


Piotr Lupa

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Wydział Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej
Zakład Geografii Kompleksowej
piotr.lupa@amu.edu.pl
 <https://orcid.org/0000-0003-1421-4926>

Wpływ zielonej infrastruktury na warunki termiczne miast północnej Wielkopolski oraz jej miejsce w lokalnej polityce klimatycznej

Zarys treści: Zielona infrastruktura (ZI) obszarów zurbanizowanych dostarcza wielu regulacyjnych usług ekosystemowych. Jej istotny wpływ na rozkład temperatury powietrza w mieście i regulację obiegu wody ma strategiczne znaczenie dla adaptacji miast do zmian klimatu i zapewnienia wysokiej jakości życia mieszkańców.

Celem pracy jest rozpoznanie ilościowe ZI w miastach województwa wielkopolskiego położonych na północ od Poznania (31 obiektów) w kontekście wpływu na warunki termiczne. Jednocześnie podjęto próbę oceny uwzględnienia koncepcji ZI w polityce klimatycznej miast poprzez analizę zapisów zawartych w wybranych dokumentach strategicznych. Wykorzystując zdjęcie satelitarne Landsat 8 oraz metody GIS, wyliczono wartości wskaźnika NDVI (ang. *normalized difference vegetation index* – znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji) oraz opracowano rozkłady temperatury radiacyjnej. Posłużyły one do pośredniej oceny roli ZI w regulacji temperatury powietrza w miastach. Uzyskane w ten sposób wyniki odniesiono do zapisów dokumentów miejskich w zakresie lokalnej polityki klimatycznej.

W toku badań potwierdzono znaczny i zróżnicowany przestrzennie wpływ ZI na obniżanie temperatury radiacyjnej w miastach. W tych samych warunkach atmosfery różnice wysokości średniej temperatury radiacyjnej obliczonej dla miast różniących się udziałem ZI przekraczały nawet 5°C. Tak ważna rola ZI nie znalazła jednak bezpośredniego przełożenia na politykę klimatyczną miast, w której wyżej pozycjonowane są działania inwestycyjne w szarej infrastrukturze, a powiązania między szarą, niebieską i zieloną infrastrukturą są w wielu przypadkach pomijane.

Słowa kluczowe: zielona infrastruktura, zmiany klimatu, miasta północnej Wielkopolski, temperatura radiacyjna i NDVI, Landsat 8

Wprowadzenie

Przeciwdziałanie zmianom klimatu i adaptacja do skutków tych zmian są obecnie jednymi z najważniejszych wyzwań, z którymi zmagają się nie tylko organizacje

międzynarodowe, poszczególne państwa, ale także samorząd terytorialny, społeczeństwo obywatelskie (w tym mieszkańcy, gospodarstwa domowe, organizacje pozarządowe) oraz przedsiębiorcy (Kundzewicz, Kowalczak 2008, IPCC 2018, Popkiewicz i in. 2018, Hoegh-Guldberg i in. 2018, Lupa i in. 2019).

Szczególne sytuacja dotyczy miast stanowiących przestrzeń życia większości ludzi oraz silnej koncentracji szarej infrastruktury¹ i innych efektów działalności człowieka. Wskutek tego obszary zurbanizowane w znacznym stopniu odpowiadają za dokonujące się obecnie zmiany klimatu (np. Carter i in. 2015, IPCC 2018). Według różnych źródeł (Kundzewicz, Kowalczak 2008, Starkel, Kundzewicz 2008, Kolendowicz i in. 2010, Kundzewicz 2011, Graf 2014, Kolendowicz, Taszarek 2014, Jawgiel 2016, Kundzewicz i in. 2017) do najważniejszych przewidywanych skutków zmian klimatu mających istotne znaczenie dla rozwoju polskich miast należy zaliczyć: wzrost średniej rocznej temperatury powietrza i nasilenie efektu miejskich wysp ciepła; wzrost częstotliwości zdarzeń ekstremalnych (deszczów nawalnych powodujących podtopienia, powodzie błyskawiczne, erozję gleb i osuwiska, fal upałów i susz, silnych wiatrów); zwiększenie amplitudy wahań stanu wód w rzekach (problemy z dostawą wód chłodniczych zwiększające ryzyko przerw w dostawie energii elektrycznej) oraz zmiany w podaży świadczeń ekosystemowych.

Obok innowacji technologicznych, rozwoju odnawialnych źródeł energii, zmian w zakresie stylu życia oraz stopnia korzystania ze środowiska przyrodniczego i jego zasobów istotną rolę w przeciwdziałaniu zmianom klimatu, a zwłaszcza adaptacji miast do opisanych wcześniej skutków, odgrywa zielona infrastruktura (ZI). Stanowi ona strategicznie zaplanowaną sieć obszarów naturalnych i półnaturalnych z innymi cechami środowiskowymi, zaprojektowaną i zarządzaną w sposób mający zapewnić szeroką gamę świadczeń ekosystemowych. Obejmuje obszary zielone i niebieskie oraz inne cechy fizyczne obszarów lądowych i morskich (COM 2013). Przykładami ZI w mieście są tereny zieleni urządzonej, lasy, ciekі, porośnięte roślinnością mury i dachy, które są miejscem sprzyjającym różnorodności biologicznej, umożliwiającym przetrwanie i funkcjonowanie ekosystemów oraz życie ludzi (COM 2013, Aleksandrova 2016). ZI wraz z niebieską i szarą infrastrukturą tworzy fizyczną infrastrukturę obszarów zurbanizowanych. Wymienione rodzaje infrastruktury trudno opisywać i badać oddzielnie, co przypisuje się współlistnieniu zielono-szarej, niebiesko-szarej lub zielono-niebiesko-szarej infrastruktury (Davies i in. 2006, Aleksandrova 2016, Qi i in. 2019).

Właściwie zaprojektowane tereny zieleni i wody powierzchniowe w mieście pozwalają zmniejszyć amplitudy temperatury powietrza i obniżyć narażenie na gwałtowne zjawiska pogodowe. Wysoka zieleń (parki i lasy miejskie), zapewniając cień chroniący przed bezpośrednim promieniowaniem słonecznym, zmniejsza nagrzewanie powierzchni terenu. Dodatkowym mechanizmem obniżania

¹ Aleksandrova (2016) podkreśla, że szara infrastruktura jest definiowana w literaturze zazwyczaj jako sztuczna, wizualnie „niezielona”, abiotyczna część tkanki miejskiej. W praktyce trudno jednoznacznie odgraniczyć elementy zielonej i szarej infrastruktury w mieście, bowiem w wielu przypadkach decydujące znaczenie mają cechy funkcjonalne, a nie wizualne infrastruktury (Davies i in. 2006, Aleksandrova 2016).

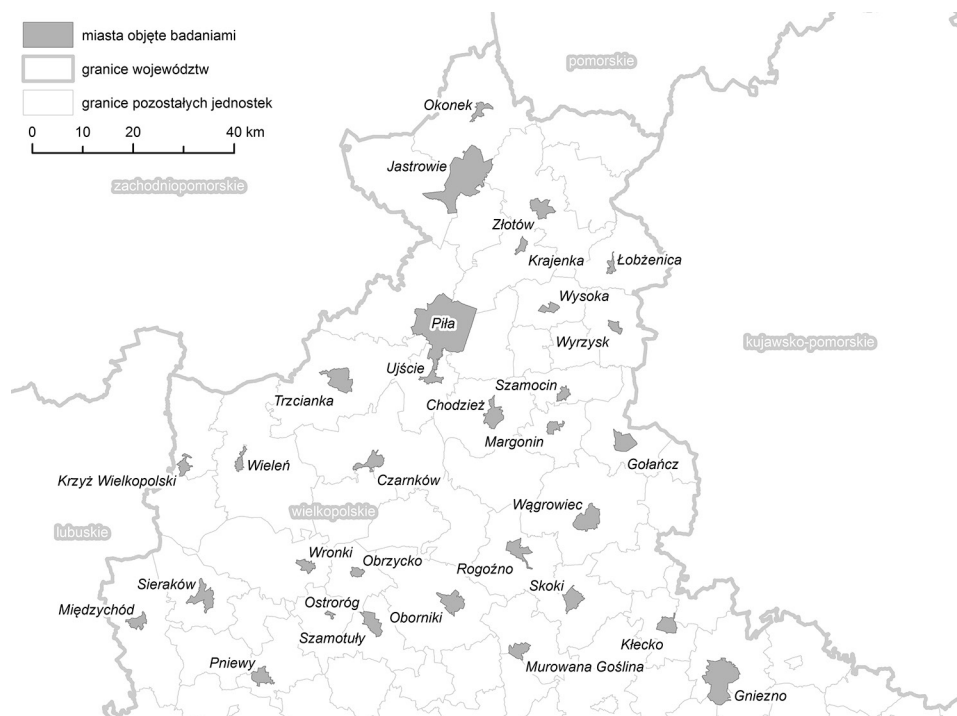
temperatury powietrza jest parowanie i transpiracja roślin, które wiążą się z absorpcją ciepła z sąsiedztwa. Powierzchnie wodne i pokrywa roślin pochłaniają znacznie więcej energii słonecznej (promieniowanie krótkofalowe) niż obszary zabudowane, które szybko przekształcają energię słoneczną w promieniowanie długofalowe, ogrzewając przy tym powietrze. Zmiany klimatu wpływają na częstość występowania ulewnych deszczów, z którymi nie zawsze radzą sobie systemy kanalizacyjne. Tereny zieleni (np. zagłębienia infiltracyjne z bioretencją, swale) mogą znacznie zwiększyć efektywność retencjonowania wody deszczowej. Bardzo ważną rolę odgrywa utrzymanie terenów zalewowych, które przechwytyjąc część fali wezbraniowej, obniżają znacznie ryzyko powodzi. Jednocześnie są to powierzchnie zasilania wód podziemnych, co zmniejsza deficyt wody w okresach niedoborów opadów. Ponadto rozczłonkowanie zabudowy miejskiej przez zieloną i błękitną infrastrukturę sprzyja efektywniejszej wentylacji miast, polepszając jakość powietrza i obniżając dokuczliwość upałów (np. Szymanowski 2004, Błażejczyk 2014, Kuchcik i in. 2015, Mizgajski, Zwierzchowska 2015, Szczepanowska 2015, Szulczewska 2015).

Biorąc pod uwagę kluczową rolę ZI w adaptacji miast do skutków zmian klimatu, a w szczególności jej pozytywny wpływ na regulację temperatury powietrza i łagodzenie zjawiska miejskiej wyspy ciepła, w pracy przyjęto następujące szczegółowe cele badawcze:

- Rozpoznanie ilościowe ZI w miastach województwa wielkopolskiego położonych na północ od Poznania (31 obiektów) na podstawie wartości znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji NDVI wyliczonego dla miast i ich buforów o promieniu 1 km.
- Rozpoznanie ilościowe wpływu ZI na warunki termiczne miast w oparciu o zbadanie różnic w rozkładach temperatury radiacyjnej w miastach i ich buforach.
- Określenie pozycji zielonej infrastruktury w polityce klimatycznej miast poprzez analizę zapisów w gminnych programach ochrony środowiska (POŚ) i planach gospodarki niskoemisyjnej (PGN).

Miasta północnej Wielkopolski – obszar badań

Badania zostały przeprowadzone dla 31 miast w województwie wielkopolskim na północ od Poznania. W grupie tej znalazły się gminy miejskie (7) oraz miasta w gminach miejsko-wiejskich (24) (ryc. 1). Miasta różnią się między sobą liczbą mieszkańców (min. Ostroróg 1892 osoby, maks. Piła – 73 139 osób, BDL GUS 2020), gęstością zaludnienia (min. Jastrowie 119 osób/km², maks. Wronki 1914 osób/km², BDL GUS 2020), powierzchnią (min. Ostroróg 1,25 km², maks. Piła 102,68 km², BDL GUS 2020) oraz warunkami społeczno-ekonomicznymi i środowiskowymi, w tym użytkowaniem ziemi i pokryciem terenu.



Ryc. 1. Lokalizacja miast objętych badaniami na tle województwa wielkopolskiego
 Źródło: opracowanie własne na podstawie Państwowego Rejestru Granic (2019).

Materiały i metody badawcze

W badaniach wykorzystano techniki i narzędzia systemów informacji geograficznej (GIS), metodę analizy dokumentów źródłowych (ang. *content analysis*) oraz metody statystyczne.

Do określenia rozkładu temperatury radiacyjnej (ang. *brightness temperature*) oraz wyznaczenia wartości wskaźnika NDVI (ang. *normalized difference vegetation index* – znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji) użyto wielospektralnych zdjęć satelitarnych wykonanych przez satelitę Landsat 8 w dniu 7 czerwca 2018 r. o godz. 9:48 w trakcie pogody radiacyjnej przy braku zachmurzenia nad Polską. W badaniach wykorzystano 4 kanały spektralne: kanał 4 (ang. *RED* – czerwień, rozdzielczość piksela 30 m), kanał 5 (NIR ang. *near infrared* – bliska podczerwień, rozdzielczość piksela 30 m), kanał 10 (TIRS1 ang. *thermal infrared* – podczerwień termiczna, rozdzielczość piksela 100 m) i kanał 11 (TIRS2 ang. *thermal infrared* – podczerwień termiczna, rozdzielczość piksela 100 m). Dane zostały pobrane z serwisu Earth Explorer Amerykańskiej Służby Geologicznej (U.S. Geological Survey, USGS) i przetworzone z wykorzystaniem oprogramowania systemów informacji geograficznej ESRI ArcMap v10.5.

Temperaturę radiacyjną wyznaczono, uwzględniając procedurę zaproponowaną przez Butlera (2014) oraz wytyczne z literatury (Ciołkosz, Kęsik 1989, Waławender 2006, 2009, Waławender i in. 2011, 2014). Proces przetwarzania i kalibracji zdjęcia obejmował następujące kroki realizowane równocześnie dla kanałów 10 i 11 (TIRS1 i TIRS2) (patrz ryc. 2 i tab. 1):



Ryc. 2. Procedura przygotowania rastra obrazującego rozkład temperatury radiacyjnej na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat 8

Objaśnienia: LS8_2018 B10 – zdjęcie termalne Landsat 8, kanał spektralny nr 10 (TIRS1); LS8_2018 B11 – zdjęcie termalne Landsat 8, kanał spektralny nr 11 (TIRS2); RM – mnożnik radiacji; RA – korekta radiacji; TOAr – wartość radiacji w szczytowej części atmosfery; R1–R11 – kolejne rastry wynikowe procesu przetwarzania zdjęć satelitarnych; K1 i K2 – wielkości stałe dla sensorów satelity (tab. 1); TrK – temperatura radiacyjna w kelwinach (K); TrC – temperatura radiacyjna w stopniach Celsjusza (°C).

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem modułu Model Builder programu ArcMap v10.5.1 oraz Butler 2014.

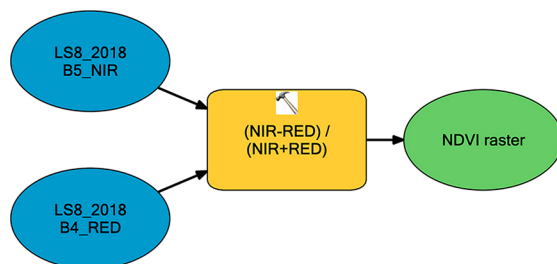
- konwersja surowych wartości pikseli tworzących zdjęcie satelitarne (DN) do wartości radiacji w szczytowej części atmosfery (TOAr, ang. *top of atmosphere radiance*) z wykorzystaniem mnożnika radiacji (RM) i korekty radiacji (RA);
- konwersja TOAr do wartości temperatury radiacyjnej wyrażonej w kelwinach (TrK) z zastosowaniem wielkości stałych K1 i K2 zależnych od specyfikacji sensora kamery zgodnie ze wzorem $TrK = K2/\ln((K1/TOAr)+1)$;
- konwersja TrK do wartości temperatury radiacyjnej wyrażonej w stopniach Celsjusza;
- mozaikowanie map temperatury radiacyjnej (TrC_B10 i TrC_B11) w celu uzyskania finalnej mapy termalnej (raster termalny zbudowany z pikseli o uśrednionych wartościach temperatury radiacyjnej).

Tabela 1. Wielkości korygujące używane do kalibracji termalnej zdjęć Landsat 8

Parametry kalibracyjne	Landsat 8	
	Kanał 10 (TIRS1)	Kanał 11 (TIRS2)
Mnożnik radiacji RM (ang. <i>Radiance Multiplier</i>)	0,0003342	0,0003342
Korekta radiacji RA (ang. <i>Radiance Add</i>)	0,1	0,1
Wielkość stała K1 (dla danego sensora/kanału)	774,89	480,89
Wielkość stała K2 (dla danego sensora/kanału)	1321,08	1201,14

Źródło: plik z metadanymi udostępniany łącznie ze zdjęciem satelitarnym Landsat 8 (USGS, Earth Explorer).

Indeks NDVI opracowany przez Rouse i in. (1973) jest obliczany jako stosunek różnicy odbicia w kanale podczerwonym (NIR) i czerwonym (RED) do sumy odbicia w tych kanałach (ryc. 3). Daje możliwość badania kondycji roślin, procesu fotosyntezy czy szacowania biomasy (Jarocińska, Zagajewski 2008). Przyjmuje wartości z zakresu od -1 do $+1$, w praktyce od $-0,1$ do $+0,7$ (Wójtowicz i in. 2005). W zależności od wartości wskaźnika możliwe jest określenie, czy dany teren reprezentowany jest przez roślinność zieloną, wody, glebę. Według Jarocińskiej i Zagajewskiego (2008) roślinność jest identyfikowana w zakresie wartości NDVI od $0,4$ do $0,8$. Wójtowicz i in. (2005) podają, że woda, śnieg i lód



Ryc. 3. Procedura przygotowania rastrowego obrazu wskaźnika NDVI na podstawie zdjęć satelitarnych Landsat 8

Objaśnienia podano w tekście.

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem modułu Model Builder programu ArcGIS Desktop 10.5.1

warunkują ujemne wartości NDVI, gleba od $-0,1$ do $+0,1$, natomiast większe wartości NDVI uzyskuje się przy pomiarach roślinności. Na tej podstawie możliwe jest rozpoznanie głównych klas pokrycia terenu, w szczególności terenów zieleni i powierzchni wodnych (Walawender 2011).

W niniejszym badaniu wskaźnik posłużył do wyznaczenia udziału zielonej infrastruktury w powierzchni miast i w powierzchni ich buforów o promieniu 1 km. Na podstawie literatury (Wójtowicz i in. 2005, Jarocińska, Walawender 2006, 2009, Zagajewski 2008) przyjęto, że piksele o wartościach $0 \geq NDVI \geq 0,3$ reprezentują zieloną infrastrukturę (w tym niebieską – wartości NDVI ujemne i bliskie 0).

Opierając się na mapach rozkładu temperatury radiacyjnej i wartości wskaźnika NDVI, wyliczono średnie temperatury dla miast ($T_{r,m}$) i ich buforów ($T_{r,b}$), różnice temperatury między miastem a buforem, udziały terenów ZI w poszczególnych jednostkach oraz różnice tych udziałów wyrażone w punktach procentowych. Szczególne znaczenie miało zbadanie występowania różnic wartości średniej temperatury radiacyjnej obliczonej dla miast i ich buforów, co umożliwiło sprawdzenie występowania zjawiska miejskiej wyspy ciepła (patrz Walawender 2006).

W pracy przyjęto, że źródłami informacji umożliwiającymi rozpoznanie znaczenia ZI w polityce klimatycznej miast są gminne programy ochrony środowiska (POŚ) oraz plany gospodarki niskoemisyjnej (PGN). Opracowanie POŚ należy do obligatoryjnych zadań jednostek samorządu terytorialnego (JST) i zostało uregulowane w ustawie z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz.U. z 2020 r., poz. 1219 ze zm.). Zgodnie z przepisami podstawowym celem sporządzenia i uchwalenia POŚ jest realizacja przez JST polityki ochrony środowiska zbieżnej z założeniami najważniejszych dokumentów strategicznych i programowych (MŚ 2015). POŚ powinny obejmować 10 obszarów interwencji, w tym ochronę klimatu i jakości powietrza, oraz zagadnienia horyzontalne – wśród nich adaptację do zmian klimatu. Całokształt ujętych zagadnień oraz obligatoryjność programów sprawia, że są to dokumenty o istotnym potencjale dla kształtowania polityki klimatycznej JST. PGN nie są dokumentami opracowywanymi obligatoryjnie przez gminy, jednakże ich posiadanie oraz uwzględnienie w nich przedsięwzięć jest często niezbędnym wymogiem do otrzymania wsparcia finansowego z programów krajowych i unijnych (Kunikowski 2018). Ten pragmatyczny argument sprawił, że znaczna grupa gmin w Polsce zdecydowała się na opracowanie PGN, a przez to nakreślenie ścieżki do osiągnięcia stanu gospodarki niskoemisyjnej i zminimalizowania oddziaływania na klimat.

Przeprowadzono analizę wymienionych dokumentów źródłowych (ang. *document analysis, content analysis*) polegającą na identyfikacji treści związanych z ZI w opracowaniach tekstowych oraz interpretacji wyników (Bowen 2009). Metoda jest powszechnie stosowana w badaniach naukowych (np. Graneheim, Lundman 2004, Hsieh, Shannon 2005, Kabisch i in. 2015, Mączka i in. 2016, Cortinovis, Geneletti 2018, Zwierzchowska i in. 2019). Aby zapewnić miarodajność i porównywalność wyników z analizy POŚ i PGN, zostały wyłączone ich fragmenty odnoszące się do dokumentów wyższego szczebla.

Zróźnicowanie temperatury radiacyjnej i wskaźnika NDVI

Wyniki badań potwierdziły istnienie liniowej współzależności między temperaturą radiacyjną miast a udziałem powierzchni o wartości NDVI z przedziału ($0 \geq \text{NDVI} \geq 0,3$) identyfikowanych jako tereny pokryte wodą i roślinnością (NDVI_{zi}). Wśród jednostek odznaczających się wyższą średnią temperaturą radiacyjną ($T_{r,m}$) udział ZI ($\text{NDVI}_{zi,m}$) był zazwyczaj mniejszy, co potwierdza wartość wskaźnika korelacji $r = -0,83$ i duża siła tej zależności mierzona wskaźnikiem determinacji ($r^2 = 0,70$, $p = 0,0000$). Istotny wpływ na rozkład temperatury radiacyjnej w mieście miał również udział ZI w strefie buforowej ($\text{NDVI}_{zi,b}$). Im wyższy udział tego rodzaju terenów w bezpośrednim sąsiedztwie miast, tym mniejsza okazywała się średnia temperatura radiacyjna miast ($r = -0,50$, $r^2 = 0,40$, $p = 0,0090$). Zależności te są zbieżne z ustaleniami innych badaczy (np. Walawender 2006, 2009, Zhang i in. 2010). Wyniki prac Walawendera (2006, 2009, 2011) zajmującego się badaniem struktury termicznej powierzchni miast na przykładzie aglomeracji krakowskiej są zbieżne z wynikami uzyskanymi w niniejszej pracy. Rezultaty otrzymane dla Krakowa pokazują, że najniższymi wartościami temperatury charakteryzują się powierzchnie akwenów oraz lasów i parków miejskich, które tworzą zieloną infrastrukturę.

Najwyższe różnice średniej temperatury radiacyjnej miast $T_{r,m}$ ($3,5$ – $5,6^\circ\text{C}$) odnotowano między Jastrowiem, Ujściem, Skokami a Krzyżem Wielkopolskim, Murowaną Gośliną i Szamocinem. Różnice udziału zielonej infrastruktury ($\text{NDVI}_{zi,m}$) między tymi grupami miast wyniosły aż $17,3$ – $36,6$ punktu procentowego (p.p.), a udziału zielonej infrastruktury w buforach miast ($\text{NDVI}_{zi,b}$) – $6,6$ – $21,5$ p.p. (tab. 2).

Najwyższe różnice średniej temperatury radiacyjnej między miastem a jego buforem stwierdzono dla Wroniek ($3,2^\circ\text{C}$), Wągrowca ($3,2^\circ\text{C}$), Okonka ($3,2^\circ\text{C}$) i Wielenia ($3,0^\circ\text{C}$) (ze względu na znaczny udział lasów w ich buforach), najmniejsze dla położonych w sąsiedztwie terenów rolnych Wysokiej ($0,0^\circ\text{C}$), Wyrzyska ($0,2^\circ\text{C}$), Łobżenicy ($0,2^\circ\text{C}$) oraz Złotowa ($-0,2^\circ\text{C}$), Ujścia ($-0,5^\circ\text{C}$) i Kłecka ($-0,6^\circ\text{C}$). Ostatnie trzy miejscowości są jedynymi, dla których średnia temperatura radiacyjna miasta była niższa od temperatury w strefie buforowej. W przypadku Kłecka i Ujścia wynika to z podobnego udziału ZI w powierzchni miasta i bufora (różnice między $\text{NDVI}_{zi,m}$ a $\text{NDVI}_{zi,b}$ wyniosły odpowiednio $0,5\%$ i $-5,9\%$) oraz wpływu terenów wodnych zlokalizowanych w obu miejscowościach (w Kłecku dwa jeziora, w Ujściu rzeki Gwda i Noteć). Złotów ma zdecydowanie mniejszy powierzchniowy udział ZI niż jego bufor (różnica $-17,4\%$), ale w strukturze ZI tego miasta dominują wody (5 jezior) oraz lasy. W przypadku jego strefy buforowej przeważającym typem pokrycia są tereny rolne, które mają wyższą przeciętną temperaturę radiacyjną niż zieleń wysoka i naturalne zbiorniki wodne (Walawender 2009, Lupa, Łowicki 2013). Nie bez znaczenia jest też postępujący rozwój zabudowy w strefie podmiejskiej tej miejscowości.

Tabela 2. Charakterystyka miast ze względu na rozkład temperatury radiacyjnej oraz udział NDVI_{zi}

Nazwa miasta	Miasto			Bufor wokół miasta (r = 1 km)			Różnica	Różnica
	Pow. [ha]	T _{r,m} [°C]	NDVI _{zi,m} [% pow.]	Pow. [ha]	T _{r,b} [°C]	NDVI _{zi,b} [% pow.]	[T _{r,m} - T _{r,b}] [°C]	[NDVI _{zi,m} - NDVI _{zi,b}] [p.p.]
Chodzież	1275,5	24,8	62,3	2271,1	23,5	82,4	1,3	-20,1
Czarnków	1003,0	25,3	63,0	2353,3	23,1	89,4	2,2	-26,3
Gniezno	4054,9	26,5	56,5	3450,3	25,2	77,7	1,3	-21,1
Gołańcz	1262,3	26,0	74,3	1878,3	25,0	87,1	1,0	-12,8
Jastrowie	7223,5	22,6	86,8	5344,9	21,6	90,2	1,0	-3,4
Kłecko	960,4	24,3	82,3	1789,6	24,9	81,8	-0,6	0,5
Krajenka	376,1	26,2	63,1	1350,0	24,1	86,5	2,2	-23,5
Krzyż Wielkopolski	582,8	28,2	51,0	1813,5	26,0	79,0	2,2	-28,0
Łobżenica	324,5	25,6	72,1	1509,8	25,1	81,6	0,5	-9,5
Margonin	514,8	26,1	62,9	1503,0	24,3	83,9	1,8	-21,0
Międzychód	698,0	25,8	61,8	1690,8	23,9	82,4	1,9	-20,6
Murowana Goślina	859,5	27,5	52,4	1694,4	26,3	68,8	1,3	-16,4
Oborniki	1406,6	26,0	57,0	2182,3	24,0	81,6	2,0	-24,6
Obrzycko	374,1	24,5	71,9	1160,7	22,1	91,1	2,4	-19,2
Okonek	600,6	25,4	69,8	1911,3	22,2	93,2	3,2	-23,3
Ostroróg	125,4	25,8	46,9	936,8	23,1	87,0	2,7	-40,1
Piła	10259,4	24,2	70,5	5411,6	22,8	82,8	1,4	-12,2
Pniewy	931,9	26,3	58,0	1908,8	25,0	81,7	1,3	-23,7
Rogoźno	1123,4	26,2	64,3	2520,9	25,0	82,5	1,3	-18,2
Sieraków	1407,4	24,5	74,3	2659,1	23,0	85,6	1,4	-11,3
Skoki	1118,4	23,8	69,7	1975,1	22,1	87,2	1,7	-17,4
Szamocin	466,5	27,3	50,2	1371,1	25,3	74,1	2,0	-23,9
Szamotuły	1107,5	25,9	57,6	2005,9	23,4	87,5	2,5	-29,9
Trzcianka	1828,6	25,9	65,8	2446,2	23,9	83,8	2,0	-18,0
Ujście	577,5	22,7	79,7	1765,0	23,2	85,6	-0,5	-5,9
Wągrowiec	1779,8	26,7	51,7	2180,0	23,5	84,8	3,2	-33,1
Wieleń	432,3	26,9	52,9	1649,8	24,0	89,5	3,0	-36,7
Wronki	580,5	25,3	53,4	1515,6	22,1	89,9	3,2	-36,5
Wyrzysk	411,7	24,6	73,2	1280,2	24,3	81,3	0,2	-8,1
Wysoka	481,6	25,0	77,2	1419,1	25,0	86,5	0,0	-9,3
Złotów	1156,5	25,4	58,6	2028,2	25,7	76,0	-0,2	-17,4

Objaśnienia skrótów podano w tekście.

Źródło: opracowanie własne na podstawie analizy multispektralnego zdjęcia satelitarnego Landsat 8.

Miejsce zielonej infrastruktury w dokumentach miejskich

Termin zielona infrastruktura został użyty w trzech POŚ opracowanych dla gmin Oborniki, Wronki i Ujście (tab. 3). Niestety koncepcja nie została wyjaśniona ani użyta bezpośrednio w kontekście ochrony klimatu i adaptacji do skutków jego

Tabela 3. Wyniki analizy dokumentów miejskich

Miasto	PGN					POŚ				
	zawarcie terminu ZI:		zawarcie innych terminów dotyczących ZI:			zawarcie innych terminów dotyczących ZI:				
	ogółem	w kontekście zmian klimatu	ogółem	w harmonogramie realizacji	zawarcie terminu ZI	ogółem	w kontekście zmian klimatu	w kontekście ochrony klimatu i powietrza	w harmonogramie realizacji w zakresie:	
								ochrony klimatu i powietrza	innym	
Chodzież	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	nie	nie	nie
Czarnków	nie	nie	tak	nie	nie	tak	tak	tak	nie	tak
Gniezno	nie	nie	tak	tak	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Gołańcz	nie	nie	tak	tak	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Jastrowie	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Klecko	nie	nie	tak	nie	nie	tak	tak	tak	nie	tak
Krajenka	–	–	–	–	nie	tak	tak	nie	nie	tak
Krzyż Wielkopolski	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Łobżenica	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Margonin	nie	nie	nie	nie	–	–	–	–	–	–
Międzychód	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Murowana Goślina	nie	nie	tak	tak	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Oborniki	nie	nie	tak	tak	tak	tak	tak	tak	nie	tak
Obrzycko	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Okonek	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Ostroróg	–	–	–	–	nie	tak	nie	tak	nie	tak
Piła	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	tak	nie	tak
Pniewy	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Rogoźno	nie	nie	tak	nie	–	–	–	–	–	–
Sieraków	nie	nie	nie	nie	nie	tak	nie	tak	nie	tak
Skoki	nie	nie	tak	tak	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Szamocin	nie	nie	tak	tak	nie	tak	nie	nie	nie	tak
Szamotuły	nie	nie	tak	tak	–	–	–	–	–	–
Trzcianka	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	tak	nie	tak
Ujście	nie	nie	nie	nie	tak	tak	tak	tak	nie	tak
Wągrowiec	nie	nie	nie	nie	nie	tak	tak	tak	nie	tak
Wieleń	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	tak	nie	tak
Wronki	nie	nie	tak	tak	tak	tak	tak	nie	nie	tak
Wyrzysk	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	tak	nie	tak
Wysoka	nie	nie	tak	nie	nie	tak	tak	nie	nie	tak
Złotów	nie	nie	tak	nie	nie	tak	nie	tak	nie	tak

Źródło: opracowanie własne.

zmian. W POŚ dla miasta Oborniki termin ten pojawił się wyłącznie w zakresie ochrony zasobów przyrody ożywionej (bez uwzględnienia w harmonogramie realizacyjnym). W przypadku Ujścia w harmonogramie POŚ w zakresie gospodarowania wodami wprowadzono zadanie polegające na tworzeniu niebieskiej infrastruktury. W POŚ dla Wroniek terminu ZI użyto jednokrotnie. W harmonogramie w zakresie zasobów przyrodniczych znalazło się zadanie „tworzenie zielonej infrastruktury” odnoszące się do wprowadzania zieleni drogowej, osłonowej, izolacyjnej.

Terminy pokrewne na określenie ZI (np. tereny leśne, zadrzewienia, tereny zielone, zieleń, zieleń urządzona, roślinność, wody, zasoby przyrody ożywionej) były stosowane w 28 programach, z czego w 12 w zakresie ochrony klimatu i jakości powietrza. Tylko w 8 przypadkach sformułowani dotyczących zieleni i wód użyto w kontekście radzenia sobie ze zmianami klimatu (Czarnków, Klecko, Krajenka, Oborniki, Ujście, Wągrowiec, Wronki, Wysoka), jednakże nie zostały one uwzględnione w ani jednym zadaniu w odniesieniu do klimatu w harmonogramach realizacyjnych (tab. 3). Terminy pokrewne ZI dość często wykorzystywano do formułowania zadań w harmonogramach POŚ w pozostałych zakresach interwencji, w tym: ochronie zasobów przyrody (np. nasadzenia i odnawianie lasu, rewitalizacja zieleni, pielęgnacja i utrzymanie zieleni urządzonej), gospodarowaniu wodami i gospodarce wodno-ściekowej (np. rozwijanie małej retencji wodnej, odbudowa urządzeń melioracyjnych, ochrona terenów zalewowych) czy ochronie gleb (np. zalesianie gleb słabych, wprowadzanie zadrzewień i zakrzewień).

Dla wszystkich miast ujętych w badaniu zostały opracowane PGN. W żadnym z planów nie ujęto bezpośrednio terminu i koncepcji ZI (w 4 opracowaniach termin ZI pojawił się w opisie powiązanych dokumentów strategicznych, ale nie został rozwinięty w części poświęconej działaniom gmin). W 20 dokumentach odnotowano natomiast określenia pokrewne (tab. 3). Najczęściej ich użycie służyło scharakteryzowaniu środowiska przyrodniczego gmin bez odniesienia do roli w ochronie klimatu. Wyjątek stanowiły dokumenty przygotowane dla miast Murowana Goślina, Szamotuły, Skoki i Oborniki w ramach wspólnych działań gmin tworzących aglomerację poznańską. W planach gospodarki niskoemisyjnej podkreślono szczególne znaczenie lasów i terenów zieleni w regulacji klimatu i ochronie powietrza, a zapisy w tym zakresie zostały wprowadzone również do harmonogramów realizacyjnych (np. zarządzanie terenów zieleni w rewitalizacji, nasadzenia drzew). Oprócz wymienionych JST zapisy w harmonogramie odnoszące się do wykorzystania zieleni na rzecz gospodarki niskoemisyjnej wprowadziły Gniezno, Gołańcz, Szamocin i Wronki.

Analiza tabel dwudzielczych z zastosowaniem testu chi kwadrat Pearsona (χ^2) wykazała, że miasta o niższym udziale powierzchniowym ZI ($NDVI_{zi,m}$) częściej były skłonne do wprowadzania do harmonogramów w PGN zadań odnoszących się do zieleni (tab. 3, kolumna 5) niż w przypadku jednostek o wysokim udziale $NDVI_{zi,m}$ ($\chi^2=9,98749$, $df=2$, $p=0,0068$). Wynikać to może z większego znaczenia przypisywanego zielono-niebieskiej infrastrukturze przez decydentów tych JST, w których obrębie występuje mniej terenów zieleni (rzadkość dóbr).

Wnioski i podsumowanie

Wyniki badania potwierdziły znaczącą rolę zielonej infrastruktury w regulacji warunków termicznych małych i średnich miast, w tym łagodzeniu efektu miejskiej wyspy ciepła. Ważne jest w tym względzie zapewnienie nie tylko właściwego udziału terenów zieleni w mieście, ale również w jego bezpośrednim sąsiedztwie (w strefie buforowej miasta).

Z przeglądu dokumentów miejskich wynika, że pozycja ZI w polityce klimatycznej miast nakreślonej w POS i PGN jest niezadowolająca. Mankamentem wielu opracowanych POS jest brak spójności w posługiwaniu się terminami związanymi z ZI oraz zwrócenie niewystarczającej uwagi na wielofunkcyjność zielono-niebieskich obszarów w mieście. Ma to swoje konsekwencje dla opracowania harmonogramów realizacyjnych, w których widoczny jest brak relacji między zadaniami w różnych obszarach interwencji. Bardzo często raz zaproponowane rozwiązanie, np. „przeciwdziałanie hałasowi poprzez wprowadzanie zieleni izolacyjnej”, nie jest wykorzystane do osiągnięcia efektów w innych obszarach interwencji. W przypadku zieleni izolacyjnej jej prawidłowe zaplanowanie i wprowadzenie do tkanki miejskiej może przynieść korzyści nie tylko w zakresie tłumienia hałasu, ale również przyczynić się do poprawy jakości powietrza, łagodzenia efektu wyspy ciepła, regulacji obiegu wody w mieście, przeciwdziałania erozji gleb czy podniesienia bioróżnorodności.

Obecny stopień uwzględnienia w dokumentach strategicznych analizowanych miast tematyki przeciwdziałania zmianom klimatu i adaptacji do ich skutków należy uznać za niewystarczający. Prawidłowe zaplanowanie, skoordynowanie, wdrożenie i monitorowanie efektów działań adaptacyjnych w miastach w ramach obecnie funkcjonujących dokumentów strategicznych wydaje się mało prawdopodobne. Rozwiązaniem może być wprowadzenie konieczności opracowania przez gminy miejskie i miejsko-wiejskie lokalnych planów adaptacji do zmian klimatu przy wsparciu środowiska naukowego oraz zaangażowaniu ze strony reprezentantów różnych grup społecznych. Kryteriami obligatoryjności opracowania tego rodzaju dokumentów mogą być udział zielonej infrastruktury oraz liczba ludności miejskiej.

Wzmocnieniu działań adaptacyjnych w miastach i pozycji ZI w ich polityce klimatycznej może służyć zwiększenie uczestnictwa JST w projektach aplikacyjnych i społecznych realizowanych w dziedzinie przeciwdziałania zmianom klimatu i adaptacji do ich skutków. Ważne jest też korzystanie z doświadczeń innych miast i skalowanie sprawdzonych rozwiązań. Przykładem z regionu może być miasto Poznań będące uczestnikiem projektu CONNECTING Nature. Jego działania w projekcie są ukierunkowane na wspieranie wielofunkcyjności terenów zieleni poprzez wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie, w tym tworzenie parków kieszonkowych oraz naturalnych placów zabaw w ogrodach przedszkolnych (Lupa i in. 2019, Zwierzchowska i in. 2019). Innym przykładem jest aglomeracja poznańska, która w ramach Stowarzyszenia Metropolia Poznań angażuje się w działania w ramach projektu TeRRIFICA. Mają one na celu wdrażanie idei odpowiedzialnych badań i innowacji (RRI ang. *Responsible Research and Innovation*)

poprzez wzmacnianie pozycji lokalnej społeczności (naukowców, mieszkańców, władz lokalnych, przedsiębiorców, NGOs, CSOs) przy tworzeniu rozwiązań i podejmowaniu decyzji wspomagających adaptację do zmian klimatu.

Literatura

- Aleksandrova K. 2016. Green, grey or green-grey? Decoding infrastructure integration and implementation for residential street retrofits. Lincoln University Digital Thesis.
- Błażejczyk K., Kuchcik M., Milewski P., Dudek W., Kręcisz B., Błażejczyk A., Szmyd J., Degórska B., Pałczyński C. 2014. Miejska wyspa ciepła w Warszawie – uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.
- Bowen G.A. 2009. Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal* 9(2): 27–40.
- Butler K. 2014. Deriving temperature from Landsat 8 thermal bands (TIRS). ESRI ArcGIS Blog (<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/analytics/deriving-temperature-from-landsat-8-thermal-bands-tirs/>).
- Ciołkosz A., Kęsik A. 1989. Teledetekcja satelitarna. PWN, Warszawa.
- COM 2013. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Zielona infrastruktura – zwiększanie kapitału naturalnego Europy”. COM (2013) 249 Final. Komisja Europejska, Bruksela.
- CONNECTING Nature, projekt „COproduction with Nature for City Transitioning, INnovation and Governance” realizowany w ramach programu UE na rzecz badań i innowacji Horyzont 2020 (<https://connectingnature.eu/poznan>).
- Cortinovis C., Geneletti D. 2018. Ecosystem services in urban plans: what is there, and what is still needed for better decisions. *Land Use Policy*, 70: 298–312.
- Davies C., Macfarlane R., McGloin C., Roe M. 2006. Green infrastructure planning guide (doi:10.13140/RG.2.1.1191.3688).
- Graf R. 2014. Spatial Differentiation of Surface Runoff in Urbanised Catchments on the Example of Poznan. [W:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Water in the City*. UJK Kielce Publishing House, Kielce, Poland.
- Graneheim U.H., Lundman B. 2004. Qualitative content analysis in nursing research: Concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. *Nurse Education Today*, 24: 105–112.
- GUS 2020. Raporty (3) wygenerowane z Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego (URL: <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start>) wg stanu na dzień 31.12.2019 r.: 1) Powierzchnia geodezyjna kraju, 2) Stan ludności, 3) Gęstość zaludnienia i wskaźniki.
- Hoegh-Guldberg O., Jacob D., Taylor M., Bindi M., Brown S., Camilloni I., Diedhiou A., Djalante R., Ebi K.L., Engelbrecht F., Guiot J., Hijioka Y., Mehrotra S., Payne A., Seneviratne S.I., Thomas A., Warren R., Zhou G. 2018. Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. [W:] V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (red.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Hsieh H.-F., Shannon S.E. 2005. Three Approaches to Qualitative Content Analysis. *Qualitative Health Research*, 15: 1277–1288.
- IPCC 2018. Summary for Policymakers. [W:] V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (red.), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context*

- of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Jarocińska A., Zagajewski B. 2008. Korelacja naziemnych i lotniczych teledetekcyjnych wskaźników roślinności dla zlewni Bystrzanki. *Teledetekcja Środowiska*, 40: 100–124.
- Jawgiel K. 2016. Application of the VGI Observation in Urban Flash Flood Research on the Example of Poznań. Proceedings of the Scientific and Technical Conference: Hydrology of the Urban Catchments, Warsaw, Poland.
- Kabisch N., Qureshi S., Haase D. 2015. Human-environment interactions in urban green spaces – a systematic review of contemporary issues and prospects for future research. *Environmental Impact Assessment Review*, 50: 25–34.
- Kolendowicz L., Busiakiewicz A., Czernecki B. 2010. Warunki klimatyczne oraz właściwości powietrza atmosferycznego w aglomeracji poznańskiej. [W:] A. Mizgajski (red.), *Zasoby przyrodnicze i ich ochrona w aglomeracji poznańskiej*. CBM UAM, Poznań.
- Kolendowicz L., Taszarek M. 2014. Days with thunderstorms and tornadoes in Poland in 2011 and 2012. *The International Journal of Meteorology*, 39, 383: 20–29.
- Kuchcik M., Błażejczyk K., Milewski P., Szmyd J. 2015. Zagospodarowanie terenu a zróżnicowanie termiczne Warszawy. [W:] A. Kalinowska (red.), *Miasto idealne. Miasto zrównoważone. Planowanie przestrzenne terenów zurbanizowanych i jego wpływ na ograniczenie skutków zmian klimatu*. Uniwersyteckie Centrum Badań nad Środowiskiem Przyrodniczym i Zrównoważonym Rozwojem, Warszawa.
- Kundzewicz Z.W., Kowalczak P. 2008. *Zmiany klimatu i ich skutki*. Wyd. Kurpisz, Poznań.
- Kundzewicz Z., Førland E.J., Piniewski M. 2017. Challenges for developing national climate services – Poland and Norway. *Climate Services*, 8: 17–25.
- Kunikowski G. 2018. Low-carbon economy planning in the public sector. Proceedings of the 2018 International Scientific Conference „Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy”, 1, Warsaw, 7–8 June 2018: 103–108.
- Lupa P., Fagiewicz K., Zwierzchowska I., Mizgajski A. 2019: Le rôle des collectivités régionales et locales dans la lutte contre le changement climatique en Pologne. [W:] *Droit et Gestion des Collectivités Territoriales. La transition écologique et les collectivités territoriales* (rozdział – Chronique internationale). Groupe Moniteur (Édition du Moniteur), Antony 2019, s. 263–275.
- Lupa P., Łowicki D. 2013. Rozkład temperatury radiacyjnej w Poznaniu w dniu 17 czerwca 2010 r. Materiały niepublikowane Zakładu Geografii Kompleksowej, UAM w Poznaniu.
- Mączka K., Matczak P., Pietrzyk-Kaszyńska A., Rechciński M., Olszańska A., Cent J., Grodzińska-Jurczak M. 2016. Application of the ecosystem services concept in environmental policy – A systematic empirical analysis of national level policy documents in Poland. *Ecol. Econ.*, 128: 169–176.
- Mizgajski A., Zwierzchowska I. 2015. Sterowanie rozwojem aglomeracji i planowanie strategiczne rozwoju miast z punktu widzenia adaptacji do zmian klimatu. [W:] A. Kalinowska (red.), *Miasto idealne. Miasto zrównoważone. Planowanie przestrzenne terenów zurbanizowanych i jego wpływ na ograniczenie skutków zmian klimatu*. Uniwersyteckie Centrum Badań nad Środowiskiem Przyrodniczym i Zrównoważonym Rozwojem, Warszawa.
- MŚ 2015. *Wytyczne do opracowania wojewódzkich, powiatowych i gminnych programów ochrony środowiska*. Warszawa.
- Popkiewicz M., Kardaś A., Malinowski S. 2018. *Nauka o klimacie*. Katowice.
- Programy ochrony środowiska i plany gospodarki niskoemisyjnej uchwalone dla 31 gmin miejskich i/lub miejsko-wiejskich położonych w woj. wielkopolskim na północ od Poznania (Biuletyn Informacji Publicznej, <https://www.bip.gov.pl/>).
- Qi J.-D., He B.-J., Wang M., Zhu J., Fu W.-C. 2019. Do grey infrastructures always elevate urban temperature? No, utilizing grey infrastructures to mitigate urban heat island effects. *Sustainable Cities and Society*, 46: 101392.
- Rouse J.W. Jr., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. *Prog. Rep. RSC 1978-1*, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, nr E73-106393, 93.
- Starkel L., Kundzewicz Z.W. 2008. Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. *Nauka*, 1: 85–101.
- Szczepanowska H. 2015. Dobre praktyki w zakresie zagospodarowania przestrzeni miejskiej zieloną infrastrukturą, zwłaszcza drzewami. [W:] A. Kalinowska (red.), *Miasto idealne. Miasto zrównoważone*.

- ważone. Planowanie przestrzenne terenów zurbanizowanych i jego wpływ na ograniczenie skutków zmian klimatu. Uniwersyteckie Centrum Badań nad Środowiskiem Przyrodniczym i Zrównoważonym Rozwojem, Warszawa.
- Szulczewska B. 2015. Zielona infrastruktura miasta. [W:] A. Kalinowska (red.), Miasto idealne. Miasto zrównoważone. Planowanie przestrzenne terenów zurbanizowanych i jego wpływ na ograniczenie skutków zmian klimatu. Uniwersyteckie Centrum Badań nad Środowiskiem Przyrodniczym i Zrównoważonym Rozwojem, Warszawa.
- Szymanowski M. 2004. Miejska wyspa ciepła we Wrocławiu. *Studia Geograficzne*, 77. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- TeRRIFICA, projekt „Territorial RRI Fostering Innovative Climate Action” realizowany w ramach programu UE na rzecz badań i innowacji Horyzont 2020 (<https://terrifica.eu/pilot-region/poznan/>).
- USGS, United States Geological Survey (Amerykańska Służba Geologiczna, Earth Explorer – platforma udostępniania danych przestrzennych, w tym zdjęć satelitarnych Landsat 8) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz.U. z 2020 r., poz. 1219 ze zm.).
- Walawender J. 2006. Zastosowanie danych satelitarnych serii Landsat i technik GIS w badaniach krakowskiej wyspy ciepła. *Annales UMCS, Sectio B*, 61: 446–457.
- Walawender J. 2009. Wykorzystanie danych satelitarnych Landsat i technik GIS w badaniach warunków termicznych miasta (na przykładzie aglomeracji krakowskiej). *Prace Geograficzne, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ*, 122: 81–98.
- Walawender J., Hajto M., Iwaniuk P. 2011. Zastosowanie algorytmu „pojedynczego okna” do opracowania map temperatury powierzchni ziemi na podstawie danych satelitarnych Landsat. *Roczniki Geomatyki*, 9, 4(48): 139–150.
- Wójtowicz A., Wójtowicz M., Piekarczyk J. 2005. Zastosowanie teledetekcji do monitorowania i oceny produktywności plantacji rzepaku. *Rośliny Oleiste – Oilseed Crops*, 26: 269–276.
- Zhang X.X., Wu P.F., Chen B. 2010. Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing City of China. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 1438–1450.
- Zwierzychowska I., Fagiewicz K., Poniży L., Lupa P., Mizgajski A. 2019. Introducing nature-based solutions into urban policy – facts and gaps. Case Study of Poznań. *Land Use Policy*, 85: 161–175.

The impact of green infrastructure on the thermal conditions of the cities of northern Wielkopolska and its place in the local climate policy

Abstract: Green infrastructure (GI) of urban areas provides multiple regulating ecosystem services. Its significant influence on the air temperature distribution in the city and the regulation of the water cycle is of strategic importance for the adaptation of cities to climate change and ensuring a high quality of life for residents.

The aim of the study is to quantify the GI role in shaping thermal conditions in the 31 cities and towns located in the northern part of Wielkopolska Region. At the same time, an attempt was made to evaluate the urban climate policies by analysing the GI-related contents in environmental protection programmes and low-carbon economy plans.

Using the Landsat 8 multispectral satellite image and GIS processing, NDVI (normalized difference vegetation index) and brightness temperature within selected cities and their buffer zones were quantified. Obtained results were used to indirectly assess the role of GI in the regulation of air temperature in the study areas. The results obtained were compared to the provisions of the mentioned municipal documents.

The research confirmed the significant and spatially diversified influence of GI on the reduction of brightness temperature in cities. Under the same atmospheric conditions, the differences in the mean temperature between cities with different GI shares exceeded even 5°C. However, such an important role of GI is insufficiently stressed in the climate policies of cities, where investments in grey infrastructure are much more common and the crucial links between grey, blue and green infrastructure are in many cases ignored.

Key words: green infrastructure, climate change, cities and towns of northern Wielkopolska, brightness temperature and NDVI, Landsat 8