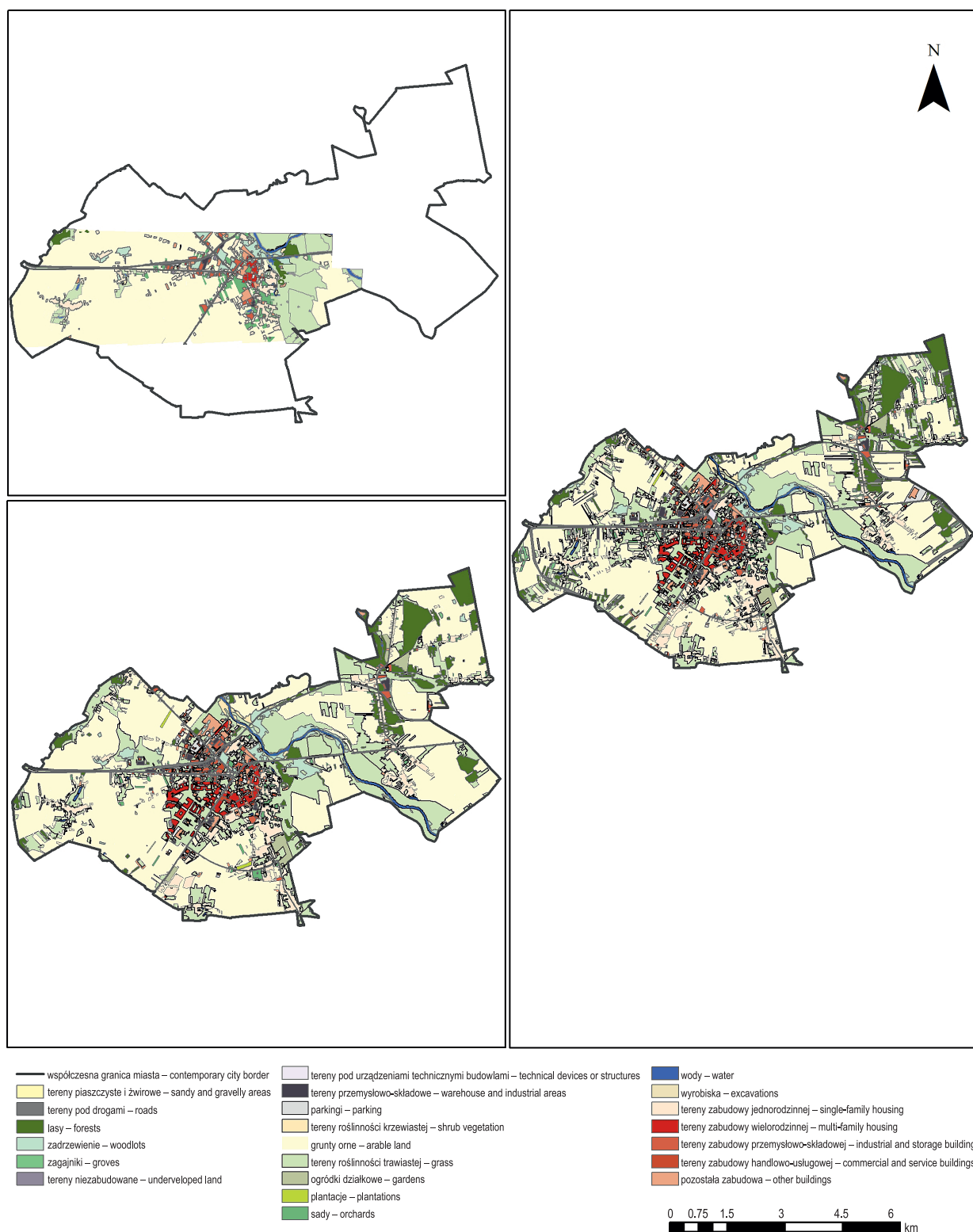
Ocenę zjawiska rozlewania się miasta przeprowadzono z zastosowaniem metody identyfikacji i lokalizacji strefy przejściowej między miastem i wsią zaproponowanej przez Biłozora (2005, 2012), która opiera się na koncepcji teorii zbiorów rozmytych. Dla poszczególnych form użytkowania przestrzeni przyjęto wskaźnik  $M$  (liczby z zakresu 0–1) określający stopień ich przynależności do tzw. miejskiego sposobu użytkowania przestrzeni. Ta sama forma użytkowania terenu może być także zaliczona do wiejskiego sposobu użytkowania przestrzeni (wskaźnik  $W$ ), przy czym wskaźniki dopełniają się do jedności:  $M + W = 1$ . Jako że w oryginalnej tabeli Biłozora (2005) brakowało wskaźników  $M$  dla czterech form użytkowania terenu zidentyfikowanych na terenie Sieradza, przyjęto dla nich wartości w ocenie zbliżone do podobnych im i znajdujących się już w tabeli form: tereny piaszczyste i żwirowe (0,20), tereny niezabudowane (0,64), roślinność trawiasta (0,13), wyrobisko (0,20).

W badaniach zastosowano sześciokątne pola podstawowe o wielkości 1 ha, dla których obliczono udział procentowy form użytkowania terenu, przypisano wartość wskaźnika przynależności do miejskiego sposobu użytkowania przestrzeni  $M$  oraz określono przynależność całego pola do miejskiego sposobu użytkowania przestrzeni:

$$M = \sum_{i=1}^n f_i M_i$$

gdzie:

- $f_i$  – udział  $i$ -tej formy użytkowania terenu w powierzchni pola podstawowego,
- $M_i$  – wskaźnik przynależności  $i$ -tej formy użytkowania terenu do miejskiego sposobu użytkowania przestrzeni,
- $n$  – liczba form użytkowania terenu ( $n = 22$ ).



**Rys. 1.** Użytkowanie terenu w Sieradzu w latach 1959, 1996 i 2015. Opracowanie dla roku 1959 ograniczone jest do zasięgu dostępnych zdjęć lotniczych, granice miasta pochodzą z 2015 r.

**Fig. 1.** Land use in Sieradz 1959, 1996 and 2015. The study for 1959 is limited to the range of available aerial photographs, the city borders are from 2015

Źródło: opracowanie własne

Source: own study

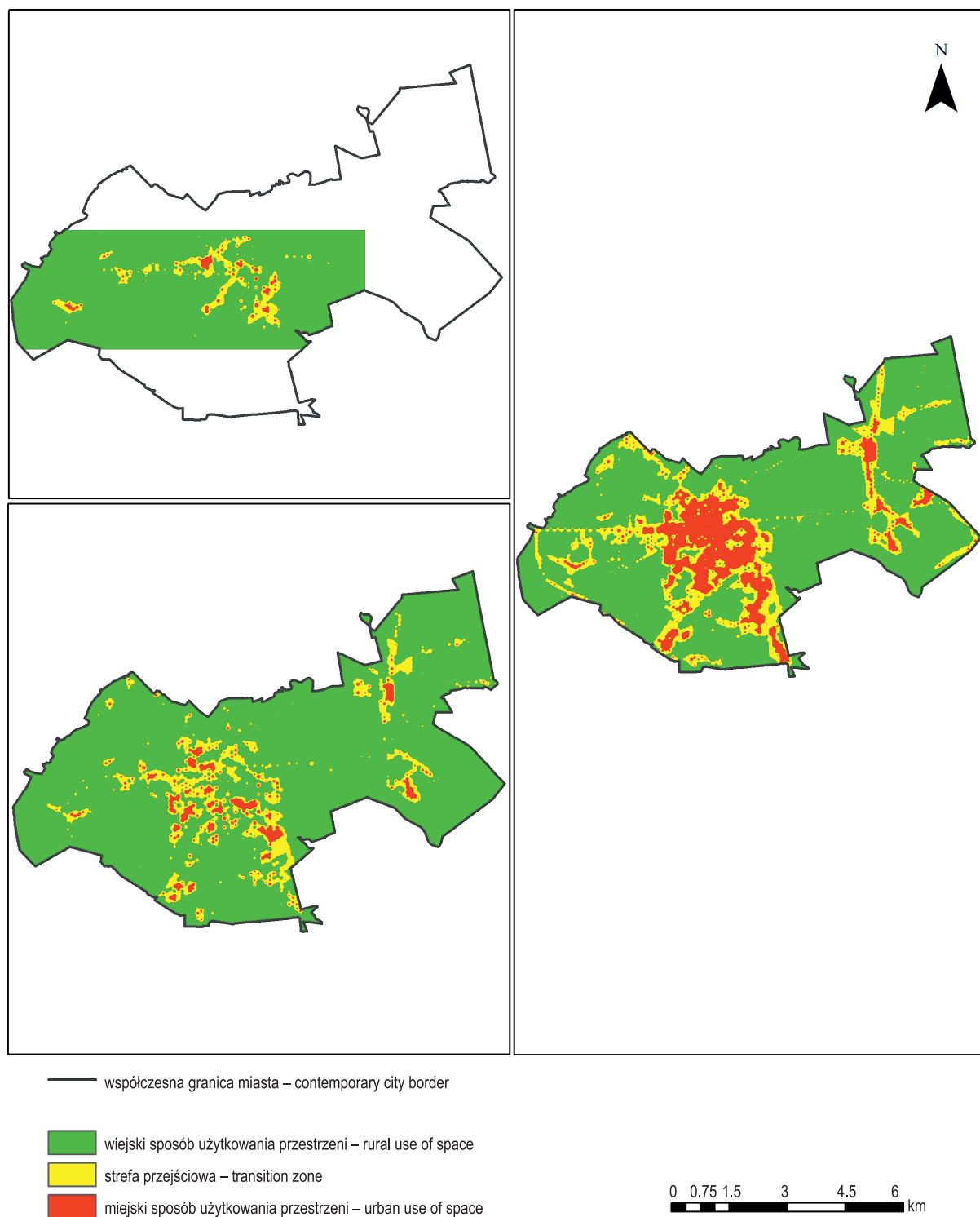
**Tabela 2.** Statystyki użytkowania terenu w Sieradzu w latach 1959–1996–2015. Dane dla 1959 r. dotyczą obszaru wyznaczonego przez zasięg dostępnych zdjęć, a dla lat 1996 i 2015 całego obszaru miasta w granicach z 2015 r.

**Table 2.** Statistics on land use in city Sieradz in the years 1959–1996–2015. Data for 1959 referred to the area designated by the range of available photos, and for the years 1996 and 2015 the entire city area within the limits of 2015

Rodzaj terenu Land use class	Udział danego rodzaju terenu w powierzchni miasta [%] Share of a given land use class in the city's area [%]				
	w zasięgu zdjęć lotniczych z 1959 r. within limits of aerial photographs from 1959			w granicach miasta z 2015 r. within city limits as of 2015	
	1959	1996	2015	1996	2015
Tereny piaszczyste i żwirowe Sandy and gravelly areas	–	0,02	0,02	0,01	0,01
Tereny pod drogami – Roads	2,18	2,26	2,95	1,71	2,39
Lasy – Forests	1,25	2,4	3,3	6,1	7,98
Zadrzewienie – Woodlots	2,61	2,81	2,3	2,25	1,95
Zagajniki – Groves	–	0,11	0,41	0,09	0,49
Tereny składowo-przemysłowe Warehouse and industrial areas	0,36	1,02	1,22	0,52	0,64
Tereny pod urządzeniami technicznymi lub budowlami Technical devices or structures	0,01	0,07	0,27	0,05	0,18
Tereny niezabudowane Undeveloped land	0,06	0,06	–	0,03	–
Parkingi – Parking	0,15	1,97	2,5	0,94	1,52
Tereny roślinności krzewiastej Shrub vegetation	0,27	0,32	0,33	0,44	0,46
Tereny roślinności trawiastej Grass	16,01	27,16	29	24,61	26,24
Grunty orne – Arable land	64,15	41,87	35,04	47,95	40,45
Sady – Orchards	2,67	1,14	1,15	0,78	0,67
Plantacje – Plantations	–	–	0,02	0,13	0,07
Ogródki działkowe – Gardens	–	0,36	0,36	0,84	0,84
Wody – Water	1,05	0,76	0,92	0,97	1,07
Wyrobiska – Excavations	–	–	–	0,01	0,01
Tereny zabudowy jednorodzinnej Single-family housing	6,13	8,7	10,58	7,75	9,61
Tereny zabudowy wielorodzinnej Multi-family housing	0,71	3,75	3,9	1,58	1,65
Tereny zabudowy przemysłowo-składowej Industrial and storage buildings	1,06	1,9	1,97	1,11	1,27
Tereny zabudowy handlowo-usługowej Commercial and service buildings	–	1,08	1,32	0,47	0,60
Zabudowa pozostała Other buildings	1,60	2,57	2,7	1,70	1,91

Źródło: opracowanie własne

Source: own study



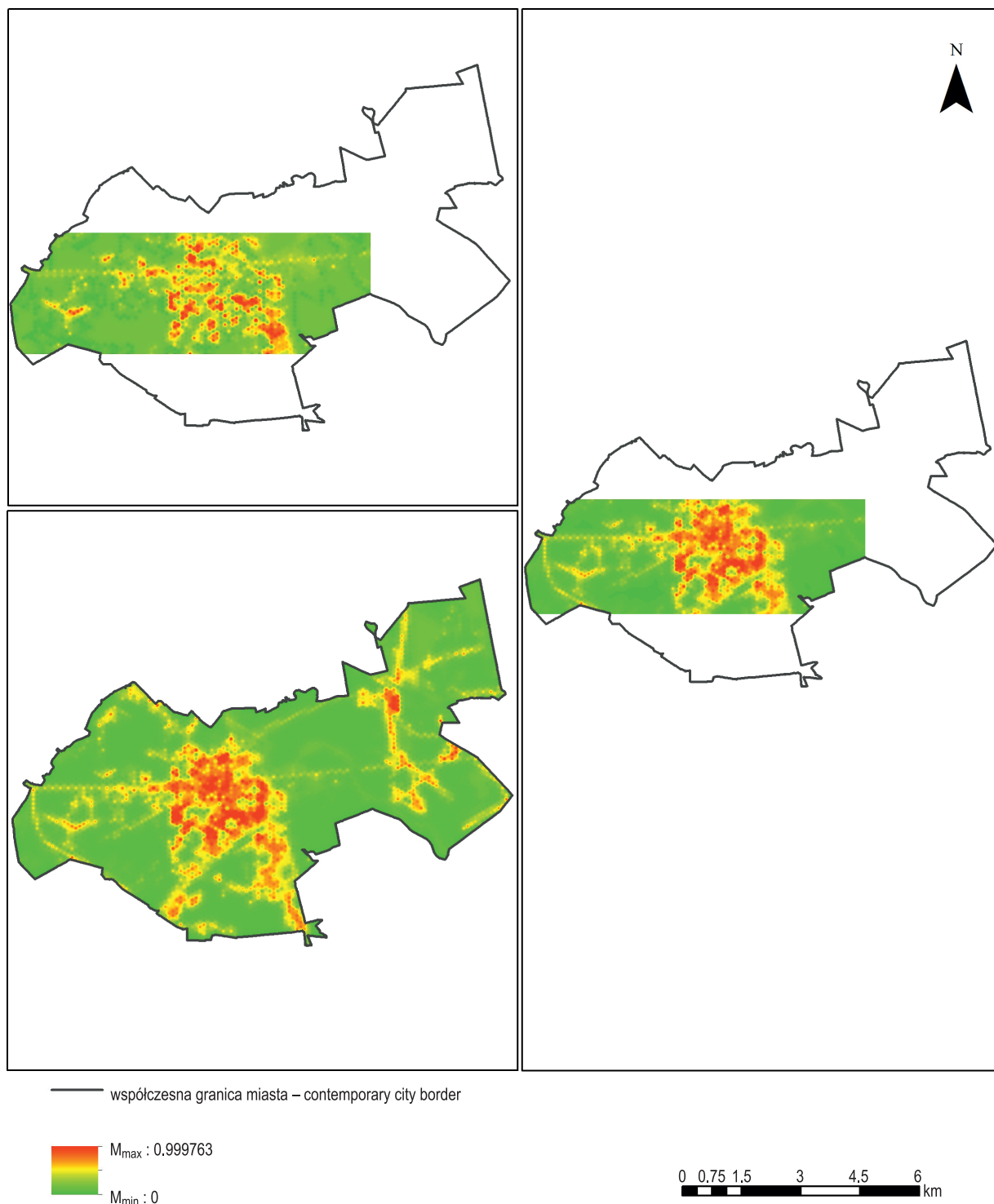
Rys. 2. Miejski i wiejski sposób użytkowania przestrzeni (ze strefą przejściową) w Sieradzu w latach 1959, 1996 i 2015

Fig. 2. Urban and rural use of space (with a transition zone) in Sieradz, 1959, 1996 and 2015

Źródło: opracowanie własne

Source: own elaboration





**Rys. 3.** Przyrost wskaźnika miejskiego sposobu wykorzystania przestrzeni  $M$  w latach 1959–1996, 1996–2015 oraz 1959–2015  
**Fig. 3.** Increase of the indicator  $M$  expressing urban use of space in periods 1959–1996, 1996–2015 and 1959–2015

Źródło: opracowanie własne  
Source: own study

Na przykład dla pola odniesienia numer 2586, w którym występują cztery formy użytkowania terenu, stopień przynależności do miejskiego sposobu użytkowania przestrzeni wynosi:

$$M = f_3M_3 + f_{10}M_{10} + f_{13}M_{13} + f_{14}M_{14}$$

$$M = 0,241 \cdot 0,200 + 0,647 \cdot 0,130 + \\ + 0,029 \cdot 0,300 + 0,083 \cdot 0,202 = 0,16$$

Z kolei wartość wskaźnika stopnia przynależności tego pola do wiejskiego sposobu użytkowania przestrzeni, który jest dopełnieniem użytkowania miejskiego, wyniesie:  $1 - 0,16 = 0,84$ .

Teren, którego stopnie przynależności do miasta i wsi są podobne, określa się mianem strefy przejściowej. W badaniach przyjęto, że do strefy przejściowej będą zaliczane sześciokąty, w których  $0,3 \leq M \leq 0,5$ . Odpowiednio, na obszarach z przeważającym użytkowaniem wiejskim  $0 \leq M < 0,3$ , a w strefie z przeważającym użytkowaniem miejskim  $0,5 < M \leq 1,0$ . Przyjęte granice są inne od tych, które zastosował Biłozor (2005), uznano bowiem, na podstawie porównania warstw wektorowych i treści zdjęć, że za „miejskie” można uznać takie obszary, w których miejski sposób użytkowania dotyczy co najmniej 50% analizowanego obszaru. Jak wynika z rysunku 2, wyznaczone strefy tworzą logiczne i zwarte układy przestrzenne.

Do dokładniejszego wskazania obszarów, w których szczególnie intensywnie przebiega proces wzrostu wykorzystania przestrzeni na sposób miejski, wykonano odejmowanie warstw wskaźnika stopnia miejskiego sposobu wykorzystania przestrzeni, porównując w ten sposób:  $M_{1996} - M_{1959}$ ,  $M_{2015} - M_{1996}$  oraz  $M_{2015} - M_{1959}$  (rys. 3). Im większa wartość różnicy w porównywanych warstwach, tym większe nastąpiły zmiany stopnia miejskiego wykorzystania przestrzeni.

## WYNIKI

Na podstawie zdjęć lotniczych z 1959 roku zinentaryzowano 18 form użytkowania terenu (rys. 1, tab. 2). Dominującą formę na obszarze objętym zdjęciami stanowiły grunty orne oraz roślinność

trawiasta. Zabudowa wielorodzinna – najbardziej charakterystyczna dla terenów miejskich zajmowała zaledwie 0,71%. Na zdjęciach z 1996 r. ujawniono 22 formy użytkowania terenu (rys. 1, tab. 2). Również w tym roku dominowały grunty orne i roślinność trawiasta, a zabudowa wielorodzinna stanowiła 1,58% powierzchni całego miasta. Za pomocą zdjęć z 2015 r. zidentyfikowano 21 form użytkowania terenu (rys. 1, tab. 2). Dominowały nadal grunty orne (40,45%) oraz roślinność trawiasta (26,24%), na obszarach zabudowanych nieznacznie zmienił się udział zabudowy wielorodzinnej, natomiast zwiększył się znacznie udział zabudowy jednorodzinnej (do 9,61%).

Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w statystykach dotyczących 1976 r. (Jaworski 1982). Zaledwie 29,2%, czyli 16,23 km<sup>2</sup> powierzchni miasta, stanowiły użytki techniczne, które były związane z użytkowaniem o charakterze miejskim. Tworzyły one zwartą całość. Dominowały w nich tereny komunikacyjne (7,4%). Tereny mieszkaniowe stanowiły 7,1% obszaru miasta, natomiast tereny zieleni i rekreacji – 6,4%. Tereny produkcyjne oraz tereny zainwestowane zajmowały powierzchnię nieco ponad 3%. Ostatnie miejsce w bilansie zajmowały tereny usługowe (1,6%). Udział procentowy użytków rolnych wynosił 70% powierzchni w granicach administracyjnych miasta. Pozostałe tereny niezabudowane oraz lasy łącznie zajmowały 7,7%. Mimo iż kategorie wyróżnione przez Jaworskiego (1982) nie pokrywają się z przyjętymi w prezentowanych badaniach, można znaleźć pewne analogie wskazanych wielkości z danymi w tabeli 2.

W Sieradzu (na obszarze opracowania) w całym badanym okresie niezmiennie przeważały tereny o wiejskim charakterze użytkowania przestrzeni (rys. 2, rys. 3). Wskaźnik miejskiego stopnia użytkowania  $M$  wynosił 0,0–0,3, szczególnie zauważalne jest to w rejonie Warty. Tereny o miejskim sposobie użytkowania przestrzeni ( $0,5 \leq M \leq 1$ ) znajdują się głównie w centralnej oraz wschodniej części miasta i otoczone są tak zwaną strefą przejściową ( $0,3 \leq M \leq 0,5$ ).

Warto zauważyć, że tereny o miejskim sposobie użytkowania przestrzeni wyraźnie „postępują” w kierunku południowej granicy miasta, co jest

potwierdzeniem ekspansji zabudowy miejskiej na tereny peryferyjne miasta. Wraz z upływem czasu zwiększa się powierzchnia obszarów o typowo miejskim sposobie użytkowania, jednak Sieradz charakteryzuje się dużą obecnością terenów rolniczych, terenów roślinności trawiastej, leśnych i zadrzewionych oraz sadów, plantacji i ogródków działkowych.

Obecny układ komunikacyjny dzieli miasto na dwie zróżnicowane pod względem zagospodarowania części. Część północna charakteryzuje się przemysłowo-składową formą, część wschodnia oraz południowo-zachodnia reprezentuje typowo wiejski charakter, zaś część południowa i południowo-wschodnia – mieszkaniowy i usługowy sposób użytkowania terenu. Zabudowa mieszkaniowa oraz towarzysząca jej zabudowania handlowo-usługowe rozchodzą się radialnie od centralnego, historycznego obszaru Sieradza w kierunku południowym. Zabytkowe centrum stanowi rynek i przyległe do niego ulice. W kierunku zachodnim od rynku rozwinęło się i ciągle intensywnie się rozwija współczesne centrum usługowe. Centralna część Sieradza otoczona jest osiedlami z zabudową wielorodzinną. Wraz z oddalaniem się od centrum, intensywność obszarów zabudowanych obniża się, zabudowa staje się luźniejsza, miejski charakter zwartej zabudowy zmienia się w willową zabudowę jednorodzinną. Procesy te widoczne są na warstwach przedstawiających przyrost wskaźnika określającego stopień miejskiego wykorzystania przestrzeni (rys. 3). Do roku 1996 przyrost wskaźnika *M* miał miejsce głównie w centralnej części miasta, a w następnym okresie ujawniły się wyraźne „wyspy” tego wzrostu dosyć odległe od centrum.

Ze względu na brak zdjęć lotniczych z 1959 r. dla części obszaru, nie można było wykonać pełnych analiz dla całego miasta.

## DYSKUSJA

Badania przekształcenia form użytkowania terenu na przestrzeni pięćdziesięciu sześciu lat umożliwiły wyznaczenie zmieniających się granic terenów zurbanizowanych. Zmiany sposobu użytkowania przestrzeni zaobserwowano na obszarze całego miasta

z wyjątkiem Nadwarciańskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu.

Warunki przestrzenne Sieradza sprzyjają rozlewaniu się miasta zwłaszcza w kierunku południowym. Zmiana użytkowania terenu następuje głównie kosztem obszarów z roślinnością trawiastą i gruntów ornych, przede wszystkim na rzecz zabudowy jednorodzinnej. W południowej części miasta nie występują bariery przestrzenne (np. wody), które powstrzymałyby rozwój zabudowy, natomiast znajdujące się tam ogrody działkowe, plantacje oraz sady są charakterystyczne dla strefy przejściowej. Sieradz może jednak trafić na bariery przestrzenne, jak np. Warta, oraz formalno-prawne, takie jak prawa własności gruntów czy brak wspólnych aktów polityki przestrzennej miasta i okolic, na których podstawie sporządzane są miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego miasta. Obecnie w mieście istnieje 31 terenów, na których obowiązują miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego miasta (e-Sieradz 2019). Brak planów dla dużej części miasta może prowadzić do ingerencji w przestrzeń, poprzez wydawanie tzw. warunków zabudowy (WZ), co jak wskazuje Feltynowski (2000) wymusi modyfikacje społeczne, gospodarcze, kulturowe oraz środowiskowe i może doprowadzić do zniszczenia wiejskich jednostek osadniczych i rolniczej przestrzeni produkcyjnej.

Przemiany, które zaszły w strukturze przestrzennej Sieradza, determinują tworzenie się nowych obszarów zainwestowania miejskiego. Zjawisko rozprzestrzeniania się zwartej zabudowy na tereny niezabudowane jest zauważalne przede wszystkim na obszarach peryferyjnych miasta, wzdłuż dróg wylotowych z miasta oraz w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy usługowej. Skutkiem rozlewania się miasta jest zmiana w użytkowaniu gruntów, rośnie udział terenów zurbanizowanych, a maleje udział terenów rolniczych.

Ustawa z 27 sierpnia 2003 o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. z 2003 r. nr 80 poz. 717 z późn. zm.) stanowi, że rozwój przestrzenny gmin powinien przebiegać wg zasad ładu przestrzennego. Należy to rozumieć jako takie ukształtowanie przestrzeni, które tworzy harmonijną całość i bierze

pod uwagę w usystematyzowanych stosunkach wszelkie okoliczności oraz wymagania funkcjonalne, społeczno-gospodarcze, środowiskowe, kompozycyjno-estetyczne oraz kulturowe. W takim kontekście gwałtowne zainwestowanie terenów rolniczych świadczy o pogłębiającym się kryzysie całego systemu planowania przestrzennego, którego przyczyną jest koncepcja swobody budowlanej i liczne zmiany przeznaczenia gruntów rolnych na cele budowlane (Bieńkowska i in. 2015). Z kolei dekoncentracja zabudowy mieszkaniowej sprawia, że granice administracyjne miasta nie reprezentują terenów, które objęte są rzeczywistym zainwestowaniem miejskim, nie obejmują bowiem stref podmiejskich, które są nierozłączną częścią układu osadniczego każdego miasta (Biłozor 2012). Wymienione zjawiska występują także w Sieradzu.

Na podstawie wykonanych analiz dla okresu 1959–1996 można zauważyć w Sieradzu wczesny etap rozwoju zjawiska *urban sprawl* – głównie postępującą zabudowę w pobliżu kolei. W późniejszych latach natomiast wzrost dostępności transportu samochodowego był przyczyną pogłębiającego się zjawiska „rozlewania się” zabudowy na tereny peryferyjne, powodując żywiolowy rozwój przedmieść. Na obszarze opracowania w badanym okresie przeważały tereny o wiejskim charakterze użytkowania przestrzeni, szczególnie zauważalne jest to w rejonie Warty. Tereny o miejskim sposobie użytkowania przestrzeni znajdują się głównie w centralnej oraz wschodniej części miasta.

W badaniach wykazano, że zjawisko *urban sprawl* dotyczy także miast o średniej wielkości i potwierdzono przydatność archiwalnych zdjęć lotniczych i opracowań wykonanych z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych do analizy rozprzestrzeniania się miast. Wykorzystana metoda jest względnie prosta w użyciu oraz może być w pełni zautomatyzowana.

Badania wykonali autorzy w ramach działalności statutowej Uniwersytetu Łódzkiego.

## PIŚMIENNICTWO

Bieńkowska, M., Korpetta, D. (2015). Rozlewanie się zabudowy a planowanie przestrzenne w strefie podmiejskiej miasta Płocka (Urban sprawl and spatial

planning in the suburban area of Plock city). *Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum* 14(1), 7–28.

Biłozor, A. (2005). Zastosowanie logiki rozmytej do identyfikacji i lokalizacji strefy przejściowej miasta i wsi (Application of fuzzy logic to the identification and localization of the fringe areas of the city and the village). *Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum* 4(1–2), 37–51.

Biłozor, A. (2012). Waloryzacja przestrzeni miejskiej – ocena stanu zagospodarowania miasta, w: Współczesna waloryzacja przestrzeni zurbanizowanej (Valorisation of urban space – assessment of the city’s development status, in: Contemporary valorization of urban space). Red. (Ed.) I., Cieślak. Wydawnictwo UWM, Olsztyn.

Bujakiewicz, A., Kunach, W., Skrobek, H., Roszczyński, M. (2002). Wykorzystanie fotogrametrii i teledetekcji w zarządzaniu infrastrukturą komunikacyjną miasta (The use of photogrammetry and remote sensing in managing the city’s communication infrastructure). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji* 12a, 49–62.

Ciołkosz, A., Poławski, Z. (2005). Zmiany użytkowania ziemi w Polsce w II połowie XX w. na podstawie analizy danych kartograficznych (Land use changes in Poland in the second half of 20<sup>th</sup> century based on the analysis of land use maps). *Roczniki Geomatyki* 3, 17–26.

Dylewski, R. (2006). Problemy rozprzestrzeniania się miast w świetle doświadczeń krajów Unii Europejskiej i Stanów Zjednoczonych, w: Żywiolowe rozprzestrzenianie się miast. Narastający problem aglomeracji miejskiej w Polsce (Problems of urban sprawl in the light of the experience of the European Union and the United States, in: Spontaneous urban spread. The growing problem of urban agglomeration in Poland). Red. (Ed.) S., Kozłowski. Wydawnictwo *Ekonomia i Środowisko*, Białystok–Lublin–Warszawa. e-Sieradz – oficjalny portal miejski (e-Sieradz – the official city portal), <https://sieradz.eu/zagospodarowanie-przestrzenne>, dostęp (access): 3.07.2019.

Ewing, R., Pendall, R., Chen, D. (2002). Measuring sprawl and its impact. *Smart growth America*, Waszyngton.

Feltynowski, M. (2010). Planowanie przestrzenne na obszarach wiejskich Łódzkiego Obszaru Metropolitalnego a problem rozprzestrzeniania się miast (Spatial planning of rural areas of Lodz metropolitan area



- and the problem of urban sprawl). *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 13. Polska Akademia Nauk, Kraków, ss. 113–114.
- Głębocki, B. (1977). Badanie niektórych zagadnień ruchu miejskiego na ulicach Poznania w oparciu o zdjęcia lotnicze (Study of some urban traffic issues on the streets of Poznań based on aerial photographs). *Fotointerpretacja w Geografii* 7, 160–168.
- Hofman, P. (2001). Detecting informal settlements from Ikonos image data using methods of object oriented image analysis – an example from Cape Town (South Africa), in: *Remote sensing of urban areas/Fernerkundung in urbanen Räumen*. Ed. C., Jürgens. *Regensburger Geographische Schriften*, Heft 35, 107–118.
- Hopfer, A., Żróbek, S., Żróbek, R. (1987). Planistyczne i urządzenioworolne aspekty rozwoju miast (Planning and agriculture-oriented aspects of urban development). *Wydawnictwo Akademii Rolniczo-Technicznej, Olsztyn*.
- Infooko. Sieradz, krótka historia miasta zapomnianego (Sieradz, a brief history of a forgotten city), <http://infooko.pl/sieradz-krotka-historia-miasta-zapomnianego/>, dostęp (access): 1.03.2017.
- Iwaniak, A., Krówczyńska, M., Paluszyński, W. (2002). Użycie sieci neuronowych do klasyfikacji obszarów miejskich na zdjęciach satelitarnych (Applying neural networks to urban area classification in satellite images). *Acta Scientiarum Polonorum. Geodesia et Descriptio Terrarum* 1(1–2), 5–13.
- Jafari, M., Majedi, H., Monavari, S.M., Alesheikh, A.A., Zarkesh, M.K. (2016). Dynamic simulation of urban expansion through a CA-Markov model. Case study: Hyrcanian region, Gilan, Iran. *European Journal of Remote Sensing* 49, 513–529.
- Jałowiecki, B., Szczepański, M.S. (2013). Miasto i przestrzeń w perspektywie socjologicznej (The city and space in a sociological perspective). *Scholar, Warszawa*.
- Jaworski, J. (1982). Struktura przestrzenno-funkcjonalna Sieradza, w: *Sieradz – studia nad organizacją przestrzeni miasta (Spatial and functional structure of Sieradz*, in: *L. Sieradz – studies on the organization of city space*). Red. (Ed) L., Straszewicz. *Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geogr. Socio-oecon.* 1, 9–11.
- Jędrzejczyk, D. (1998). Zdjęcia lotnicze w koncepcjach urbanistycznych Romana Felińskiego (Aerial photographs in town-planning concepts of Roman Feliński). *Fotointerpretacja w Geografii* 27, 48–61.
- Kaczyński, R. (1997). High resolution Russian Satellite Image for Urban Mapping. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii XLIV(95)*, 129–150.
- Kupidura, P. (2015). Comparison of efficiency of extraction of built-up areas in aerial images using fractal analysis and morphological granulometry. *Teledetekcja Środowiska* 52, 29–37.
- Li, M., Stein, A., Bijke, W., Zhan, Q. (2016). Urban land use extraction from Very High Resolution remote sensing imagery using a Bayesian network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 122, ss. 192–205.
- Litwińska, E. (2010). Modelowanie struktur metropolitalnych w aspekcie zjawiska urban sprawl (Modeling of metropolitan structure in aspect of urban sprawl). *Architektura. Czasopismo Techniczne* 3, 139–148.
- Meinel, G., Neubert, M., Reder, J. (2001). The potential use of very high resolution satellite data for urban areas – first experiences with Ikonos data, their classification and application in urban planning and environmental monitoring, in: *Remote Sensing of Urban Areas/Fernerkundung in urbanen Räumen*. Ed. C., Jürgens. *Regensburger Geographische Schriften*, Heft 35, 196–205.
- Mycke-Dominko, M. (1985). Analiza struktury funkcjonalnej Elku na podstawie diachronicznych zdjęć lotniczych (Elk city functional structure analyzed on the base of the diachronic air photos). *Fotointerpretacja w Geografii* 18, 127–139.
- Nowocien, J. (2011). Zmiany struktury przestrzennej Białegostoku w latach 1967–2006 na podstawie analizy zdjęć lotniczych (Changes in the spatial structure of Białystok in 1967–2006 based on an analysis of aerial photographs). *Teledetekcja Środowiska* 45, 51–65.
- Olędzki, J.R., Mycke, M. (1977). Fotointerpretacyjna metoda badania struktury przestrzennej miasta (Methods of photointerpretation in investigations of the spatial structure of the town). *Fotointerpretacja w Geografii* 10, 59–74.
- Radecka, A., Osińska-Skotak, K. (2015). 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). *Teledetekcja Środowiska* 52, 51–65.
- Remote sensing of urban and suburban areas. Eds. T., Rashed, C., Jürgens. Springer Science + Business Media B.V.
- Rosin, R. (1977). Miasta do 1572 r., w: *Szkice z dziejów Sieradzkiego* (Cities until 1572, in: Sketches from the history of Sieradzki Region). Red. (Ed) J., Śmiałowski. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Łódź, ss. 74–80.
- Sadowy, K. (2008). Urban sprawl jako zagrożenie rozwoju miast (Urban sprawl as a threat to urban development). *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów* 90, 131–143.
- Tomaszewski, E. (1977). Niektóre dzielnice Wrocławia w świetle zdjęć lotniczych z lat 1925–1929 (Certain districts of Wrocław examined in the light of aerial photographs taken in 1925–1929). *Fotointerpretacja w Geografii* 12, 94–100.
- Ulańska, J., Borowska-Stefańska, M. (2012). Użytkowanie ziemi i polityka przestrzenna w łódzkim obszarze metropolitalnym, w: *Spójność terytorialna Łódzkiego Obszaru Metropolitalnego* (Land use and spatial policy in the Lodz metropolitan area, in: Territorial cohesion of the Lodz Metropolitan Area). Red. (Eds.) B., Bartosiewicz, T., Marszał, I., Pielesiak KPZK PAN, Łódź, s. 13–43.
- Urban sprawl in Europe. The ignored challenge. (2006). European Environment Agency Report No 10/2006, Copenhagen.
- Ustawa z 27 sierpnia 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Act of 27 August 2003 on spatial planning and development). *Dz.U. z 2003 r. nr 80 poz. 717 z późn. zm.*
- Wyczałek, I., Wyczałek, E., Plichta, A. (2004). Wykorzystanie danych teledetekcyjnych w miejskich systemach informacyjnych (Using remote sensing data in urban information systems). *Roczniki Geomatyki* II(2), 216–228.
- Zmiana studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Sieradza (Change in the study of conditions and directions of spatial development of the city of Sieradz). (2012). *Referat Architektury i Planowania Przestrzennego UM Sieradza, Sieradz*, ss. 6–7.
- Żebrowska, A. (1977). Rozwój przestrzenny Sieradza w XVIII–XX wieku, w: *Szkice z dziejów Sieradzkiego* (Spatial development of Sieradz in the 18<sup>th</sup>–20<sup>th</sup> centuries, in: Sketches from the history of Sieradzki Region). Red. (Ed) J., Śmiałowski. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Łódź, ss. 645–660.

### Źródła danych przestrzennych

Baza Danych Obiektów Ogólnogeograficznych miasta Sieradza z zasobu Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (Database of General Geographic Objects of the city of Sieradz from the resources of the Central Center of Geodetic Documentation and Cartographic).

Baza Danych Obiektów Topograficznych z 2012–2013 r. z zasobu Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (Topographic Objects Database from 2012–2013 from the resources of the Central Center for Geodetic and Cartographic Documentation).

Zdjęcia lotnicze z 1959 r. Sieradza z archiwaliów Wydziału Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego (Aerial photos from 1959 of the city of Sieradz from the archives of the Faculty of Geographical Sciences of the University of Lodz).

Zdjęcia lotnicze z 1996 r. Sieradza z zasobów Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (Aerial photographs from the year 1996 of the city of Sieradz from the resources of the Central Center for Geodetic and Cartographic Documentation).

Ortofotomapa z 2015 r. Sieradza z zasobów Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (poprzez usługę WMS) [Orthophotomap from 2015 of the city of Sieradz from the resources of the Central Center for Geodetic and Cartographic Documentation (via the WMS service)].

## **ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE CITY SIERADZ BASED ON THE INTERPRETATION OF AERIAL IMAGERY AND VALORISATION OF THE SPACE USING ELEMENTS OF FUZZY SETS THEORY**

### **ABSTRACT**

The spread of cities poses a serious urbanisation and natural challenge and significantly affects the quality of life of the inhabitants. The aim of the study was to examine the possibility of analysing the spread of the city of Sieradz based on the interpretation of multi-temporal aerial imagery from the years 1959, 1996 and 2015, and the topographical object database. There are 22 land cover classes that are attributed with coefficients determining their degree of belonging to the urban use of space. The area of the city is divided into hexagonal primary fields (1 ha) and the proportion of different forms of land use is determined and the  $M$  indicator calculated, which determines to what extent each primary field belongs to the urban way of space use. The primary fields were then classified into three zones: urban ( $0.5 < M \leq 1.0$ ), transitional ( $0.3 \leq M \leq 0.5$ ) or rural ( $0 \leq M < 0.3$ ). Maps of the increment of this indicator in the test periods were made also. In the city there were consistently predominant areas with a rural nature of space use, because Sieradz has a large share of farmland, grassy vegetation, woodland and trees, orchards, plantations and gardens. Over time, however, the city area of typical urban use is increasing, which is mainly in the central and eastern part of the city and is clearly approaching its southern border, confirming the expansion of urban development to peripheral areas. By the year 1996 the growth of the  $M$  indicator took place mainly in the central part of the city, and in the next period revealed the clear “islands” of this growth quite distant from the centre. During the period 1959–1996 in Sieradz an early stage of the development of urban sprawl is noticeable – mainly progressive construction near the railway. However, in later years, the increase in accessibility to car transport was the cause of a deepening phenomenon of “urban sprawl” into the peripheral areas, causing a lively development of the suburbs. Studies have shown that urban sprawl also applies to mid-sized cities and confirms the suitability of archive aerial imagery and studies made using fuzzy sets theory to analyse the urban sprawl. The method used is relatively simple to use and can be fully automated.

**Key words:** remote sensing, urban sprawl, urban and rural way of using space, fuzzy sets, suburban area, suburbanization, multitemporal data

