1) Politechnika Wrocławska
Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii
Katedra Geodezji i Geoinformatyki

2) Uniwersytet Opolski
Wydział Przyrodniczo-Techniczny
Katedra Ochrony Powierzchni Ziemi
i Gospodarki Przestrzennej

dr inż. Barbara Wiatkowska[1], inż. Agnieszka Krupa[2], prof. PWr dr hab. inż. Joanna Bac-Bronowicz[1], prof. dr hab. Janusz Słodczyk[2]

„Analiza czasoprzestrzennych zmian terenów zurbanizowanych z wykorzystaniem zobrazowań satelitarnych i GIS - Studium przypadku dla poprzemysłowego miasta Żory”

IV Akademia Kartografii i Geoinformatyki
„Modelowanie czasoprzestrzenne”
Wrocław 22-24 maja 2024r.

Politechnika Wrocławska

Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii

Wprowadzenie

- Ekspansja terenów zurbanizowanych będąca dynamicznym, złożonym zjawiskiem obejmuje często niekorzystne zmiany w pokryciu i użytkowaniu gruntów (land use land cover, LULC) (Sapena i Ruiz 2019, Śleszyński i in. 2020).
- Racjonalne gospodarowanie przestrzenią wymaga przede wszystkim posiadania wiarygodnej informacji o zachodzących zmianach. Mając na uwadze SDGs 11.3.1 w ramach Agendy 2030 gdzie podkreślono znaczenie „efektywności zużycia gruntów do wzrostu populacji" (Land Consumption Rate to the Population Growth Rate, LCRPGR) na rzecz postępu w kierunku zrównoważonej urbanizacji, nie bez znaczenia jest więc wykrywanie i modelowanie zmian pokrycia/użytkowania gruntów dla dowolnego zakresu przestrzennego i czasowego (Castanho i in. 2019, Mudau i in. 2020, Cai i in. 2020).
- Odpowiedzią na te potrzeby są badania naukowe związane m. in. z wykorzystaniem zbiorów danych teledetekcyjnych, które można wykorzystać w obszarze planowania i zagospodarowania przestrzennego, jako uzupełnienie do krajowych zasobów baz danych.
- Jednym z powszechnie znanych i ogólnodostępnych zbiorów danych do identyfikowania pokrycia i użytkowania terenu, opracowanych głównie na podstawie klasyfikacji zobrazowań satelitarnych w ramach wieloletnich obserwacji Ziemi, jest UA i CLC.
- Natomiast pewnym ograniczeniem wykorzystania tych gotowych zbiorów danych w badaniach lokalnych zmian pokrycia/użytkowania gruntów jest kilkuletnia okresowość ich aktualizacji, stosunkowo niska rozdzielczość przestrzenna i zbyt ogólne potraktowanie terenów zabudowanych ze względu na brak wydzielenia zabudowy rozproszonej (Mierzwiak i Całka 2019, Śleszyński i in. 2020).
- Z uwagi na te ograniczenia co raz powszechniej do kwantyfikacji ekspansji miejskiej wykorzystywane są ogólnodostępne i komercyjne zobrazowania satelitarne w oparciu o które wykonuje się zautomatyzowaną klasyfikację pokrycia i użytkowania terenu z wykorzystaniem charakterystyk spektralnych poszczególnych form zagospodarowania terenu (Jia i in. 2014, Sun i in. 2019, Bielecka 2020).

Cel, zakres przestrzenny i czasowy badań

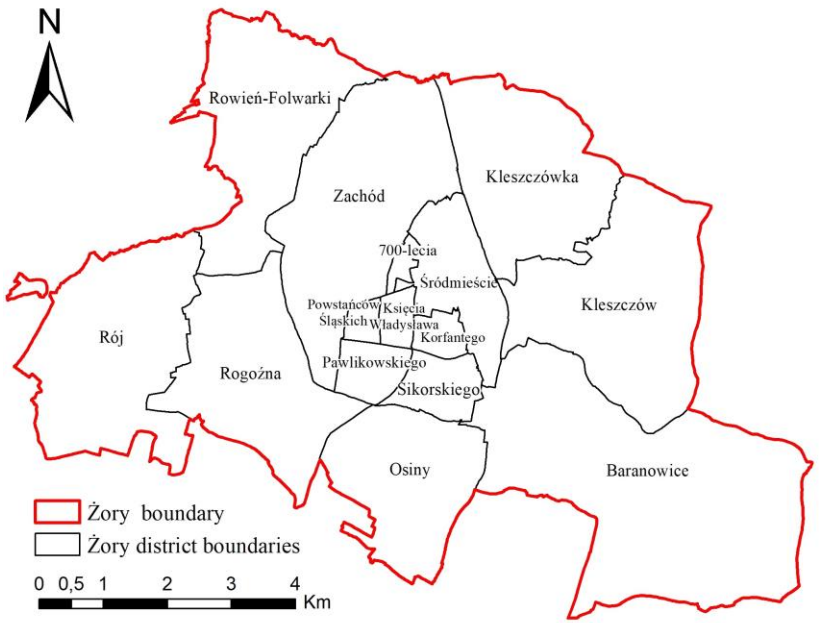
Celem głównym była kwantyfikacja rozwoju obszarów zurbanizowanych Żor w ciągu ostatnich 40 lat (1984-2004, 2004-2023 i 1984-2023), z wykorzystaniem wielospektralnych zobrazowań satelitarnych i GIS:

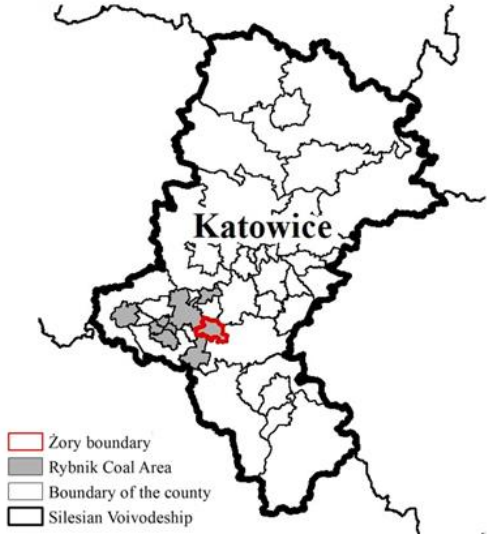
(1) Detekcja poszczególnych form pokrycia i użytkowania gruntów na terenie Żor z wykorzystaniem serii czasowych zobrazowań satelitarny Landsat 5/9 dla 1984, 2004 i 2023 r.

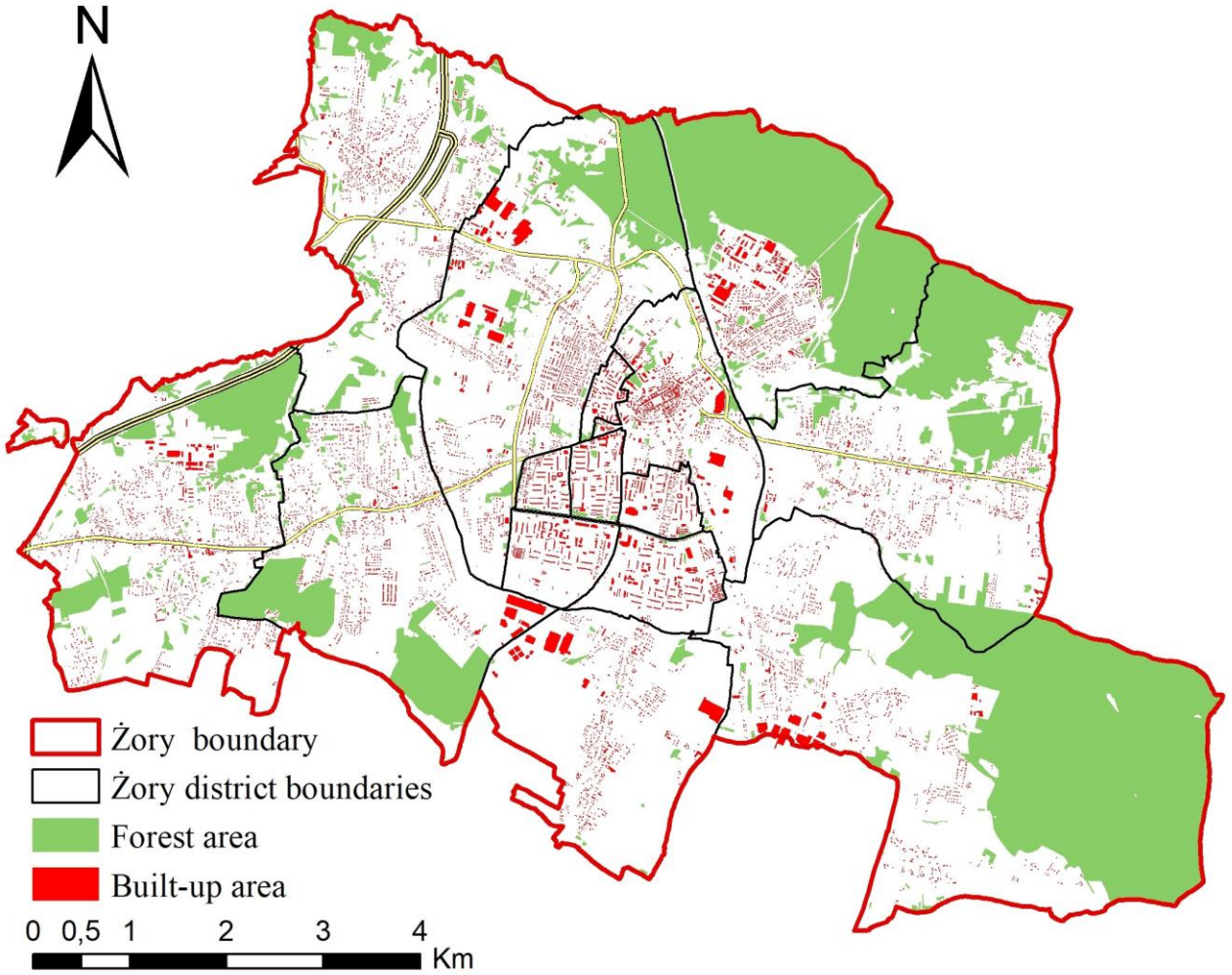
(2) Analiza czasoprzestrzennych zmian form pokrycia i użytkowania gruntów na terenie Żor, ze szczególnym uwzględnieniem terenów zurbanizowanych.

(3) Analiza wskaźnika zużycia gruntów (Land Consumption Rate, LCR) w relacji do zmieniającej się liczby ludności (Population Growth Rate, PGR) (SDG 3.11.3, Agenda 2030).

Charakterystyka obszaru badań







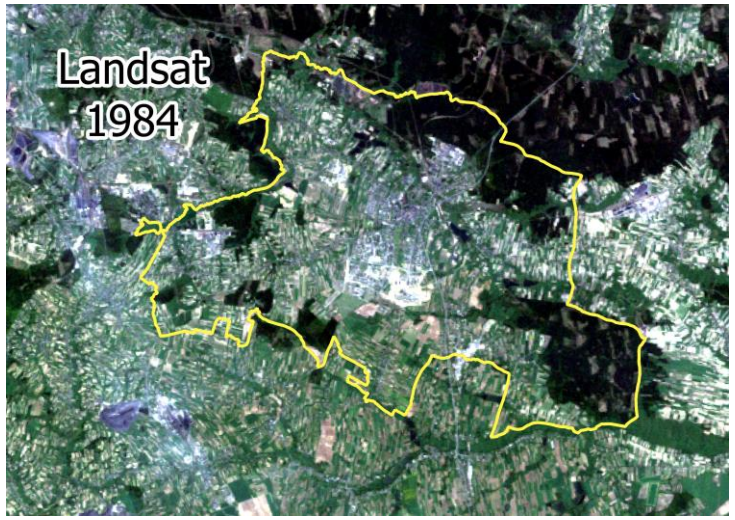
Rys. Obszar badań - podział administracyjny

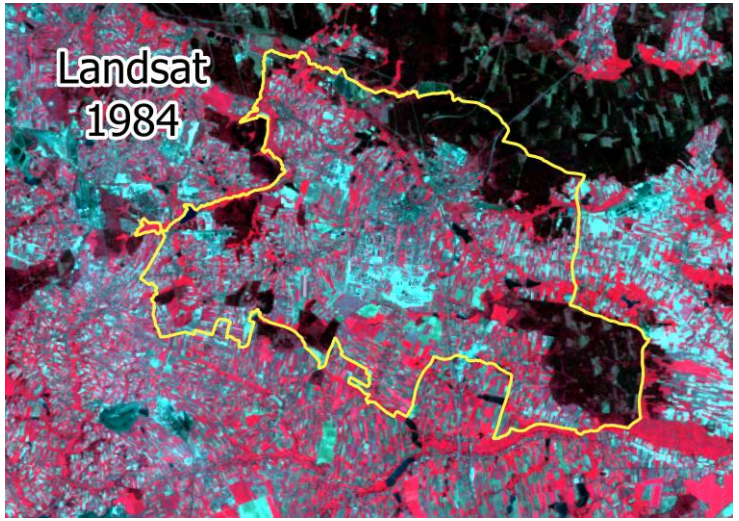
Zbiory danych przestrzennych, ich źródła i charakterystyka

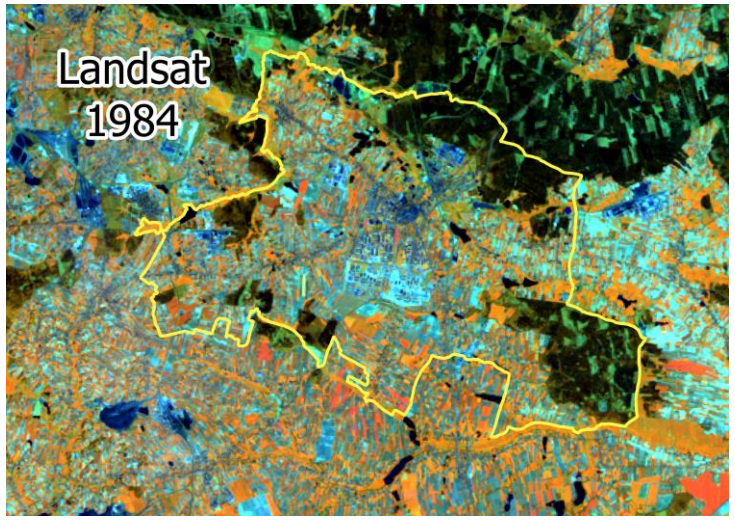
Tab. Zbiory danych przestrzennych wykorzystane w analizach

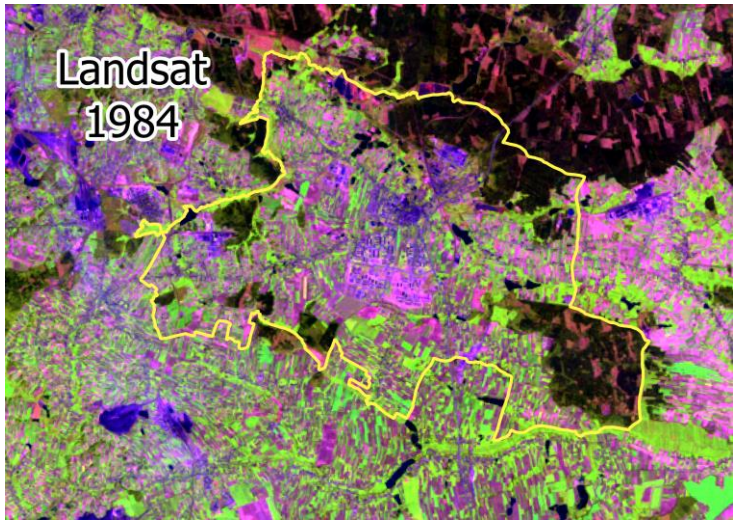
Datasets	Data	Source	Resolution
Satellite images Landsat 5, sensor: Thematic Mapper (TM)	May 1984 May 2004	U.S. Geological Survey (USGS)	Raster 30 m
Satellite image Landsat 9, sensor: Operational Land Imager 2 (OLI-2), Infrared Sensor 2 (TIRS-2)	June 2023	U.S. Geological Survey (USGS)	Raster 30 m
Orthophotomap Multi-temporal aerial photography	1971–2023	Polish Head Office of Geodesy and Cartography (GUGiK), Google Earth	Raster 0.25–0.05 m 1000-5000
Database of the state border register and areas of territorial divisions of the country	2023	Polish Head Office of Geodesy and Cartography (GUGiK)	Vector
Database of the Topographic Objects	2012-2023	Polish Head Office of Geodesy and Cartography (GUGiK)	Vector
Local Area Development Plans	2023	Public Information Bulletin of the Żory City	WMS district
Descriptive data and metadata on demographic situation	1983-2023	Civil registry, Żory City Office Statistics Poland (GUS)	Text district

Analiza kanałów spektralnych – modele kompozycji barwnych





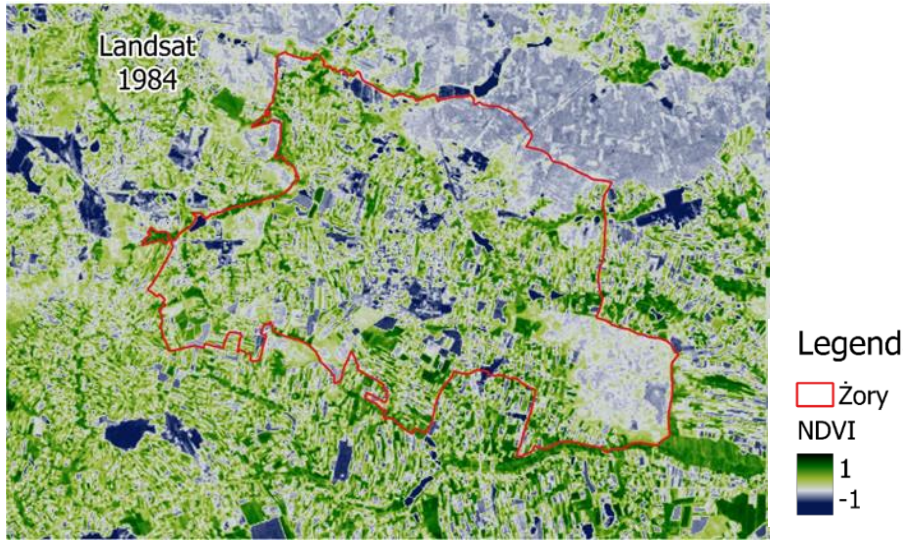




Tab. Kompozycje barwne

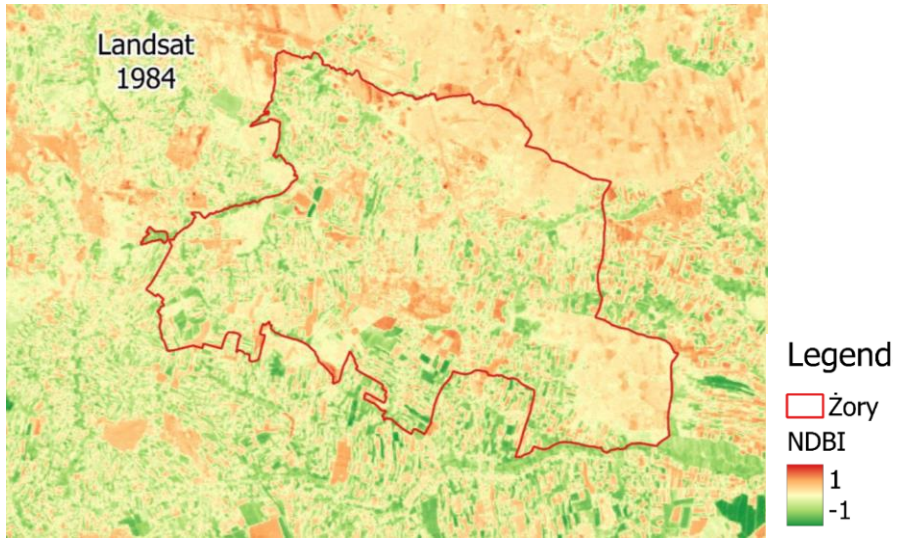
Kompozycja barwna	Numery wykorzystanych kanałów spektralnych	
	Landsat 5	Landsat 9
Barwy naturalne visible red, visible green, visible blue	3-2-1	4-3-2
Color Infrared (CIR) near-infrared, visible red, visible green	4-3-2	5-4-3
Barwy zafałszowane 1 (agriculture) short-wave infrared, near-infrared, visible blue	5-4-1	6-5-2
Barwy zafałszowane 2 (Land/Water) near-infrared, short-wave infrared, visible red	4-5-3	5-6-4

Analiza kanałów spektralnych – wskaźniki teledetekcyjne



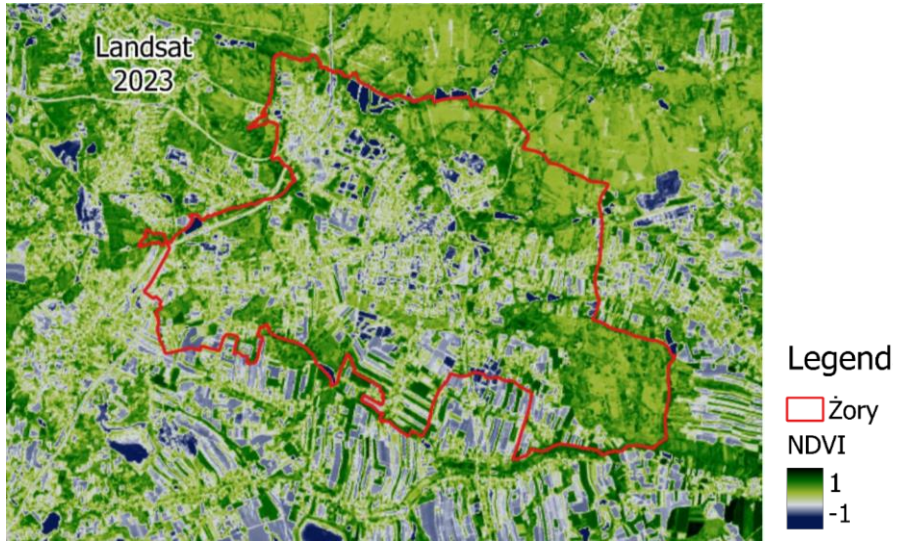
Normalised Difference Vegetatnion Index (NDVI)

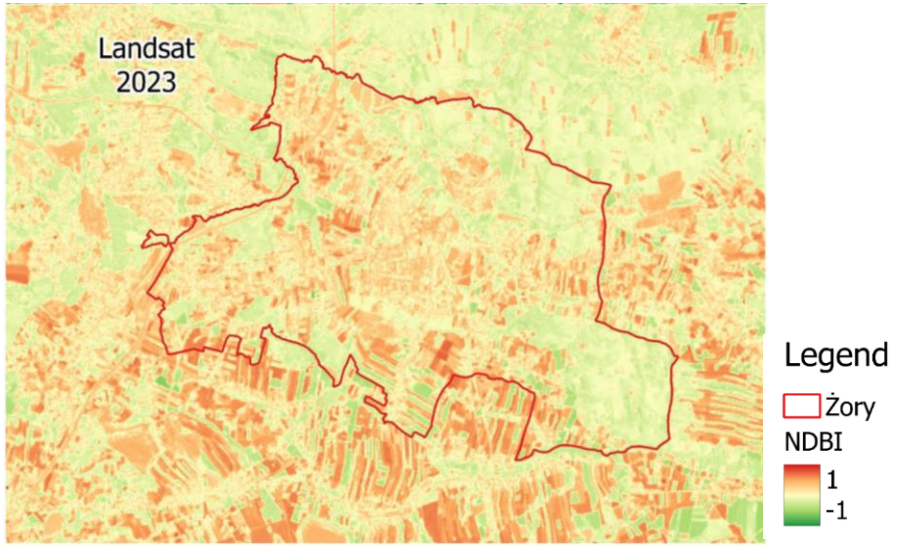
$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$



Normalised Difference Built-Up Index (NDBI)

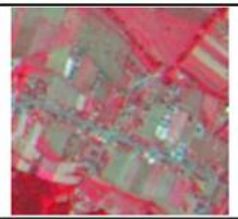
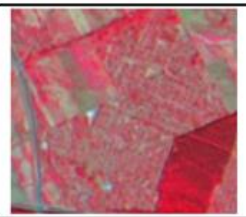
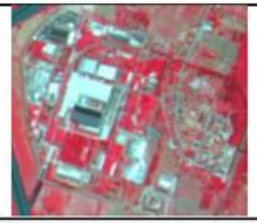
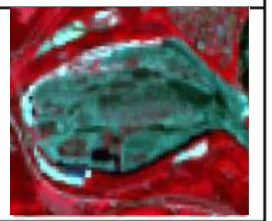
$$NDBI = (SWIR1 - NIR) / (SWIR1 + NIR)$$

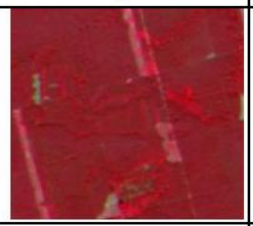
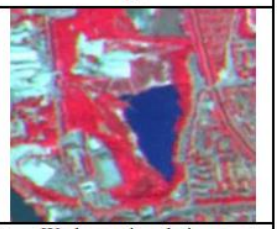




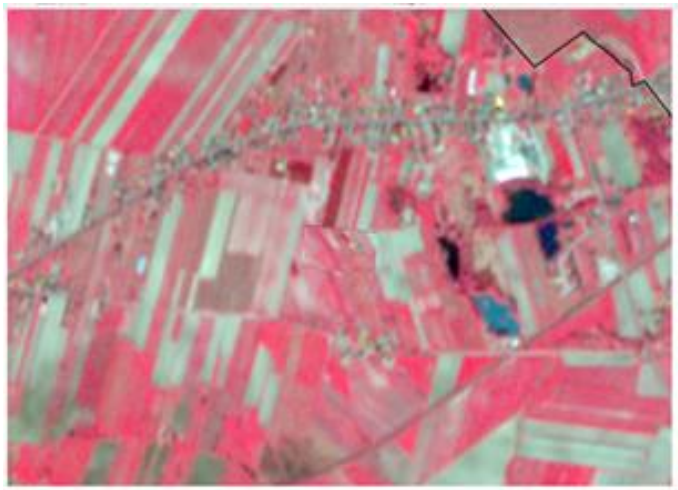
Fotointerpretacja form pokrycia i użytkowania gruntów

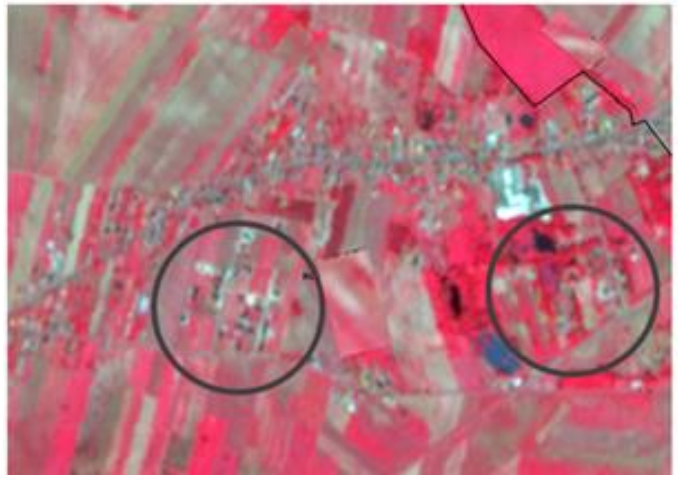
Tab. Klucz fotointerpretacyjny form zagospodarowania przestrzennego Żor

Klasa	1	2	3	4	5	6	7
Przykłady form zagospodarowania przestrzennego							
Sposób użytkowania	Mieszkalny, zabudowa wielorodzinna	Mieszkalny, zabudowa jednorodzinna	Mieszkalny, rolniczy, zabudowa jednorodzinna	Rekreacyjny	Przemysłowo-usługowy	Przemysłowy – wapienne kopalnie odkrywkowe	gleby odsłonięte
Stopień zainwestowania	bardzo wysoki	wysoki	średni	niski	wysoki	wysoki	średni
Stopień rozdrobnienia elementów tworzących formę zagospodarowania	niski	wysoki stopień rozdrobnienia obiektów mieszkalnych i terenów zieleni przydomowej	wysoki stopień rozdrobnienia obiektów mieszkalnych i użytków rolnych	wysoki stopień rozdrobnienia budowlanych obiektów wypoczynkowych i terenów zieleni urządzonej	niski	średni	wysoki stopień rozdrobnienia obiektów budowlanych
Pokrywa roślinna	roślinność urządzona niska	roślinność urządzona niska, w mniejszym stopniu wysoka	roślinność niska, w mniejszym stopniu wysoka	roślinność urządzona niska i wysoka	roślinność izolacyjna niska	roślinność izolacyjna niska	brak pokrywy roślinnej lub roślinność niska

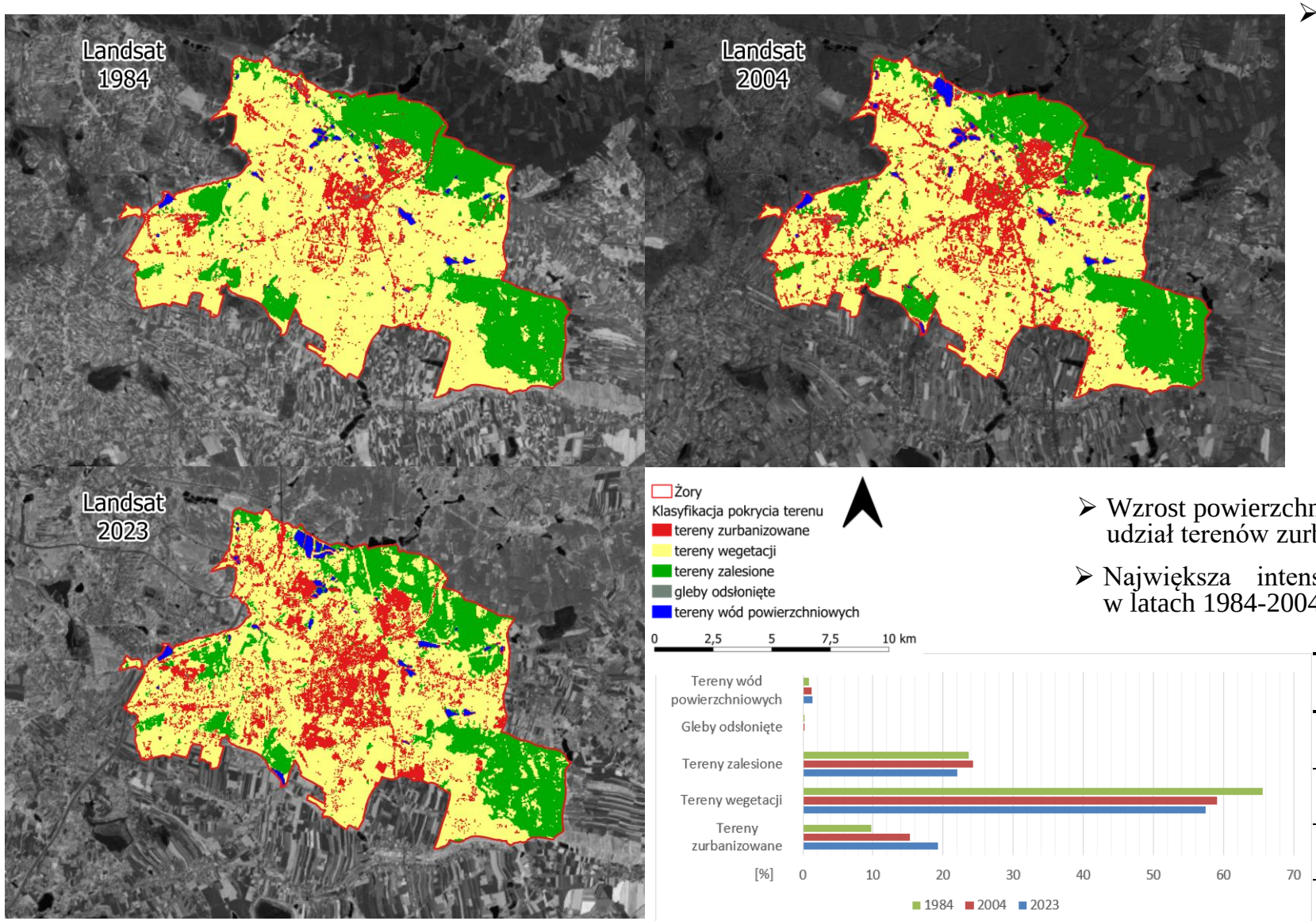
Klasa	8	9	10	11	12
Przykłady form zagospodarowania przestrzennego					
Sposób użytkowania	Rolniczy	Leśny	Wody powierzchniowe, rekreacyjne	Wody powierzchniowe w małym stopniu rekreacyjne	Wody powierzchniowe rekreacyjne, kamionki wodne
Stopień zainwestowania	niski	niski	niski	średni	średni
Stopień rozdrobnienia elementów tworzących formę zagospodarowania	wysoki stopień rozdrobnienia pół użytków rolnych	niski	niski stopień rozdrobnienia obiektów wodnych i pokrywy roślinnej	średni stopień rozdrobnienia obiektów wodnych pokrywy roślinnej	średni stopień rozdrobnienia obiektów wodnych i pokrywy roślinnej
Pokrywa roślinna	roślinność uprawna	roślinność wysoka	roślinność niska i wysoka	roślinność niska i wysoka	roślinność niska i wysoka

Fotointerpretacja zmian form pokrycia i użytkowania gruntów





Formy pokrycia i użytkowania gruntów, czasoprzestrzenne zmiany w latach 1984-2023



Rys. Wyniki nadzorowanej klasyfikacji spektralnej form pokrycia/użytkowanie terenu

- Ogólna dokładność klasyfikacji klas pokrycia terenu wyniosła 88%-92% i współczynnik Kappa coefficient 0.79-0.87.

Tab. Pokrycie i użytkowanie gruntów

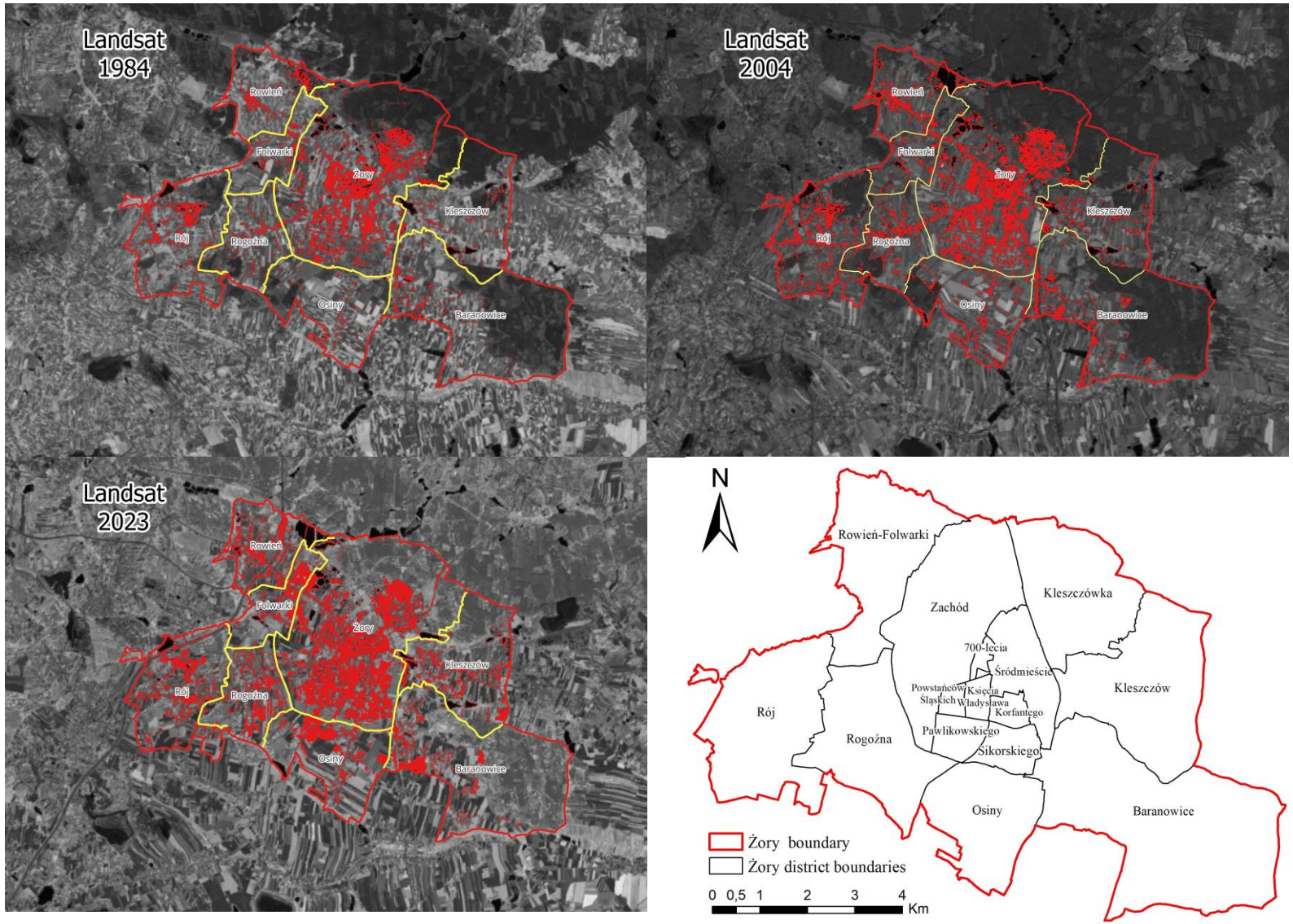
LULC	Landsat 5 (TM), Landsat 9 (OLI)			
	Unit	1984	2004	2023
Tereny zurbanizowane	ha	629	963	1262
	%	9,73	14,90	19,53
Tereny wegetacji	ha	4238	3837	3690
	%	65,57	59,37	57,09
Tereny zalesione	ha	1530	1565	1421
	%	23,67	24,21	21,99
Gleby odsłonięte	ha	12	18	4
	%	0,19	0,28	0,06
Tereny wód pow.	ha	54	80	86
	%	0,84	1,24	1,33
Total area of Żory	ha		6463	
	%		100	

- Wzrost powierzchni zajmowanej przez tereny zurbanizowane o ok. 630 ha, udział terenów zurbanizowanych w zwiększył się z ok. 10% do ok. 20%.
- Największa intensywność rozwoju przestrzennego miasta wystąpiła w latach 1984-2004.

Tab. Zmiany w pokryciu i użytkowanie gruntów

LULC	Landsat 5 (TM), Landsat 9 (OLI)			
	Unit	1984-2004	2004-2023	1984-2023
Tereny zurbanizowane	ha	334	299	633
	%	53,10	31,05	100,64
Tereny wegetacji	ha	-401	-147	-548
	%	-9,46	-3,83	-12,93
Tereny zalesione	ha	35	-144	-109
	%	2,29	-9,20	-7,12
Gleby odsłonięte	ha	6	-14	-8
	%	50,00	-77,78	-66,67
Tereny wód pow.	ha	26	6	32
	%	48,15	7,50	59,26

Ekspansja terenów zurbanizowanych w latach 1984-2023

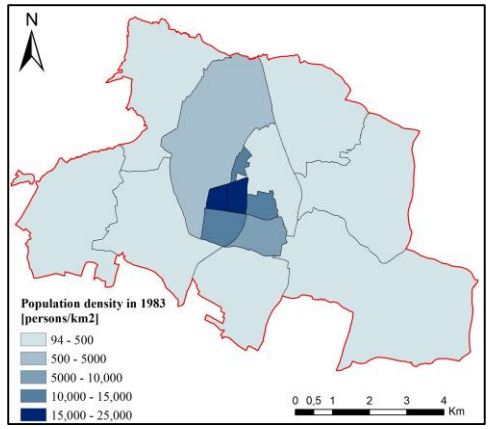


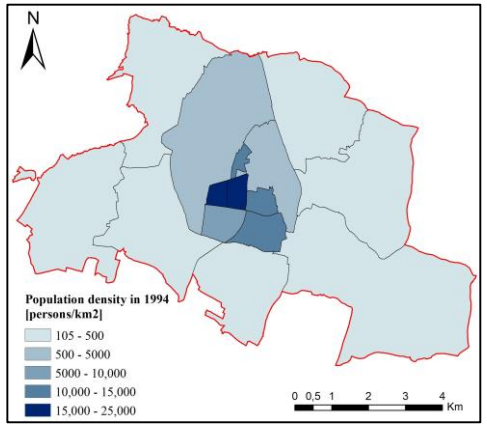
Rys. Ekspansja terenów zurbanizowanych na terenie Żor (1984-2023)

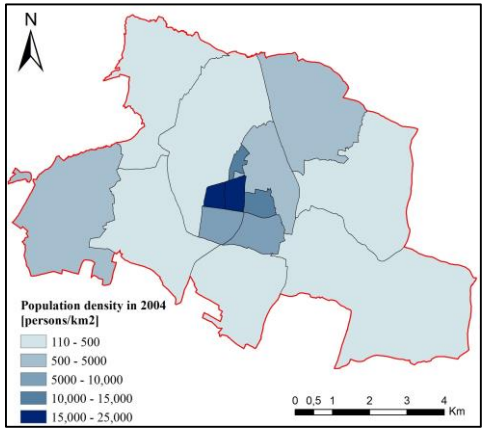
Tab. Zmiany terenów zurbanizowanych

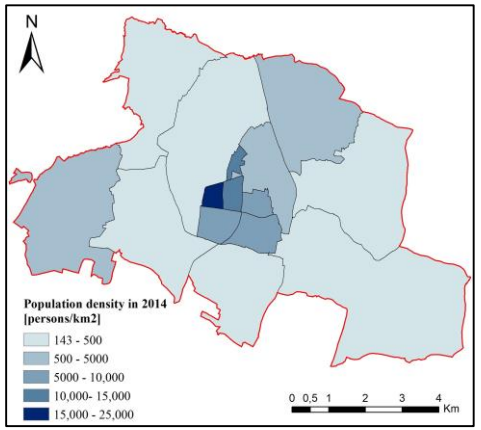
Districts	Units	Landsat 5 (TM), Landsat 8 (OLI) 1984-2004	2004-2023	1984-2023
700-lecie Żor	ha	0,68	0,50	1,18
	%	4,24	2,98	7,35
Baranowice	ha	38,94	11,80	50,74
	%	**100,66**	15,19	**131,15**
Kleszczów	ha	26,18	37,30	63,48
	%	75,97	61,50	**184,19**
Kleszczówka	ha	13,20	17,20	30,40
	%	14,20	16,21	32,71
Korfantego	ha	1,44	8,71	10,15
	%	6,34	36,07	44,70
Księcia Władysława	ha	4,79	5,14	9,93
	%	22,40	19,64	46,44
Osiny	ha	31,68	31,38	63,06
	%	**274,68**	72,62	**546,79**
Pawlikowskiego	ha	5,20	19,03	24,23
	%	17,86	55,43	83,20
Powstańców Śląskich	ha	5,96	3,77	9,73
	%	42,93	19,03	70,13
Rogoźna	ha	41,86	39,86	81,72
	%	**134,17**	54,56	**261,93**
Rowień-Folwarki	ha	34,62	21,90	56,52
	%	65,98	25,15	**107,73**
Rój	ha	50,49	4,57	55,06
	%	74,08	3,85	80,79
Sikorskiego	ha	24,20	25,76	49,96
	%	**216,53**	72,80	**446,96**
Śródmiescie	ha	23,30	14,42	37,72
	%	26,96	13,15	43,65
Zachód	ha	30,75	58,24	88,99
	%	31,02	44,85	89,78
Total area of districts	ha	333,29	299,58	632,87
	%	52,97	31,12	**100,57**

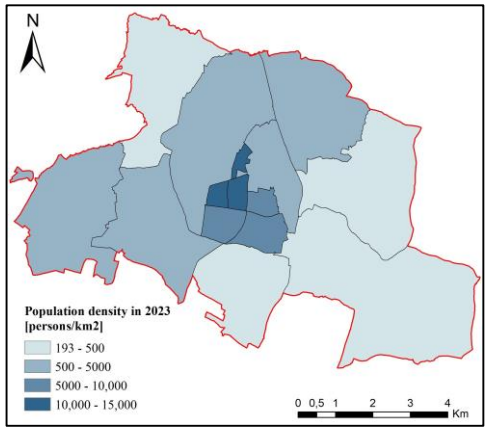
Zmiany demograficzne w latach 1984-2023











Average rate of change in the built-up areas = $[(Urb_{t+n} / Urb_t)^{(1/y)} -1]*100\%$

Average rate of change in the population = $[(Pop_{t+n} / Pop_t)^{(1/y)} -1]*100\%$

Tab. Średnie roczne tempo zmian terenów zurbanizowanych

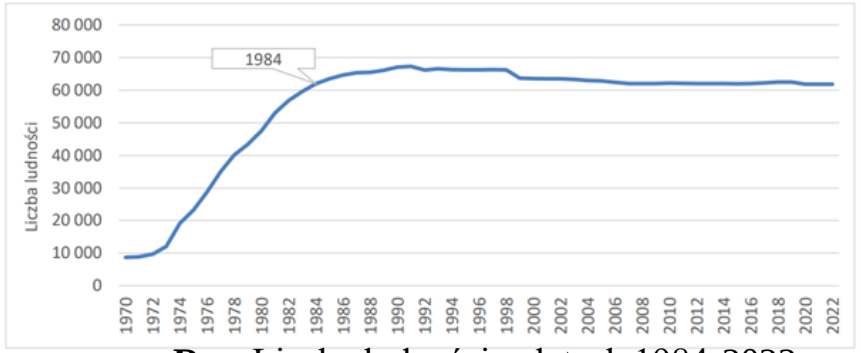
Districts	Tempo zmian terenów zurbanizowanych			
	Unit	1984-2004	2004-2023	1984-2023
700-lecie Żor	%	0,21	0,15	0,18
Baranowice	%	**3,54**	0,75	**2,17**
Kleszczów	%	**2,87**	**2,55**	**2,71**
Kleszczówka	%	0,67	0,79	0,73
Korfantego	%	0,31	1,63	0,95
Księcia Władysława	%	1,02	0,95	0,98
Osiny	%	**6,83**	**2,92**	**4,90**
Pawlikowskiego	%	0,83	2,35	1,56
Powstańców Śląskich	%	1,80	0,92	1,37
Rogoźna	%	**4,35**	**2,32**	**3,35**
Rowień-Folwarki	%	**2,57**	1,19	1,89
Rój	%	**2,81**	0,20	1,53
Sikorskiego	%	**5,93**	**2,92**	**4,45**
Śródmiescie	%	1,20	0,65	0,93
Zachód	%	1,36	1,97	1,66
Żory	%	**2,15**	**1,44**	**1,80**

- Średnie roczne tempo wzrostu terenów zurbanizowanych w Żorach w latach 1984-2023 wyniosło ok. 2 %.

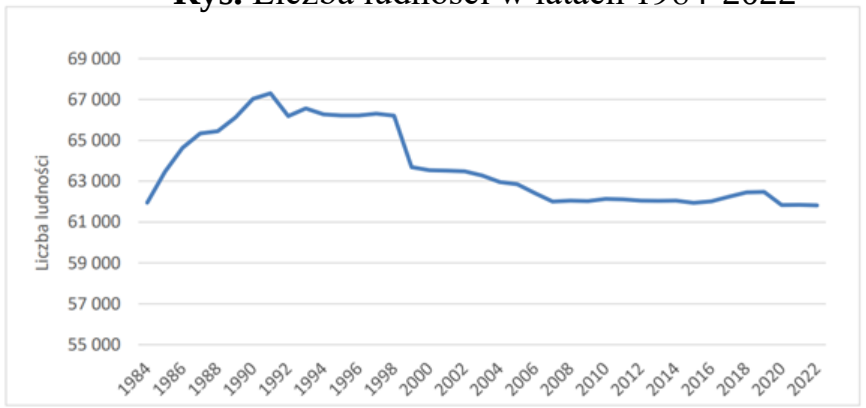
Tab. Średnie roczne tempo zmian liczby ludności

Districts	Tempo zmian liczby ludności			
	Unit	1984-2004	2004-2023	1984-2023
700-lecie Żor	%	1,09	**-1,73**	**-0,30**
Baranowice	%	0,78	3,01	1,86
Kleszczów	%	2,38	2,72	2,55
Kleszczówka	%	2,67	-0,47	1,13
Korfantego	%	-0,09	-1,58	-0,82
Księcia Władysława	%	**-0,76**	**-1,79**	**-1,26**
Osiny	%	1,90	2,57	2,22
Pawlikowskiego	%	**-1,41**	**-1,08**	**-1,25**
Powstańców Śląskich	%	**-0,75**	**-1,63**	**-1,18**
Rogoźna	%	0,56	3,99	2,22
Rowień-Folwarki	%	0,75	0,91	0,83
Rój	%	3,37	0,45	1,94
Sikorskiego	%	2,01	**-1,72**	0,18
Śródmiescie	%	4,29	**-1,03**	1,66
Zachód	%	**-4,84**	1,67	**-1,73**
Żory	%	0,05	**-0,43**	**-0,19**

- Średnie tempo spadku liczby ludności w Żorach w latach 1984-2023 wynosiło ok. 0,2%.

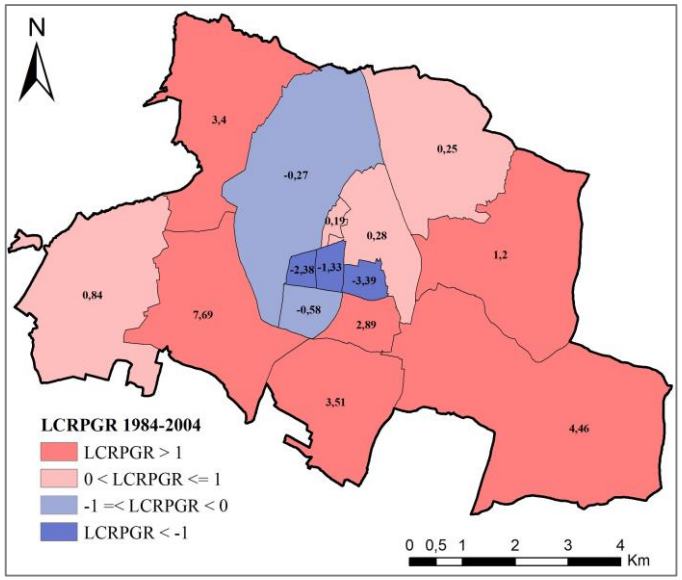


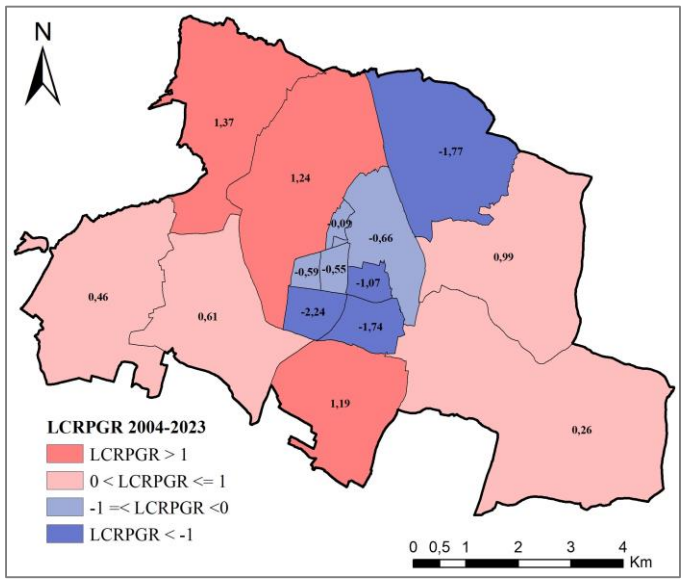
Rys. Liczba ludności w latach 1984-2022



Rys. Liczba ludności w latach 1970-2022

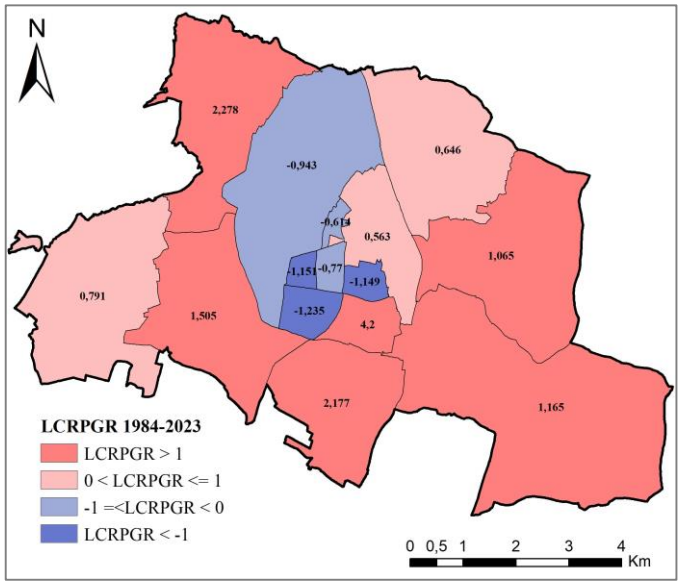
Wskaźniki zrównoważonej urbanizacji (LCRPGR) - efektywności zużycia gruntów do wzrostu populacji





$$LCR = (\ln \frac{Urb_{t+n}}{Urb_t})/t$$

$$PGR = (\ln \frac{Pop_{t+n}}{Pop_t})/t$$



Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate (LCRPGR) = Land Consumption Rate (LCR) / Population Growth Rate (PGR)

LCRPGR Classes	PGR	LCR	Development Evaluation
LCRPGR < −1	PGR < 0	LCR > 0	Inefficient land use
	PGR > 0	LCR < 0	
−1 <= LCRPGR < 0	PGR < 0	LCR > 0	Moving away from efficiency
	PGR > 0	LCR < 0	
LCRPGR = 0	PGR = 0	LCR = 0	No changes
	PGR = LCR		
0 < LCRPGR <= 1	PGR < 0	LCR < 0	Efficient land use/ moving toward efficier
	PGR > 0	LCR > 0	
LCRPGR > 1	PGR < 0	LCR < 0	Moving away from efficiency
	PGR > 0	LCR > 0	

Tab. LCRPGR - wskaźnik zużycia gruntów LCR w relacji do zmian liczby ludności PGR

Districts	Landsat 5 (TM), Landsat 9 (OLI)			
	Indicator	1984-2004	2004-2023	1984-2023
700-lecie Żor	LCR	0,002	0,001	0,002
	PGR	0,010	-0,016	-0,003
	LCRPGR	**0,191**	-0,093	-0,614
Baranowice	LCR	0,033	0,007	0,021
	PGR	0,007	0,027	0,018
	LCRPGR	**4,465**	**0,264**	**1,165**
Kleszczów	LCR	0,027	0,024	0,026
	PGR	0,022	0,024	0,025
	LCRPGR	**1,201**	**0,988**	**1,065**
Kleszczówka	LCR	0,006	0,008	0,007
	PGR	0,025	-0,004	0,011
	LCRPGR	**0,252**	-1,771	**0,646**
Korfantego	LCR	0,003	0,015	0,009
	PGR	-0,001	-0,014	-0,008
	LCRPGR	-3,385	-1,066	-1,149
Księcia Władysława	LCR	0,010	0,009	0,010
	PGR	-0,007	-0,016	-0,012
	LCRPGR	-1,327	-0,549	-0,770
Osiny	LCR	0,063	0,027	0,047
	PGR	0,018	0,023	0,021
	LCRPGR	**3,511**	**1,191**	**2,177**
Pawlikowskiego	LCR	0,008	0,022	0,015
	PGR	-0,013	-0,010	-0,012
	LCRPGR	-0,580	-2,238	-1,235
Powstańców Śląskich	LCR	0,017	0,009	0,013
	PGR	-0,007	-0,015	-0,012
	LCRPGR	-2,377	-0,587	-1,151
Rogoźna	LCR	0,041	0,022	0,032
	PGR	0,005	0,035	0,021
	LCRPGR	**7,686**	**0,614**	**1,505**
Rowień-Folwarki	LCR	0,024	0,011	0,018
	PGR	0,007	0,008	0,008
	LCRPGR	**3,404**	**1,369**	**2,278**
Rój	LCR	0,026	0,002	0,015
	PGR	0,032	0,004	0,019
	LCRPGR	**0,836**	**0,464**	**0,791**
Sikorskiego	LCR	0,055	0,027	0,042
	PGR	0,019	-0,016	0,010
	LCRPGR	**2,889**	-1,742	**4,20**
Śródmiescie	LCR	0,011	0,006	0,009
	PGR	0,040	-0,009	0,016
	LCRPGR	0,284	-0,658	0,563
Zachód	LCR	0,013	0,019	0,016
	PGR	-0,047	0,015	-0,017
	LCRPGR	-0,272	**1,239**	-0,943

Rys. Wskaźnika zużycia gruntów do wskaźnika wzrostu populacji (LCRPGR)

Wnioski

1. Z przeprowadzonych badań wynika, że powierzchnia terenów zurbanizowanych Żor w latach 1984-2023 wzrosła o 633 ha (ok. 100%), co oznacza niemal 2-krotny wzrost w ciągu ostatnich 40 lat. Wzrost obszarów zurbanizowanych następował głównie kosztem terenów rolniczych.
2. W analizowanym okresie czasu powierzchnia terenów zurbanizowanych stale rosła w tempie ok. 2%, mimo niewielkiej różnicy zmian liczby ludności, spadek o ok. -0,2%.
3. Największy procent zmian terenów zurbanizowanych zaobserwowano w dzielnicy Osiny (587%), Rogożna (261%) i Baranowice (131%).
4. Również ujemne wartości wskaźnik zużycia gruntów w relacji do zmieniającej się liczby ludności (LCRPGR), w każdym z analizowanych okresów czasu, ze względu na malejącą liczbę mieszkańców ujawniły, że mimo postępującego procesu depopulacji, szczególnie w centrum miasta i największych dzielnicach mieszkaniowych, w analizowanych okresach czasu odnotowany został wzrost terenów zurbanizowanych. Konieczne jest wdrażanie rozwiązań porzeciwdziających suburbanizacji demograficznej.
5. Wyniki analiz mogą być wykorzystane jako informacje bazowe do określenia przyszłych kierunków rozwoju terenów zurbanizowanych oraz do ustalenia priorytetów w realizacji zrównoważonego rozwoju miasta Żory.
6. Zastosowana procedura badawcza ma charakter uniwersalny i może być stosowana przez władze lokalne i planistów dla dowolnych jednostek administracyjnych.
7. Aktualnie w Polsce trwają prace związane z nową reformą planowania przestrzennego, która jest odpowiedzią m.in. na problemy suburbanizacji i chaosu przestrzennego. Zachodzi więc potrzeba przeprowadzenia monitoringu tych zjawisk na większą skalę w celu identyfikacji obszarów najbardziej zagrożonych i wdrożenia działań programowych.