

Damian Łowicki¹, Edyta Kuklińska²

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Wydział Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej

damek@amu.edu.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-5964-2724>

² Urząd Miasta Poznania

Wydział Gospodarki Komunalnej

edziu.kuk@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0003-2404-2889>

Potencjał chłodzący terenów zieleni na przykładzie parków miejskich Poznania i Wrocławia

Zarys treści: Celem niniejszych badań jest wskazanie uniwersalnej metody oceny wpływu terenów zieleni na termikę otoczenia z wykorzystaniem zdjęć satelitarnych. Przeprowadzono pilotażowe badania dla dwóch miast: Poznania i Wrocławia. Wykorzystano publicznie dostępne sceny satelitarne Landsat 8–9 oraz dane projektu Copernicus, stąd wypracowana i przyjęta w badaniach dwóch miast metodyka pozwala na rozszerzenie badań na inne miasta, także poza Polską. Badania wykazały, że rozpiętość temperatury powierzchni ziemi wynikającej z pokrycia terenu wynosi około 11°C oraz że tereny zieleni odgrywają bardzo istotną rolę w chłodzeniu otoczenia parków. W Poznaniu średnie temperatury w buforze 0–100 m były o 0,6°C niższe niż w buforze 100–200 m, we Wrocławiu różnica ta wynosiła 0,7°C. Na temperaturę w buforze 0–100 m wpływ miał indeks wegetacji dla parków (NDVI) i wysokość budynków, a w przypadku bufora 100–200 wokół parku – także uszczelnienie powierzchni.

Słowa kluczowe: parki miejskie, miejska wyspa ciepła, efekt chłodzący, tereny zieleni, temperatura powierzchni terenu

Wprowadzenie

Zwiększona ilość gazów cieplarnianych w atmosferze naszej planety spowodowała gwałtowne zmiany w ogólnych tendencjach temperaturowych i klimatycznych na skalę globalną (IPCC 2017, Ng, Ren 2018). Raport opublikowany w czasopiśmie „Lancet” (Romanello i in. 2023) dowodzi rosnącego zagrożenia dla zdrowia wynikającego ze zmiany klimatu. Autorzy obliczyli, że liczba zgonów w wyniku upałów wzrosła wśród osób powyżej 65 roku życia o 85% w latach 2013–2022 w porównaniu z latami 1991–2000, a prognozy wskazują, że do połowy tego stulecia

nastąpi prawie pięciokrotny wzrost liczby zgonów spowodowanych falami upałów. Na obszarach miejskich ten problem został pogłębiony przez powszechnie znane zjawisko nazywane efektem miejskiej wyspy ciepła (ang. *Urban Heat Island*) (Oke 1983). W wyniku niewłaściwego planowania oraz intensywnego rozwoju urbanistycznego i infrastrukturalnego miasta stają się coraz bardziej nieprzyjazne zarówno dla przyrody, jak i dla zamieszkujących je ludzi. Według Kleerekopera i in. (2012), istnieje wzajemny związek między klimatem a miastem, gdzie klimat wpływa na sposób korzystania z przestrzeni miejskiej oraz na klimatyczne wymagania i efektywność budynków. Miasto autonomicznie kształtuje swój klimat, zmieniając jego warunki, co prowadzi do różnic między miastem a otaczającymi je terenami wiejskimi w zakresie zachmurzenia, opadów, nasłonecznienia, temperatury powietrza i prędkości wiatru. Także geometria, układ oraz orientacja budynków i przestrzeni otwartych mają znaczący wpływ na mikroklimat w mieście (Kleerekoper i in. 2012). Najbardziej widoczną cechą klimatu miejskiego jest wzrost temperatury powietrza blisko powierzchni ziemi w porównaniu z temperaturą poza obszarem miejskim. Różnice te wynikają z cech meteorologicznych, geograficznych oraz urbanistycznych. Największe różnice w temperaturze między miastem a terenami wiejskimi występują podczas pogodnych nocy o niskim zachmurzeniu. W miastach o wysokim stopniu zurbanizowania w USA różnice mogą sięgać około 12°C, podczas gdy w Europie często ograniczają się do 10°C. W polskich miastach intensywność miejskiej wyspy ciepła waha się między 5 a 8°C, jednakże maksymalne rejestrowane temperatury są wyższe (Fortuniak 2003). Dla Poznania wyniki oparte na danych teledetekcyjnych wskazują, że najwyższą wartość średnich anomalii LST osiąga zabudowa zwarta (3,4°C), a najniższą zarejestrowano w obrębie lasów liściastych (-3,1°C) (Majkowska i in. 2017). Okres największej różnicy temperatur między miastem a jego otoczeniem przypada na około 2–3 godziny po zachodzie Słońca (Landsberg 1981, Oke 1983).

Zieleń miejska, dostarczając usługi regulacyjne i kulturowe, uważana jest za najlepszy sposób na poprawienie jakości życia mieszkańców miast. W Polsce, która ma problemy z zachowaniem dobrej jakości powietrza, istotną funkcją zieleni jest ograniczanie stężeń zanieczyszczeń, zwłaszcza pyłów zawieszonych (Łowicki 2019). W skali globalnej bardzo istotną funkcją zieleni miejskiej jest ograniczanie efektu miejskiej wyspy ciepła. Jej istotność wynika ze zdolności do zmniejszania temperatury poprzez procesy takie, jak transpiracja roślin, cień drzew oraz absorpcja promieniowania słonecznego. W kontekście zmieniających się warunków klimatycznych badanie potencjału chłodzenia zieleni staje się kluczowym elementem w polityce adaptacji miast do zmian klimatycznych (Lupa 2020).

Miejskie tereny zieleni mogą również oddziaływać na otaczający je obszar, a zjawisko to nazywa się efektem chłodzącym zieleni miejskiej (Aram i in. 2019). Efektywność zielonej infrastruktury w miastach jako elementu przeciwdziałającego miejskiej wyspie ciepła została już potwierdzona naukowo poprzez pomiary terenowe, modelowanie komputerowe oraz teledetekcję termiczną (Li i in. 2013a). Literatura związana z tym tematem obejmuje szerokie badania zielonej infrastruktury o różnych kształtach i skalach (Wang, Banzhaf 2018), w tym małych lokalnych parków (Ca i in. 1998), dużych parków miejskich (Petralli i in.

2009) oraz lasów miejskich (Oke 1989). Większość badań dotyczących wpływu cech i wymiarów terenów zieleni w mieście została przeprowadzona w ostatnim dwudziestoleciu. Wyniki artykułu przeglądowego (Bowler i in. 2010) wskazują, że zielona infrastruktura miejska (parki, lasy, zielen przydrożna, zielone dachy, zielen uliczna) ma wyższy komfort termiczny niż inne przestrzenie miejskie, które są pozbawione zieleni. Te same badania pokazują, że w ciągu dnia w parkach było o mniej więcej 1°C chłodniej niż poza nimi. Komfort cieplny i potencjał redukcji temperatury zależą od rozmiaru i kształtu zieleni. Według Jamei i in. (2016) efekt chłodzący jest bezpośrednio skorelowany z roślinnością i pokryciem koronami drzew. W artykule przeglądowym Taleghan (2018) podkreśla natomiast rolę miejskich terenów zieleni w strategiach łagodzenia miejskiej wyspy ciepła. Biorąc pod uwagę wyniki sześciu badań parków miejskich, wykazano, że przestrzenie te odgrywają ważną rolę w ograniczaniu zjawiska miejskiej wyspy ciepła.

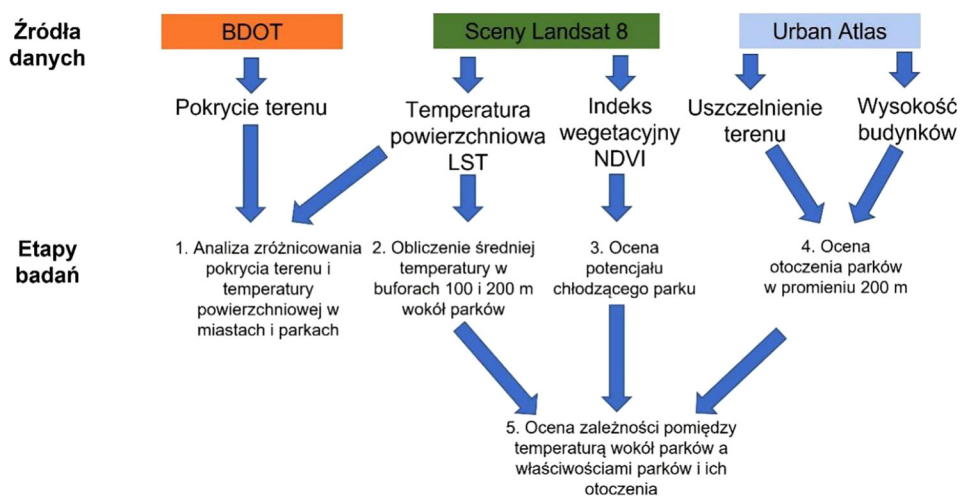
Głównym celem pracy jest ocena wpływu parków miejskich na rozkład temperatury powierzchni ziemi (ang. *Land Surface Temperature*, LST) w okolicy parków w dwóch dużych polskich miastach – Wrocławiu i Poznaniu. LST jest definiowana jako temperatura powierzchni ziemi, mierzona zdalnie za pomocą satelitów lub innych narzędzi teledetekcyjnych, która odzwierciedla emisję promieniowania cieplnego z powierzchni terenu (Li i in. 2013b). Temperatura powierzchni ziemi odgrywa istotną rolę w różnych dziedzinach nauki, w tym klimatologii, hydrologii i badaniach miejskich, ponieważ wpływa na bilans energetyczny, parowanie i transpirację oraz cały system klimatyczny (Abbas 2019, Khan i in. 2021).

Cel metodyczny pracy obejmuje wykorzystanie danych teledetekcyjnych, które w sposób bezpośredni (LST i indeks wegetacji NDVI) lub pośredni (wysokość budynków i uszczelnienie gruntu z Urban Atlas) zostały wykorzystane jako zmienne w analizie regresji wielorakiej. Uzyskane wyniki mogą mieć istotne znaczenie praktyczne dla procesów planowania przestrzennego, projektowania urbanistycznego oraz tworzenia polityk miejskich związanych z ochroną środowiska i adaptacją miast do zmian klimatycznych, zwłaszcza dla planów zazieleniania i planów gospodarowania wodami opadowymi.

Materiały i metody

Postępowanie badawcze schematycznie ilustruje rycina 1. Delimitacja parków oraz form pokrycia terenu w miastach została wykonana na podstawie danych z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT 10K), które stanowią część centralnego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. Zawartość i szczegółowość BDOT 10K odpowiadają tradycyjnej mapie topograficznej w skali 1:10 000. Do analizy wybrano wszystkie parki z warstwy kompleksy użytkowania terenu (KUSK04), w przypadku Poznania było ich 48, a we Wrocławiu 73. Założono, że wyznacznikiem potencjału chłodzącego parków jest różnica temperatury pomiędzy najbliższym otoczeniem parku w buforze 0–100 m, w stosunku do bufora 100–200 m. Bufory wyznaczono od granicy parku w programie ArcGIS. Przyjęto również, że cechami różnicującymi efekt chłodzący parku jest jego powierzchnia

i NDVI, a także utwardzenie nawierzchni i wysokość budynków w odległości do 200 m od parku. Aby sprawdzić różnice w potencjale chłodzenia parków różnej wielkości, dokonano ich podziału na trzy kategorie, wykorzystując metodę Jenksa: małe parki o powierzchni <9 ha, średnie o powierzchni 9–23 ha oraz duże o powierzchni >23 ha. Podstawową zasadą metody Jenksa jest minimalizowanie wariacji w obrębie każdej klasy przy jednoczesnym maksymalizowaniu wariacji między klasami, zapewniając w ten sposób, że punkty danych w obrębie każdej klasy są jak najbardziej podobne, a te w różnych klasach są jak najbardziej różne (Chen i in. 2013, Bhat, Santhosh 2021).



Ryc. 1. Schemat postępowania badawczego

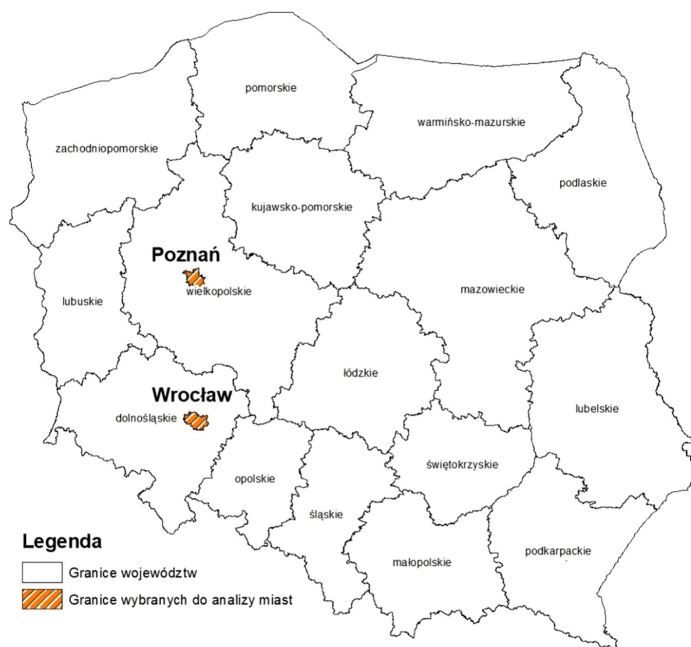
Źródło: opracowanie własne.

Dane do obliczenia temperatury powierzchni terenu w Poznaniu i Wrocławiu pochodziły ze zdjęć satelitalnych. Zostały one wyselekcjonowane spośród serii obserwacji przeprowadzanych nad obszarem Polski Zachodniej w okresie od czerwca do sierpnia w latach 2022–2023. Do opracowania analizy przestrzennej zróżnicowania temperatury wykorzystano 4 przetworzone zdjęcia satelitarne, które zostały wykonane przez satelitę Landsat 8–9 OLI/TIRS C2 L2 w dniach 19 czerwca 2022, 21 lipca 2022, 8 lipca 2023 i 25 sierpnia 2023 w godzinach 11.42–11.45 czasu środkowoeuropejskiego. Kryterium doboru zdjęć opierało się na obecności sprzyjających warunków pogodowych w chwili ich wykonania, takich jak bezchmurne niebo (maks. 5% zachmurzenia), pełne nasłonecznienie oraz brak opadów atmosferycznych. Wszystkie dane zostały pobrane z serwisu Earth Explorer Amerykańskiej Służby Geologicznej oraz przetworzone z wykorzystaniem oprogramowania QGIS, według ogólnie przyjętej metodyki (USGS, Du i in. 2015, Avdan, Jovanovska 2016, Liu i in. 2016). Uzyskane w ten sposób 4 mapy LST zostały połączone poprzez uśrednienie wartości pikseli. Na podstawie tych samych danych obliczono indeks wegetacji NDVI, który wykorzystano do

oceny przyczyn różnic w temperaturze w buforach wokół parków. W kolejnym etapie, stosując Urban Atlas (EEA 2018), wyliczono średnie wysokości budynków i uszczelnienie gruntu. Za pomocą narzędzia Zonal Statistics w programie ArcGIS obliczono średnią temperaturę różnych form pokrycia terenu i otoczenia parków oraz średnie wysokości budynków i uszczelnienie gruntu w buforach 200 m wokół parków. Istotność różnic temperatury w buforach 0–100 m oraz 100–200 m sprawdzono, wykorzystując test T Studenta w programie Statistica 13.3. Tego samego programu użyto do obliczenia regresji wielorakiej, w której zmienną objaśnianą była temperatura w buforze, a zmiennymi objaśniającymi uszczelnienie powierzchni i wysokość budynków w strefie 200 m, powierzchnia parku oraz jego indeks wegetacji.

Obszar badań

Do analizy wybrano dwa miasta wojewódzkie: Poznań i Wrocław (ryc. 2). Są to miasta o podobnym klimacie oddalone od siebie o 180 km. Głównym kryterium wyboru tych miast było ich położenie na jednej scenie satelitarnej, a tym samym dostępność danych pozyskanych dokładnie w tym samym czasie. Powierzchnia Poznania wynosi 262 km², a liczba mieszkańców 540,1 tys., natomiast powierzchnia Wrocławia wynosi 293 km², a liczba ludności miasta 674,1 tys. mieszkańców (stan na 30 czerwca 2023).

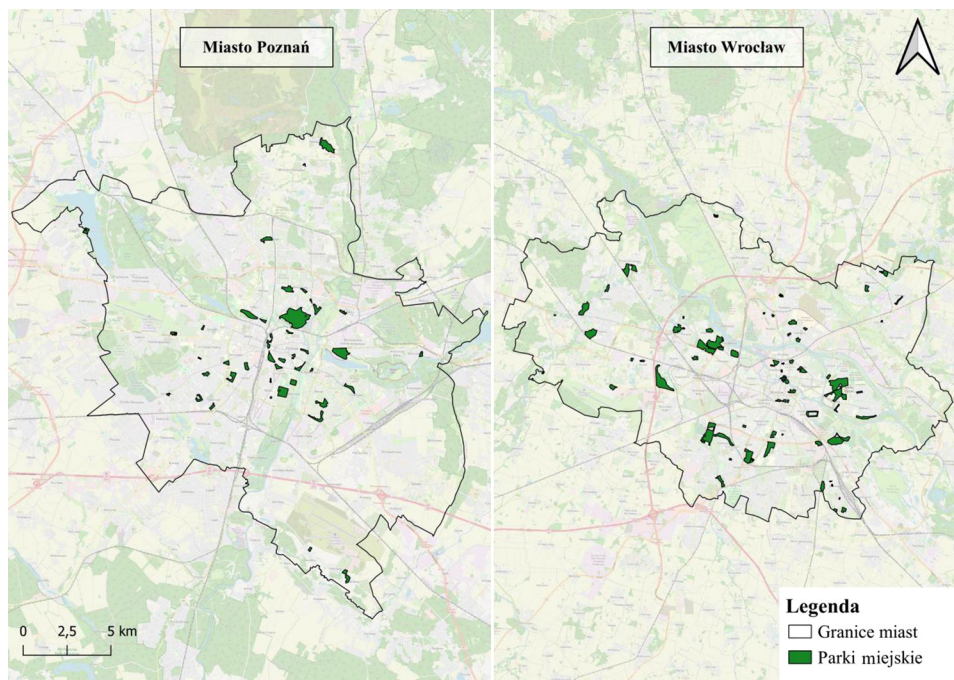


Ryc. 2. Mapa Polski z zaznaczonymi miastami wybranymi do analizy

Źródło: opracowanie własne na podstawie Państwowego Rejestru Granic.

Miasto Poznań, będące miastem na prawach powiatu, leży w środkowo-zachodniej części województwa wielkopolskiego, którego jest stolicą (ryc. 2). Znajduje się ono w dolinie rzeki Warty, jak również w dolinach mniejszych cieków, takich jak Bogdanka, Cybina i Główna. Poznań usytuowany jest w strefie przejściowej pomiędzy oceaniczną i kontynentalną strefą umiarkowaną, gdzie dominują wpływy oceaniczne. Charakteryzuje się umiarkowanymi zimami, ciepłymi latami oraz równomiernym rozkładem opadów (Woś 2010). Średnioroczna temperatura w Poznaniu wynosi $10,6^{\circ}\text{C}$ (IMGW 2022). Najwyższa średnia temperatura miesięczna przypada na okres letni, w sierpniu ($22,1^{\circ}\text{C}$), a najniższa podczas okresu zimowego, w grudniu ($1,3^{\circ}\text{C}$). Wielkopolska, w tym miasto Poznań, należy do obszarów ubogich pod względem opadów atmosferycznych (Walkowska i in. 2022). Średnia roczna suma opadów wynosi około 415 mm, co jest wartością niższą niż roczna suma opadów dla całego kraju. Największe opady mają miejsce wiosną i latem (w okresie czerwiec–sierpień) podczas intensywnych burz oraz opadów konwekcyjnych. W stolicy Wielkopolski dominują wiatry zachodnie oraz południowo-zachodnie, zależne od danej pory roku, natomiast najslabiej wieją wiatry z kierunków północnych (Program ochrony środowiska... 2023).

Struktura przestrzenna zieleni Poznania jest charakterystyczna i stanowi historyczny układ klinowo-pierścieniowy systemu zieleni miasta (ryc. 3). Dzięki temu miasto jest w stanie zachować ciągłość ekologiczną z sąsiadującymi terenami zieleni (Urbański i in. 2009). Od lat 30. XX w. w Poznaniu rozwijany jest



Ryc. 3. Parki miejskie w Poznaniu i Wrocławiu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDOT 10K.

wcześniej wspomniany układ, którego początki zaplanował wybitny architekt-urbanista – Władysław Czarnecki (Raszeja, Gałęcka-Drozda 2015). Koncepcja opiera się na powiązaniu systemu dolin rzecznych, zieleni urządzonej (parki, zieleń przyuliczna), a także lasów i terenów otwartych. Opisany układ zieleni stanowi szkielet funkcjonalno-przestrzenny. Kliny zieleni zostały naturalnie wyznaczone wzdłuż koryta Warty (klin północ-południe), a także jej dopływów: Bogdanki (klin wschodni), Cybiny i Główniej (klin zachodni).

Wrocław jest miastem na prawach powiatu, położonym w południowo-zachodniej Polsce oraz stanowi stolicę województwa dolnośląskiego (ryc. 2). Miasto usytuowane jest nad Odrą oraz jej czterema dopływami (Bystrzyca, Oława, Ślęza i Widawa). Klimat Wrocławia charakteryzuje się cechami klimatu okresu przejściowego umiarkowanych szerokości geograficznych (Woś 2010). Oddziaływania między oceanem a kontynentami powodują wielką zmianę klimatu, która objawia się różnymi wzorcami pogodowymi. Położenie Wrocławia na froncie sudeckim, gdzie przeważają przepływy masowe z zachodu i południa, nadaje miastu walory termiczne (Dubicki i in. 2002). Dodatkowe zmiany charakterystyczne dla dużych aglomeracji miejsko-przemysłowych, takie jak miejska wyspa ciepła i gwałtowne burze, wynikają ze zmian cech fizycznych wynikających z rozwoju i użytkowania obszarów zurbanizowanych.

Średnioroczna temperatura we Wrocławiu wynosi 10,9°C, najwyższa temperatura przypada na okres letni, w sierpniu (21,2°C), a najniższa podczas okresu zimowego, w styczniu (2,1°C) (IMGW 2022). Obszar Niziny Śląskiej, a w tym miasto Wrocław, należy do rejonów cechujących się niewielkimi opadami (Dubicki i in. 2002). Średnia suma roczna opadów atmosferycznych wynosi 506 mm z najintensywniejszymi opadami przypadającymi na sierpień – 122,9 mm (IMGW 2022).

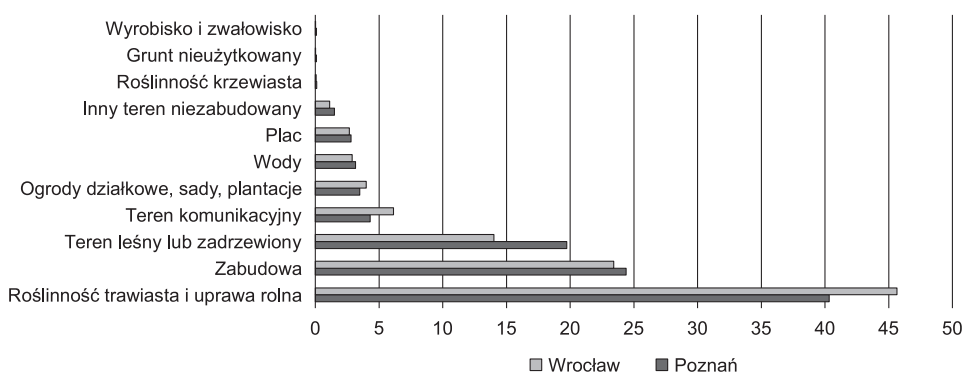
Wrocław ma silnie rozbudowany system terenów zieleni, który obejmuje: lasy, parki, skwery, ogrody działkowe, aleje z ozdobnymi zbiornikami oraz niewielką sieć cieków powierzchniowych (Studium uwarunkowań... 2018) (ryc. 3). Wrocław położony jest wzdłuż Odry oraz jej czterech większych dopływów, które w ogromnym stopniu kształtują walory przyrodnicze miasta. Tworzą jeden z głównych elementów ochrony różnorodności biologicznej miasta, ze względu na bogate siedliska oraz pełnienie funkcji korytarzy ekologicznych o znaczeniu lokalnym i regionalnym. Do szczególnie cennych przyrodniczych obszarów w obrębie miasta zaliczają się m.in. pozostałości lasów łęgowych oraz łąk (Studium uwarunkowań... 2018).

System przyrodniczy miasta Wrocławia ma, podobnie jak w Poznaniu, układ pierścieniowo-klinowy (Urbański i in. 2009). Pierwszy pierścień w centrum miasta tworzą Promenady Starowiejskie, które sukcesywnie poszerzono o przyległe ogrody. Drugi pierścień to również ogrody wraz z parkami, zaś trzeci zdominowany jest przez lasy państwowe i komunalne. Wszystkie elementy układu zieleni mają za zadanie zachować bioróżnorodność na terenie miasta, a także ochraniać rejon cenne przyrodniczo (Studium uwarunkowań... 2018). Wrocław, analogicznie do Poznania, ma rozbudowaną sieć parków miejskich, rozmieszczonych w różnych częściach miasta, co umożliwia mieszkańcom korzystanie z terenów zielonych oraz rekreacyjnych.

Wyniki

Struktura pokrycia terenu

Rycina 4 przedstawia udziały poszczególnych form pokrycia terenu w Poznaniu i Wrocławiu. Widać z nich, że udział zabudowy w obu miastach jest podobny (24,40% w Poznaniu i 23,41% we Wrocławiu). Oba miasta mają znaczny udział terenów zieleni. Poznań może się poszczycić większym udziałem terenów leśnych i zadrzewionych (19,74% w stosunku do 14,02% we Wrocławiu), natomiast Wrocław ma większy udział roślinności trawiastej i upraw (40,33% w Poznaniu i 45,64% we Wrocławiu). W obu miastach istotną rolę w kształtowaniu przestrzeni miejskich pełnią rzeki.



Ryc. 4. Udziały poszczególnych typów pokrycia terenu w Poznaniu i Wrocławiu [%]
Źródło: opracowanie własne na podstawie BDOT 10K.

Tabela 1. Liczba parków miejskich o danej strukturze pokrycia terenu w Poznaniu i Wrocławiu

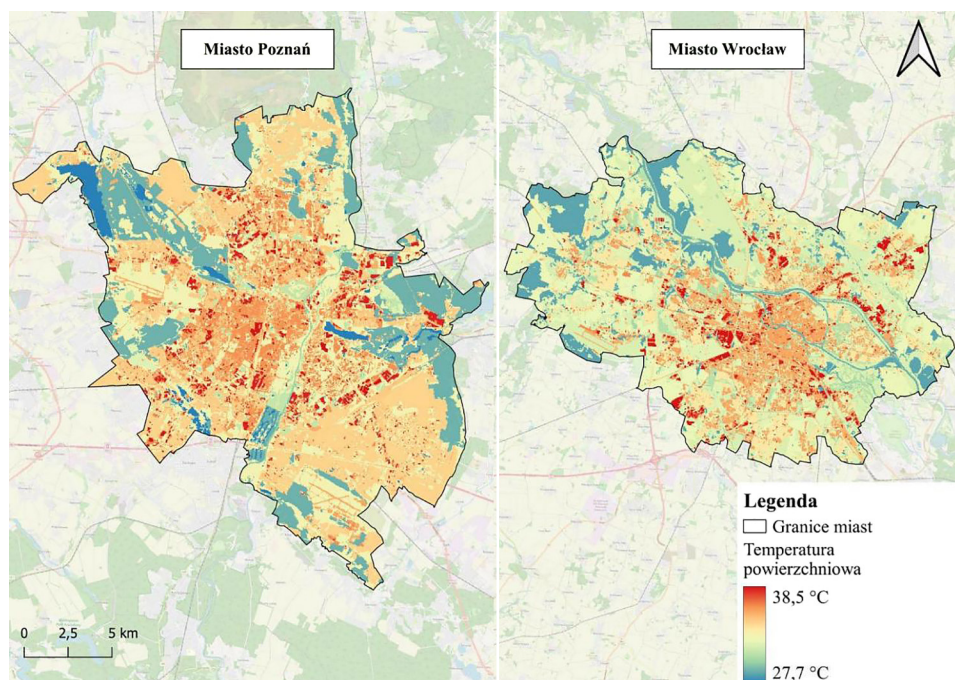
Typ pokrycia terenu	Poznań	Wrocław
Tereny leśne lub zadrzewione	7	25
Tereny leśne z roślinnością trawiastą	1	16
Tereny leśne ze zbiornikami wodnymi	0	3
Teren leśny z zabudową	0	2
Teren leśny z roślinnością trawiastą i zabudową	0	1
Teren leśny z roślinnością trawiastą i placem	0	1
Roślinność trawiasta, zadrzewienia, zbiorniki wodne	3	0
Roślinność trawiasta, zadrzewienia	8	6
Roślinność trawiasta, niewiele zadrzewień	8	2
Roślinność trawiasta z placem	1	1
Roślinność trawiasta	20	14
Roślinność trawiasta z zabudową i placem	0	1
Zabudowa z roślinnością trawiastą	0	1
Suma	48	73

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDOT 10K.

Tabela 1 przedstawia formy pokrycia terenu, które wchodzą w skład parków miejskich. Wyniki analiz wskazują, że w Poznaniu dominującym typem pokrycia terenu w parkach miejskich jest roślinność trawiasta, co jest charakterystyczne dla 20 parków. Drugim dominującym typem są parki o charakterze leśnym. Natomiast we Wrocławiu dominują parki o charakterze leśnym (25 parków), a następnie leśno-trawiaste oraz trawiaste.

Temperatura powierzchni terenu

Rycina 5 prezentuje rozkład temperatury powierzchni terenu w granicach miast Poznania i Wrocławia. W obu badanych miastach różnice temperatury latem w godzinach okołopołudniowych osiągały wartość 11°C, przy czym zaobserwowano podobne wartości średnich temperatur dla tych samych form pokrycia terenu. Obszary centralne, silnie zurbanizowane, wykazywały najwyższe temperatury powierzchni. Terenami zapewniającymi chłodzenie są przepływające przez środek miast rzeki Warta oraz Odra. W Poznaniu widoczne są kliny zieleni, które krzyżują się w samym centrum miasta, w pobliżu rynku. Istotne znaczenie dla kształtowania termiki w centrum Poznania mają też zbiornik Malta oraz największy park miejski – Cytadela. Natomiast we Wrocławiu temperaturę obniża mocno rozbudowana sieć hydrologiczna. Odra wraz z głównymi dopływami Oławą i Widawą i mniejszymi rzekami oraz wybudowanymi kanałami łączą się, tworząc



Ryc. 5. Rozkład temperatury w Poznaniu i Wrocławiu według typu pokrycia
Źródło: opracowanie własne na podstawie BDOT 10K oraz scen Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2.

wyspy śródlądowe. Rejony północne i zachodnie obu miast są zdominowane przez tereny leśne, zadrzewione, trawiaste oraz rolnicze.

Średnia temperatura we Wrocławiu wynosiła 32,7°C i była niższa od średniej temperatury w Poznaniu o 0,7°C. Zarówno w Poznaniu, jak i Wrocławiu najwyższe średnie temperatury zarejestrowano na obszarach zabudowanych – 36,7°C w Poznaniu i 36,5°C we Wrocławiu (tab. 2). Najwyższe wartości odnotowano na terenach handlowo-usługowych oraz przemysłowo-składowych, gdzie temperatura osiągała wartość przekraczającą 38°C. Z kolei najniższe średnie temperatury zaobserwowano na obszarach zaliczanych do kategorii wód stojących oraz lasów, gdzie temperatura utrzymywała się na poziomie poniżej 30°C. W Poznaniu średnia różnica między typami pokrycia charakteryzującymi się najwyższymi i najniższymi temperaturami wynosiła 10,5°C, a we Wrocławiu 11,5°C.

Tabela 2. Średnia temperatura [°C] dla różnych typów pokrycia terenu w Poznaniu i Wrocławiu

Typ pokrycia terenu	Poznań	Wrocław
Wody	28,8	29,8
Teren leśny lub zadrzewiony	30,0	29,6
Roślinność krzewiasta	31,3	27,4
Grunt nieużytkowany	33,1	35,2
Uprawa trwała	33,3	32,0
Inny teren niezabudowany	33,8	34,0
Roślinność trawiasta i uprawa rolna	33,8	32,2
Wyrobisko i zwałowisko	35,0	32,7
Teren komunikacyjny	35,2	35,2
Plac	36,2	36,4
Zabudowa	36,7	36,5
Średnia	33,4	32,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDOT 10K.

Tabela 3 prezentuje średnie temperatury wokół różnych typów parków w Poznaniu i Wrocławiu, uwzględniając odległości 0–100 i 100–200 m od obszarów parkowych. W Poznaniu średnia temperatura dla wszystkich parków w otoczeniu 100 m wynosiła 34,8°C, a w odległości 100–200 m 35,4°C. Różnica między pierwszym buforem a drugim wyniosła 0,6°C (tab. 3). We Wrocławiu w odległości

Tabela 3. Średnie temperatury [°C] dla otoczenia parków w buforach 0–100 i 100–200 m

Wielkość parku	Poznań			Wrocław		
	100 m	200 m	różnica między buforami	100 m	200 m	różnica między buforami
Duże	33,18	33,40	–0,22	33,84	33,12	0,73
Średnie	33,02	33,92	–0,89	33,58	33,50	0,08
Małe	35,03	35,61	–0,58	33,69	34,70	–1,01
Średnia	34,79	35,38	–0,59	33,69	34,38	–0,69

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 6. Średnie temperatury w otoczeniu parków w buforach 0–100 m i 100–200 m w centralnej części Poznania
Źródło: opracowanie własne na podstawie BDOT 10K oraz scen Landsat 8–9 OLI/TIRS C2 L2.

0–100 m temperatura osiągnęła wartość 33,69°C, a w odległości 100–200 m 34,3°C. Różnica między buforami wyniosła 0,7°C. Średnie różnice w buforach wokół parków są istotne statystycznie, potwierdzając efekt chłodzący parków miejskich w Poznaniu i Wrocławiu. Większy efekt chłodzący parku zanotowano w strefach śródmiejskich obu miast, gdzie dominuje zwarta zabudowa miejska i gdzie średnia temperatura jest wyższa (ryc. 6). Analiza uwzględniająca wielkość parków wskazuje, że różnice temperatury w buforach są większe wokół parków małych i średnich. Tutaj wynoszą one 0,9–1°C. Im większy park, tym mniejsze różnice temperatur. W przypadku Wrocławia efekt chłodzący wokół największych parków w ogóle nie jest widoczny. Temperatura podłoża w bezpośrednim sąsiedztwie parku jest wyższa od strefy nieco bardziej oddalonej o 0,7°C. Przyczyną nie są właściwości samych parków, ale ich położenie względem Odry i innych terenów zieleni. Dotyczy to zwłaszcza takich parków, jak park Zachodni, park Biskupiński, czy park Dąbski. Także w przypadku Poznania w przypadku kilku parków (parku Szelańskiego, Starego Koryta Warty czy parku Tadeusza Mazowieckiego) zjawisko odwróconego gradientu zmian temperatury jest widoczne.

Czynniki wpływające na temperaturę powierzchni terenu

Warunki w odległości do 200 m od parków są bardzo podobne dla Poznania i Wrocławia (tab. 4). Średnia wartość NDVI w parkach obu miast jest zbliżona niezależnie od powierzchni parku. Widoczna jest natomiast w obu miastach tendencja zwiększania wartości NDVI wraz z wielkością parku. Indeks roślinności w dużych parkach jest wyższy o około 13% niż w parkach małych. Cechą różniącą miasta jest uszczelnienie powierzchni wokół parków, które jest wyższe we Wrocławiu. W przypadku tej cechy różnice pomiędzy parkami dużymi a małymi są jeszcze bardziej widoczne. W okolicy małych parków uszczelnienie jest o około 76% większe niż wokół parków dużych. Średnia wysokość budynków w buforach 100 i 200 m w obu miastach jest podobna. Korelacja pomiędzy wielkością parków a wysokością zabudowy wokół nich nie jest widoczna.

Tabela 4. Wartości zmiennych użytych do wyjaśnienia temperatury powierzchni terenu wokół parków w Poznaniu i Wrocławiu

	NDVI			Uszczelnienie (%)			Wysokość budynków (m)			Powierzchnia parku (ha)		
	min.	maks.	średnia	min.	maks.	średnia	min.	maks.	średnia	min.	maks.	średnia
Poznań	0,14	0,40	0,31	2	63	28	4	16	10	0,3	81,9	6,7
Wrocław	0,14	0,41	0,32	0	80	31	3	16	9	0,4	46,4	8,5

Źródło: opracowanie własne.

Zależność pomiędzy analizowanymi czynnikami a temperaturą powierzchni terenu wokół parków

Analiza statystyczna wykazała, że przyjęte do analizy zmienne opisujące parki (NDVI) i ich otoczenie (uszczelnienie gruntu oraz wysokość budynków) mają wpływ na temperaturę w otoczeniu parków (tab. 5, 6). Powierzchnia parku natomiast nie miała znaczenia. Jak zakładano, NDVI parków koreluje negatywnie z temperaturą w buforach, natomiast uszczelnienie i wysokość budynków koreluje pozytywnie. Największy wpływ na temperaturę miał współczynnik wegetacji. Zwiększenie NDVI parków o połowę skutkuje obniżeniem temperatury o 4,4°C w strefie 0–100 m i o 5,7°C w strefie 100–200 m. Pozostałe czynniki miały mniejsze znaczenie; zwiększenie wysokości budynków w buforze 200 m o połowę powoduje wzrost temperatury o 0,1°C w pierwszej strefie i o 0,2°C w strefie drugiej. Przyjęte zmienne lepiej opisują temperaturę w Poznaniu niż we Wrocławiu. W pierwszym przypadku współczynnik determinacji R^2 w regresji wielorakiej wynosi 0,75, a w drugim 0,4. W Poznaniu ważnymi czynnikami wpływającymi na wartość średniej temperatury powierzchni terenu w otoczeniu parków było

Tabela 5. Korelacja między wybranymi czynnikami a temperaturą w otoczeniu wszystkich analizowanych parków w buforze 100 m. Pogrubioną czcionką oznaczono zależności istotne statystycznie

N=121	Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: bufor 100 m (korelacje) R= ,53 R ² = ,28 Popraw. R2= ,26 F(4,116)=11,37 p<,00000 Błąd std. estymacji: 1,9					
	b*	Bł. std. (z b*)	b	Bł. std. (z b)	t(116)	P
W. wolny			34,58	1,55	22,32	0,00
Powierzchnia parku	0,00	0,09	0,00	0,00	-0,04	0,97
NDVI	-0,21	0,09	-8,87	3,91	-2,27	0,03
Uszczelnienie gruntu	0,15	0,09	1,75	0,97	1,80	0,07
Wysokość budynków	0,31	0,09	0,20	0,06	3,33	0,00

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Korelacja między wybranymi czynnikami a temperaturą w otoczeniu wszystkich analizowanych parków w buforze 200 m. Pogrubioną czcionką oznaczono zależności istotne statystycznie

N=121	Podsumowanie regresji zmiennej zależnej: bufor 200 m (korelacje) R= ,73 R ² = ,53 Popraw. R2= ,51 F(4,116)=32,45 p<,00000 Błąd std. estymacji: 1,67					
	b*	Bł. std. (z b*)	b	Bł. std. (z b)	t(116)	P
W. wolny			34,92	1,35	25,80	0,00
Powierzchnia parku	-0,05	0,07	0,00	0,00	-0,74	0,46
NDVI	-0,26	0,08	-11,49	3,42	-3,36	0,00
Uszczelnienie gruntu	0,18	0,07	2,25	0,85	2,66	0,01
Wysokość budynków	0,45	0,08	0,32	0,05	6,04	0,00

Źródło: opracowanie własne.

NDVI, uszczelnienie gruntu oraz wysokość budynków. Natomiast we Wrocławiu istotne znaczenie miało uszczelnienie gruntu i wysokość zabudowy. W tym przypadku NDVI nie wykazało istotnego wpływu na temperaturę w otoczeniu. Biorąc pod uwagę wpływ analizowanych czynników w strefach wokół parków, należy stwierdzić, że jest on dużo bardziej wyraźny w buforze 100–200 m, gdzie współczynnik determinacji wynosi 0,53 wobec 0,28 w strefie pierwszej. W drugiej strefie, oprócz NDVI, większe znaczenie ma uszczelnienie gruntu oraz wysokość budynków.

Podsumowanie i wnioski

Potencjał chłodzący zieleni w miastach jest tematem coraz ważniejszym ze względu na istotne i złożone wyzwania związane ze zmianami klimatycznymi. Na obszarach miejskich, a zwłaszcza w centrach miast, panuje znacznie wyższa temperatura niż na przedmieściach, gdzie zabudowa miejska jest bardziej rozproszona. Zjawisko miejskiej wyspy ciepła zagraża zdrowiu i życiu mieszkańców, zwiększa zużycie energii na chłodzenie oraz pogarsza jakość powietrza. Najbardziej efektywnym sposobem chłodzenia powietrza w miastach jest utrzymywanie i tworzenie nowych terenów zieleni.

Temat potencjału chłodzenia przez zielenią miejską jest szeroko badany i dyskutowany zarówno w Polsce, jak i w innych częściach świata. Publikacje pokazują zróżnicowane podejścia i metody w ocenie potencjału chłodzenia parków miejskich, ale wszystkie wskazują na wysoką skuteczność terenów zieleni w chłodzeniu powietrza. Badania przeprowadzone przez Hamadę i Ohtę (2010) dla Nagoi (Japonia) potwierdziły, że w miesiącach letnich temperatura na terenach otaczających Heiwa Park (147 ha) była nawet o 1,9°C niższa niż na pozostałych obszarach. Zasięg efektu chłodzenia dla tego parku wynosił 200–300 m w nocy oraz 300–500 m w ciągu dnia. W publikacji Doick i in. (2014) wykazano, że średni nocny zasięg efektu chłodzenia w Kensington Gardens (Londyn) o powierzchni 111 ha w okresie od sierpnia do grudnia wahał się od 20 do 440 m. Według tego badania w parku tym temperatury w letnie noce są niższe średnio o około 1,1°C, z maksymalnym efektem chłodzącym wynoszącym 4°C w niektóre noce. Inne badania pokazują, że wpływ na temperaturę dużych parków o zróżnicowanej roślinności jest większy niż parków małych (Givoni 1991). Badania dla Wrocławia miały na celu ocenę potencjału chłodzenia parków miejskich w umiarkowanym klimacie kontynentalnym (Błachowski, Hajnrych 2021). Ich wyniki pozwalają stwierdzić, że zasięg efektu chłodzenia parków wynosił od 110 m do 925 m. Ta rozbieżność była uzależniona od kilku czynników: wielkości parku, rodzaju pokrycia terenu oraz charakteru użytkowania gruntów w ich najbliższym sąsiedztwie. Na obszarach o gęstej zabudowie miejskiej efekt chłodzenia był najslabiej widoczny, osiągając 110 m. Na terenach otwartych, gdzie występuje mniej przeszkód dla przepływu powietrza, efekt chłodzenia parków rozciągał się na maksymalną odległość 925 m.

Wyniki przedstawionych wyżej badań w większości pokrywają się z wynikami otrzymanymi w niniejszej pracy. Na przykładzie 121 parków w dwóch miastach wojewódzkich zaprezentowano wpływ terenów zieleni na temperaturę otoczenia. Rezultaty pokazują umiarkowane różnice między Poznaniem a Wrocławiem pod względem pokrycia terenu całych miast i duże różnice w liczbie i pokryciu terenu w parkach. We Wrocławiu zidentyfikowano 73 parki, z tego aż 66% miało charakter leśny. W przypadku Poznania parków było 48, w 83% z nich dominowały tereny trawiaste. Wykazano, że temperatura powierzchni gruntu jest silnie skorelowana z pokryciem terenu. Poznań i Wrocław nie różnią się istotnie pod tym względem; te same formy pokrycia terenu w obu miastach mają podobne temperatury. Średnia temperatura w obu miastach wynosiła około 33°C. Różnice temperatur pomiędzy najcieplejszą i najzimniejszą formą pokrycia wynosiła 10,5°C w Poznaniu i 11,5°C we Wrocławiu. Parki obu miast mają względnie niski wskaźnik NDVI, może to wynikać z wysokich temperatur i suszy w czasie, w którym wykonano zdjęcia satelitarne. Temperatura w bezpośrednim sąsiedztwie parków jest istotnie niższa niż w strefie nieco bardziej oddalonej. Średnio w buforze 0–100 m temperatura jest niższa względem bufora 100–200 m wokół parków o 0,59°C w Poznaniu i o 0,69°C we Wrocławiu. Największe różnice miały miejsce w otoczeniu parków małych i średnich, we Wrocławiu w przypadku parków do 9 ha, zlokalizowanych w centrum, średnia różnica wyniosła 1°C. Dla kształtowania się warunków do chłodzenia powietrza istotne są: wskaźnik NDVI w parkach, a także uszczelnienie gruntów i wysokość budynków w otoczeniu parków. Zależności te są znacznie bardziej widoczne w Poznaniu, co wynika z większej liczby rzek w okolicach parków we Wrocławiu. Największe znaczenie dla temperatury wokół parków ma wskaźnik wegetacji, czyli w uproszczeniu gęstość roślinności w parkach. Większe parki charakteryzują się większym wskaźnikiem NDVI, jednak ich efekt chłodzący jest redukowany przez większą naturalność otoczenia. Mniejsze parki zlokalizowane są na ogół w gęsto zabudowanym śródmieściu. Niezwykle ważne, zwłaszcza w drugiej strefie, jest uszczelnienie nawierzchni. Wynika to z większej pojemności cieplnej użytych materiałów i mniejszej ilości wody, która mogłaby schładzać powietrze poprzez parowanie. Istotna jest także wysokość budynków otaczających parki, która warunkuje możliwości przewietrzania i tym samym chłodzenia powietrza.

Badania z zastosowaniem opisanej tu metodyki mają charakter uniwersalny i mogą być w łatwy sposób replikowane dla innych miast europejskich. Wykorzystanie technik teledetekcji satelitarnej dostarcza wiele cennych danych potrzebnych do analiz. Ograniczeniem jest tylko różny czas wykonania zdjęć satelitarnych i dostępność zdjęć podczas bezchmurnej pogody. Wyniki pokazują też, że czynnikiem zaburzającym była obecność rzeki w sąsiedztwie parku. We Wrocławiu, w okolicach takich parków jak park Zachodni, park Biskupiński czy park Dąbski, oraz w Poznaniu, w okolicach parku Szelałowski, Starego Koryta Warty czy parku Tadeusza Mazowieckiego, znajduje się rzeka, która odwraca gradient temperatury. Oceniając zatem korzyści dla mieszkańców miast wynikające z potencjału chłodzącego samych parków, części buforów nakładających się na rzeki i zbiorniki wodne powinny zostać wyłączone z analizy.

Efekt chłodzący terenów zieleni jest coraz częściej uznawany za kluczowy element zrównoważonego rozwoju miasta, szczególnie w łagodzeniu oddziaływania miejskiej wyspy ciepła. Miejskie tereny zieleni, w tym parki, chłodzą otoczenie dzięki mechanizmom takim, jak zacienienie, parowanie i regulacja przepływu powietrza. Procesy te przyczyniają się do obniżania temperatury powierzchni ziemi oraz powietrza, zwiększając komfort cieplny mieszkańców i zmniejszając zużycie energii przez systemy chłodzenia (Jaganmohan i in. 2016, Aram i in. 2019, Kramer, Kabisch 2022, Tu i in. 2022). Efektywność chłodzenia zależy jednak od różnych czynników, w tym wielkości, konfiguracji i gęstości roślinności na terenach zieleni. Zasięg chłodzenia większych parków jest większy, ale nawet mniejsze, rozdrobnione tereny zielone mogą mieć pozytywny wpływ, gdy zostaną zintegrowane z szerszą infrastrukturą niebiesko-zieloną (Liu i in. 2022, Cai 2023). Badania wykazały, że równomiernie rozłożone tereny zieleni mogą zapewnić większe korzyści chłodzące niż większe, zagregowane tereny zieleni (Bao i in. 2016). Podkreśla to znaczenie planowania przestrzennego, które powinno priorytetowo traktować odpowiednie rozmieszczenie terenów zieleni w celu maksymalizacji ich potencjału chłodzenia (Yan i in. 2021, Han i in. 2023). Ponadto interakcja między terenami zieleni a zbiornikami wodnymi może zwiększyć chłodzenie, ponieważ elementy wodne mają zazwyczaj dużą pojemność cieplną i przyczyniają się do lokalnych efektów chłodzenia (Xie, Li 2020). Implikacje tych ustaleń są istotne dla zrównoważonego rozwoju miast. Poprzez efektywne wykorzystanie miejskich terenów zieleni miasta mogą poprawić swoją odporność na zmiany klimatu i jakość życia mieszkańców oraz przyczynić się do osiągnięcia globalnych celów neutralności węglowej. Zintegrowane planowanie rozwoju miast, uwzględniające zaopatrujące, kulturowe i regulacyjne korzyści, jakie dostarczają tereny zieleni, może pomóc dostosować się do rosnących temperatur i zapobiegać zjawisku rozlewania się miast (Chen i in. 2014, Han i in. 2023). Dlatego efekt chłodzenia wymaga starannego rozważenia w polityce miejskiej i planowaniu strategicznym. W Polsce wiąże się to z realizacją zapisów krajowej polityki miejskiej oraz tworzeniem miejskich planów adaptacji do zmian klimatu wraz z koncepcjami zazieleniania i planami gospodarowania wodami opadowymi.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak występowania konfliktu interesów. Oświadczają, że tekst artykułu jest w całości ich dziełem.

Podział pracy przy artykule obrazował się następująco:

- konceptualizacja: DŁ, EK
- metodologia: DŁ, EK
- organizacja badań: DŁ, EK
- analiza formalna: DŁ, EK
- pisanie: DŁ, EK

Literatura / References

- Abbas A. 2019. The Impact of Land Use and Land Cover Change on Land Surface Temperature Using Geospatial Techniques in Sokoto North Local Government Area of Sokoto State, Nigeria. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 7(5): 1286–1293.
- Aram F., García E.H., Solgi E., Mansournia S. 2019. Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*, 5(4): e01339.
- Avdan U., Jovanovska G. 2016. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *J. Sens.*, 1480307.
- Bao T., Li X., Zhang J., Zhang Y., Tian S. 2016. Assessing the distribution of urban green spaces and its anisotropic cooling distance on urban heat island pattern in Baotou, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(2): 12.
- Bhat S., Santhosh K. 2021. A method for fault tolerant localization of heterogeneous wireless sensor networks. *IEEE Access*, 9: 37054–37063.
- Blachowski J., Hajnrych M. 2021. Assessing the cooling effect of four urban parks of different sizes in a temperate continental climate zone: Wrocław (Poland). *Forests*, 12(8): 1136.
- Bowler D.E., Buyung-Ali L., Knight T.M., Pullin A.S. 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3): 147–155.
- Ca V.T., Asaeda T., Abu E.M. 1998. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*, 29(1): 83–92.
- Cai X. 2023. Cooling island effect in urban parks from the perspective of internal park landscape. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1).
- Chen A., Yao X., Sun R., Chen L. 2014. Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4): 646–654.
- Chen J., Yang S., Li H., Zhang B., Lv J. 2013. Research on geographical environment unit division based on the method of natural breaks (Jenks). *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4/W3: 47–50.
- Doick K.J., Peace A., Hutchings T.R. 2014. The role of one large greenspace in mitigating London's nocturnal urban heat island. *Science of the Total Environment*, 493: 662–671.
- Du C., Ren H., Qin Q., Meng J., Zhao S. 2015. A Practical Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8 Data. *Remote Sens.*, 7: 647–665.
- Dubicki A., Dubicka M., Szymanowski M. 2002. *Klimat Wrocławia. Informator o Stanie Środowiska Wrocławia 2002*: 9–25.
- Fortuniak K. 2003. *Miejska wyspa ciepła: podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Givoni B. 1991. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25(3): 289–299.
- Hamada S., Ohta T. 2010. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(1): 15–24.
- Han Q., Nan X., Wang H., Hu Y., Bao Z., Yan H. 2023. Optimizing the surrounding building configuration to improve the cooling ability of urban parks on surrounding neighborhoods. *Atmosphere*, 14(6): 914.
- IMGW. 2022. *Rocznik Meteorologiczny*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego, Warszawa.
- IPCC. 2017. Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Mitigation, Sustainability and Climate Stabilization Scenarios. IPCC Working Group III Technical Support Unit, Imperial College London, London, the United Kingdom.
- Jaganmohan M., Knapp S., Buchmann C., Schwarz N. 2016. The bigger, the better? The influence of urban green space design on cooling effects for residential areas. *Journal of Environmental Quality*, 45(1): 134–145.
- Jamei E., Rajagopalan P., Seyedmahmoudian M., Jamei Y. 2016. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 1002–1017.
- Khan F., Das B., Mishra R., Patel B. 2021. Analysis of land use land cover changes with land surface temperature using spatial-temporal data for Nagpur city, India. *Journal of Landscape Ecology*, 14(3): 52–64.

- Kleerekoper L., van Esch M., Salcedo T.B. 2012. How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64: 30–38.
- Kraemer R., Kabisch N. 2022. Parks under stress: air temperature regulation of urban green spaces under conditions of drought and summer heat. *Frontiers in Environmental Science*, 10.
- Landsberg H.E. 1981. *The Urban Climate*. Academic Press, New York.
- Li H., Harvey J., Kendall A. 2013a. Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance. *Building and Environment*, 59: 536–546.
- Li Z.-L., Tang B.-H., Wu H., Ren H., Yan G., Wan Z., Trigo I.F., Sobrino J.A. 2013b. Satellite-Derived Land Surface Temperature: Current Status and Perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131: 14–37.
- Liu S., Su H., Zhang R., Tian J., Wang W. 2016. Estimating the Surface Air Temperature by Remote Sensing in Northwest China Using an Improved Advection-Energy Balance for Air Temperature Model. *Adv. Meteorol.*, 2016: 1–11.
- Liu W., Zhao H., Sun S., Xu X., Huang T., Zhu J. 2022. Green Space Cooling Effect and Contribution to Mitigate Heat Island Effect of Surrounding Communities in Beijing Metropolitan Area. *Frontiers in Public Health*, 10.
- Lupa P. 2020. Wpływ zielonej infrastruktury na warunki termiczne miast północnej Wielkopolski oraz jej miejsce w lokalnej polityce klimatycznej. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 52: 219–233.
- Łowicki D. 2019. Landscape pattern as an indicator of urban air pollution of particulate matter in Poland. *Ecological Indicators*, 97: 17–24.
- Majkowska A., Kolendowicz L., Półrolniczak M., Hauke J., Czarnecki B. 2017. The urban heat island in the city of Poznań as derived from Landsat 5 TM. *Theor. Appl. Climatol.*, 128: 769–783.
- Ng E., Ren C. 2018. China's adaptation to climate & urban climatic changes: A critical review. *Urban Climate*, 23: 352–372.
- Oke T.R. 1983. *Bibliography of urban climate, 1977–1980*. WCP, 45. World Meteorological Organization, Geneva.
- Oke T.R. 1989. The micrometeorology of the urban forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 324(1223): 335–349.
- Petralli M., Massetti L., Orlandini S. 2009. Air temperature distribution in an urban park: Differences between open-field and below a canopy. [W:] *The seventh international conference on urban climate*. IAUC-International Association for Urban Climate, s. 1–32.
- Program ochrony środowiska dla miasta Poznania do roku 2030. Załącznik nr 1 do Uchwały nr XCIV/1817/VIII/2023 Rady Miasta Poznania z dnia 5 grudnia 2023.
- Raszeja E., Gałęcka-Drozda A. 2015. Współczesna interpretacja idei poznańskiego systemu zieleni miejskiej w kontekście strategii miasta zrównoważonego. *Studia Miejskie*, 19: 75–86.
- Romanello M. i in. 2023. The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. *The Lancet*, 402(10419): 2346–2394.
- Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Wrocławia. Załącznik nr 1 do Uchwały nr L/1177/18 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 11 stycznia 2018 r.
- Taleghani M. 2018. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 2011–2018.
- Tu H., Min B., Li Z., Li X., You Q. 2022. The mitigation effect of park landscape on thermal environment in Shanghai city based on remote sensing retrieval method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5): 2949.
- Urbański P., Krzyżaniak M., Rydzewska A. 2009. Zieleni Poznania i innych miast w Polsce. *Nauka Przyroda Technologie*, 3(1): 44.
- USGS (<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>; dostęp: 10.06.2023).
- Walkowska A., Półrolniczak M., Kolendowicz L. 2022. Dynamika zmian sumy i struktury opadów w Wielkopolsce w latach 1981–2020. *Badania Fizjograficzne*, A, 13(73): 207–226.
- Wang J., Banzhaf E. 2018. Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. *Ecological Indicators*, 85: 758–772.
- Woś A. 2010. *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.

- Xie Q., Li J. 2020. Detecting the cool island effect of urban parks in Wuhan: a city on rivers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1): 132.
- Yan L., Jia W., Zhao S. 2021. The Cooling Effect of Urban Green Spaces in Metacities: A Case Study of Beijing, China's Capital. *Remote Sensing*, 13(22): 4601.

Cooling potential of green areas on the example of urban parks in Poznań and Wrocław

Abstract: Several studies indicate the cooling effect of urban greenery and their influence on mitigating the urban heat island effect. The results of studies can differ significantly based on various factors, with the primary factor being the research methods. This study aims to indicate a universal method for assessing the impact of green areas on the thermal environment using satellite images. Pilot studies were conducted for two cities, Poznań and Wrocław. Publicly available satellite scenes from Landsat 8–9 and Copernicus project data were used. The findings indicate that there are moderate variations in land cover between different cities, as well as significant differences in the number and types of parks. In Wrocław, 73 parks were identified, with 66% of them being forest parks. In Poznań, there were 48 parks, and 83% of them were predominantly grassy areas. In the case of surface waters and forest areas, the average land surface temperature was 28.8–30°C, while for squares and buildings, it was 36.2–36.7°C. Studies have shown that the range of the land surface temperature resulting from the land cover is about 11°C and that green areas play a crucial role in cooling the surroundings of parks. In Poznań, the average temperatures in the 0–100 m buffer were 0.6°C lower than in the 100–200 m buffer, in Wrocław this difference was 0.7°C. The temperature in the 0–100 m buffer was influenced by the vegetation index for parks (NDVI) and the height of buildings, and in the case of the 100–200 buffer around the park, also by the sealing of the surface. The methodology developed and adopted in the study of two cities allows for extending the research to other cities, even outside Poland.

Key words: urban parks; urban heat island; cooling effect; green areas; land surface temperature