



Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego
Polska Akademia Nauk

Marek Degórski, Andrzej Affek, Bożena Degórska, Anna Kowalska,
Edyta Regulska, Jacek Wolski, Jerzy Solon

Raport

Identyfikacja znaczących interakcji między usługami ekosystemowymi oraz istotnych zestawów usług na przykładzie podtypów ekosystemów miejskich Warszawy

Raport sporządzony dla Koordynatora Projektu – Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu



Usługi świadczone przez główne typy ekosystemów w Polsce – Podejście Stosowane
Projekt finansowany ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2014-2021

Warszawa, 31.12.2022

1. WSTĘP	3
2. OBIEKTY BADAŃ	5
2.1. LOKALIZACJA POLIGONÓW I ZRÓŻNICOWANIE ICH POTENCJAŁU DO ŚWIADCZENIA USŁUG	5
2.2. CHARAKTERYSTYKA POLIGONÓW BADAWCZYCH	10
3. USŁUGI EKOSYSTEMÓW ZURBANIZOWANYCH ISTOTNYCH DLA JAKOŚCI ŻYCIA SPOŁECZNOŚCI LOKALNYCH NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY	25
3.1. ZACHOWANIE MIEJSC ROZRODU I ŁĄCZNOŚCI EKOLOGICZNEJ MIĘDZY POPULACJAMI I SIEDLISKAMI	25
3.2. ŁAGODZENIE UCIAŻLIWOŚCI POCHODZENIA ANTROPOGENICZNEGO, W TYM REDUKCJA ZAPACHU, TŁUMIENIE HAŁASU I KSZTAŁTOWANIE WIDOKU	37
3.3. OCZYSZCZANIE POWIETRZA Z PYŁÓW WYTWORZONYCH PRZEZ CZŁOWIEKA	44
3.4. REGULACJA TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI POWIETRZA	47
3.5. CECHY SYSTEMÓW BIOLOGICZNYCH UMOŻLIWIAJĄCE DOZNANIA ESTETYCZNE, WSPIERAJĄCE ZDROWIE I REGENERACJĘ SIŁ	53
3.6. MOŻLIWOŚĆ REKREACJI I ODPOCZYNKU NA ŁONIE NATURY	60
LITERATURA	71

1. WSTĘP

W szybko urbanizującym się świecie miasta stały się głównymi ośrodkami popytu na usługi ekosystemowe, jak również miejscami silnego oddziaływania człowieka na środowisko (Degórski i in., 2022). Jak podkreśla się w literaturze przedmiotu, w przyszłości presja wywierana na ekosystemy będzie nasilać się wraz z rozwojem przestrzennym i demograficznym miast (Berry, 1990; Degórska, 2017). Urbanizacja stanowi zatem fundamentalne wyzwanie dla zrównoważonego rozwoju, ale stwarza również możliwości dla nowatorskich form projektowania i zarządzania ekosystemami miejskimi, aby zabezpieczyć ich zdolność do utrzymania usług ekosystemowych i odporność na zmiany, jakie zachodzą w megasystemie środowiska geograficznego. W dokumentach planistycznych i strategicznych coraz częściej podkreśla się olbrzymią rolę zielonej i błękitnej infrastruktury, która postrzegana jest jako komponent przestrzeni miejskiej odgrywający kluczową rolę w zapewnieniu dobrostanu mieszkańców oraz zdolności adaptacyjnych do radzenia sobie ze zmianami klimatycznymi i innymi globalnymi zmianami czy zagrożeniami (Depietri i in., 2012). Strategie uwzględniające inwestycje w zieloną infrastrukturę miejską i adaptację do zmian klimatu w oparciu o ekosystemy zyskują coraz większe zainteresowanie na całym świecie, zwłaszcza, że takie inwestycje jednocześnie generują wiele usług ekosystemowych, poprawiając dobrostan człowieka (Elmqvist i in., 2013, 2016).

Dla przeciętnego mieszkańca miasta bardzo istotne jest odczuwanie komfortu w miejscu zamieszkania, czyli korzystanie z potencjału lokalnych warunków, w tym przyrodniczych. Dostęp do usług ekosystemowych świadczonych przez błękitno-zieloną infrastrukturę jest jednym z elementów wpływających na dobre samopoczucie mieszkańców, m.in. poprzez możliwość oglądania z okna lub spaceru wśród zieleni, oddychania powietrzem oczyszczanym przez roślinność. Ekosystemy miejskie pełnią równocześnie wiele funkcji – tworzą wiązki świadczeń np. łącząc funkcje regulacyjne (oczyszczanie powietrza i wody) z funkcjami kulturowymi (rekreacja i edukacja).

Celem piątego etapu realizowanego zadania dotyczącego ekosystemów obszarów zurbanizowanych w ramach projektu „Usługi świadczone przez główne typy ekosystemów w Polsce – podejście stosowane”, była identyfikacja znaczących interakcji między usługami ekosystemowymi oraz istotnych zestawów usług na przykładzie podtypów ekosystemów miejskich Warszawy. Badania na tym etapie były prowadzone w skali lokalnej, odpowiadającej potrzebom planowania miejscowego.

Do badań w tej skali wybrano 10 obszarów testowych (poligonów) zlokalizowanych w Warszawie, reprezentujących **pięć podtypów ekosystemów miejskich**, a precyzyjnie rzecz ujmując – pięć typów funkcjonalno-morfologicznych zagospodarowania przestrzeni miejskiej, w obrębie których znajdują się odpowiadające im podtypy ekosystemów: **1. teren z zabudową kamienicową, 2. wielkoskalowe osiedle modernistyczne, 3. teren z zabudową jednorodzinną, 4. park miejski oraz 5. teren z infrastrukturą techniczną**. Każdy z podtypów reprezentowany jest przez dwa obszary charakteryzujące się skrajnymi w skali Warszawy wartościami dotyczącymi stopnia pokrycia koronami drzew i przepuszczalności gruntów.

Nasze badania skoncentrowały się na sześciu grupach usług ekosystemowych, kluczowych z punktu widzenia dobrostanu mieszkańców miasta. Cztery z nich należą do sekcji usług regulacyjnych:

1. Zachowanie miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami,
2. Łagodzenie uciążliwości pochodzenia antropogenicznego, w tym redukcja zapachu, tłumienie hałasu i kształtowanie widoku,
3. Oczyszczanie powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka,
4. Regulacja temperatury i wilgotności powietrza.

Dwie usługi należą do sekcji usług kulturowych:

5. Cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne, wspierające zdrowie i regenerację sił,
6. Możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie przyrody.

Do oszacowania potencjału parków miejskich do świadczenia usługi związanej z rekreacją i odpoczynkiem zastosowano metodę społeczną, natomiast do wyliczenia wykorzystania zastosowano metodę ekspercką.

Świadczenia, w zależności od ich charakteru, szacowane były w obrębie obszarów testowych lub w ich najbliższym otoczeniu. Podobnie jak na wcześniejszych etapach prac, przedmiotem pomiaru był potencjał, wykorzystanie lub niezaspokojone zapotrzebowanie na daną usługę.

W pracach prowadzonych przy realizacji prezentowanego etapu projektu wykorzystaliśmy bazę danych typów stref morfologicznych Warszawy, udostępnioną przez Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego m.st. Warszawy.

Należy podkreślić, że w raporcie szczególną uwagę skierowano na prezentację metodyki i procedury analitycznej, które mogą być implementowane w wielu miastach Polski na poziomie planowania miejscowego. Znając wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi usługami ekosystemów możliwe jest optymalizowanie rozwiązań w zagospodarowaniu przestrzeni miasta pod kątem poprawy warunków życia mieszkańców i ich dobrostanu.

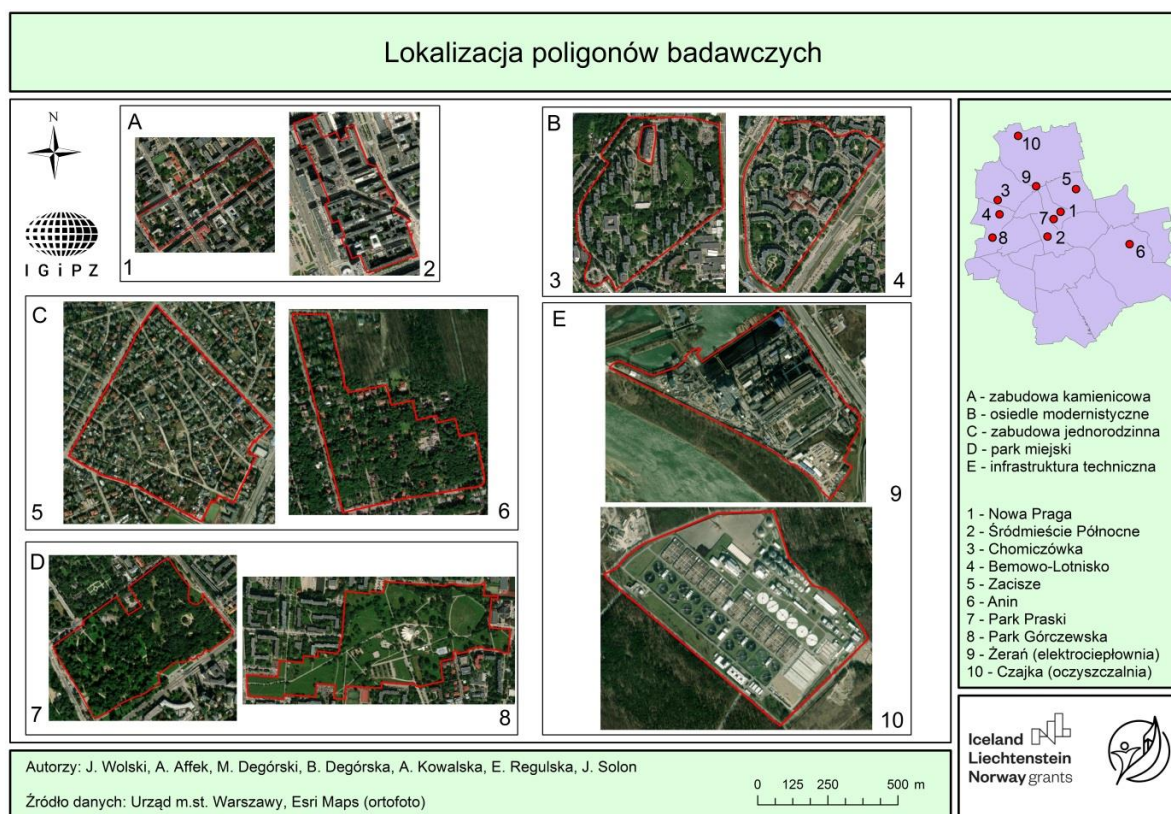
2. OBIEKTY BADAŃ

2.1. Lokalizacja poligonów i zróżnicowanie ich potencjału do świadczenia usług

Wybrane poligony badawcze reprezentują trzy typy zabudowy miejskiej, tereny usług specjalistycznych, tj. infrastrukturę techniczną (oczyszczalnię ścieków i elektrociepłownię) oraz tereny zieleni urządzonej – parki miejskie (tab. 1, ryc. 1).

Tabela 1. Poligony badawcze

Nazwa	Dzielnica	MSI	Typ morfologiczny
Nowa Praga	Praga Północ	Nowa Praga	zabudowa kamienicowa
Śródmieście Północne	Śródmieście	Śródmieście Północne	zabudowa kamienicowa
Chomiczówka	Żoliborz	Chomiczówka	osiedle modernistyczne
Bemowo-Lotnisko	Bemowo	Bemowo Lotnisko	osiedle modernistyczne
Zacisze	Targówek	Zacisze	zabudowa jednorodzinna
Anin	Wawer	Anin	zabudowa jednorodzinna
Park Praski	Praga Północ	Nowa Praga	park miejski
Park Górczewska	Bemowo	Jelonki Północne	park miejski
Żerań (elektrociepłownia)	Białołęka	Żerań	infrastruktura techniczna
Czajka (oczyszczalnia)	Białołęka	Choszczówka	infrastruktura techniczna



Ryc. 1. Lokalizacja poligonów badawczych w Warszawie

Nieprzepuszczalność gruntu

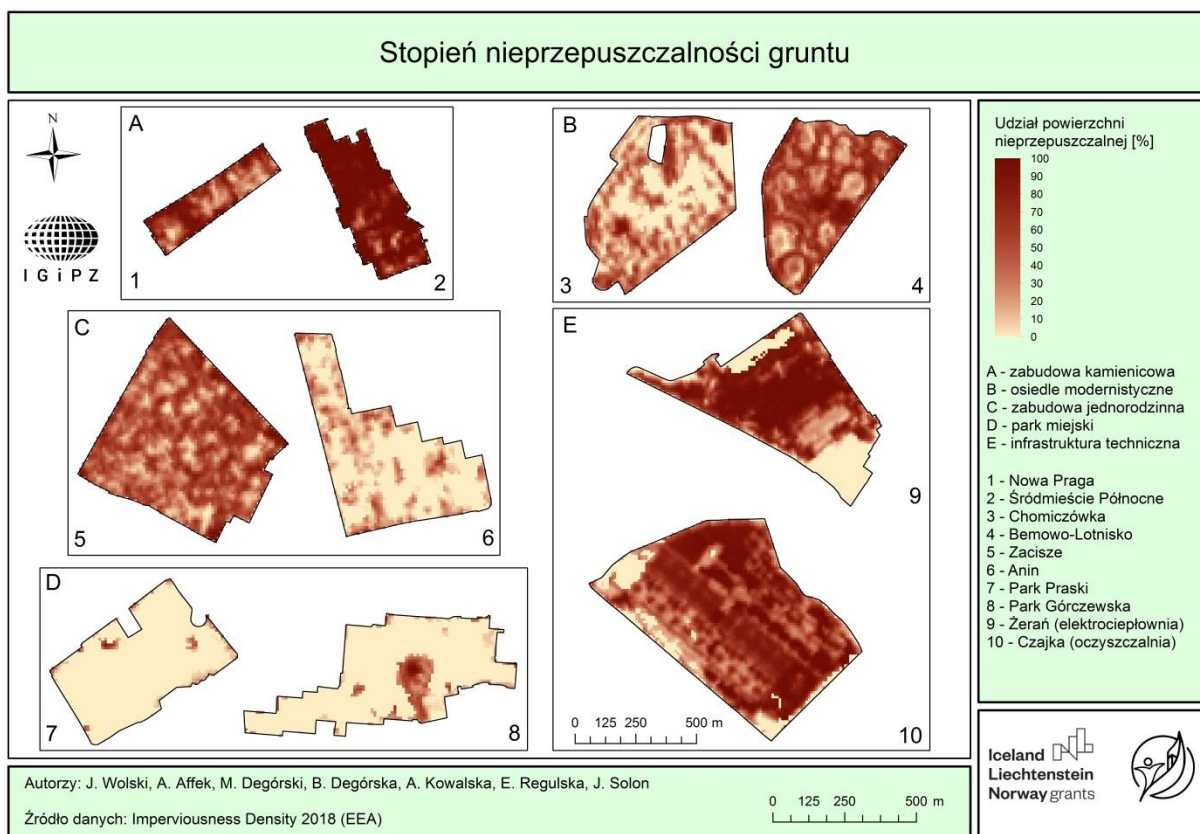
Zwiększanie udziału powierzchni nieprzepuszczalnych w obszarach miejskich ma bardzo negatywny wpływ na cały system przyrodniczy. Efektem zasklepiania gleb jest pogorszenie się właściwości infiltracyjnych podłoża, a tym samym większe zagrożenie powodzią miejską i podtopieniami, pogorszenie jakości wody (Tu i in., 2007; Livesley, 2016) oraz gwałtowny wzrost wahań przepływu w strumieniach (Paul i Meyer, 2001; Schoonover i in., 2006). Uszczelnienie powierzchni ma zatem znaczący wpływ na cały miejski bilans wodny (Haase i Nuijs, 2007) oraz funkcjonowanie infrastruktury zielonej w mieście.

Cechą znacząco różniącą wybrane poligony zarówno pomiędzy wszystkimi obiektami, jak i w obrębie typu/podtypu morfologicznego zabudowy miejskiej jest stopień nieprzepuszczalności gruntu (tab. 2, ryc. 2). Największą nieprzepuszczalnością charakteryzuje się Śródmieście Północne z zabudową kamienicową, gdzie uszczelniona powierzchnia zajmuje 90,6%, czyli znacznie więcej niż w obiekcie tej samej kategorii – Nowa Praga. Znacząco różnią się także badane osiedla modernistyczne: Bemowo (50%) i Chomiczówka (22,3%). Podobne różnice w powierzchni uszczelnionej występują w wybranych obiektach z zabudową jednorodzinną. Na Zaciszu powierzchnie nieprzepuszczalne zajmują 44,8%, a w Aninie tylko 9,5%, co stanowi najmniejszy udział wśród jednostek z zabudową mieszkaniową. Wysokim udziałem gruntów uszczelnionych, dość zbliżonym do zabudowy kamienicowej, charakteryzują się obiekty infrastruktury technicznej. Parki miejskie jako obszary zieleni, wyróżnia bardzo niski udział terenów nieprzepuszczalnych (Park Praski 1,9%, Park Górczewska 6,1%). Zróznicowanie stopnia nieprzepuszczalności wewnątrz badanych obiektów przedstawiono na ryc. 2.

Tabela 2. Charakterystyka poligonów badawczych

Nazwa obiektu	Typ morfologiczny	Liczba mieszk.	Pow. [ha]	Pow. nieprzepuszczalna [%]	Pow. biologicznie czynna [m ² /osobę]	Pow. rzutu koron drzew [%]
Nowa Praga	zabudowa kamienicowa	2411	6,1	56,6	11,0	5,9
Śródmieście Północne		1766	11,0	90,6	5,9	0,4
Chomiczówka	osiedle modernistyczne	4009	22,0	22,3	42,6	27,6
Bemowo-Lotnisko		8095	17,9	50,0	11,1	6,7
Zacisze	zabudowa jednorodzinna	2497	30,4	44,8	67,2	7,7
Anin		377	21,5	9,3	517,3	51,5
Park Praski	park miejski	nd	17,6	1,9	nd	64,1
Park Górczewska		nd	21,4	6,1	nd	8,5
Żerań	infrastruktura techniczna	nd	32,5	56,3	nd	2,4
Czajka		nd	52,7	59,5	nd	0,6

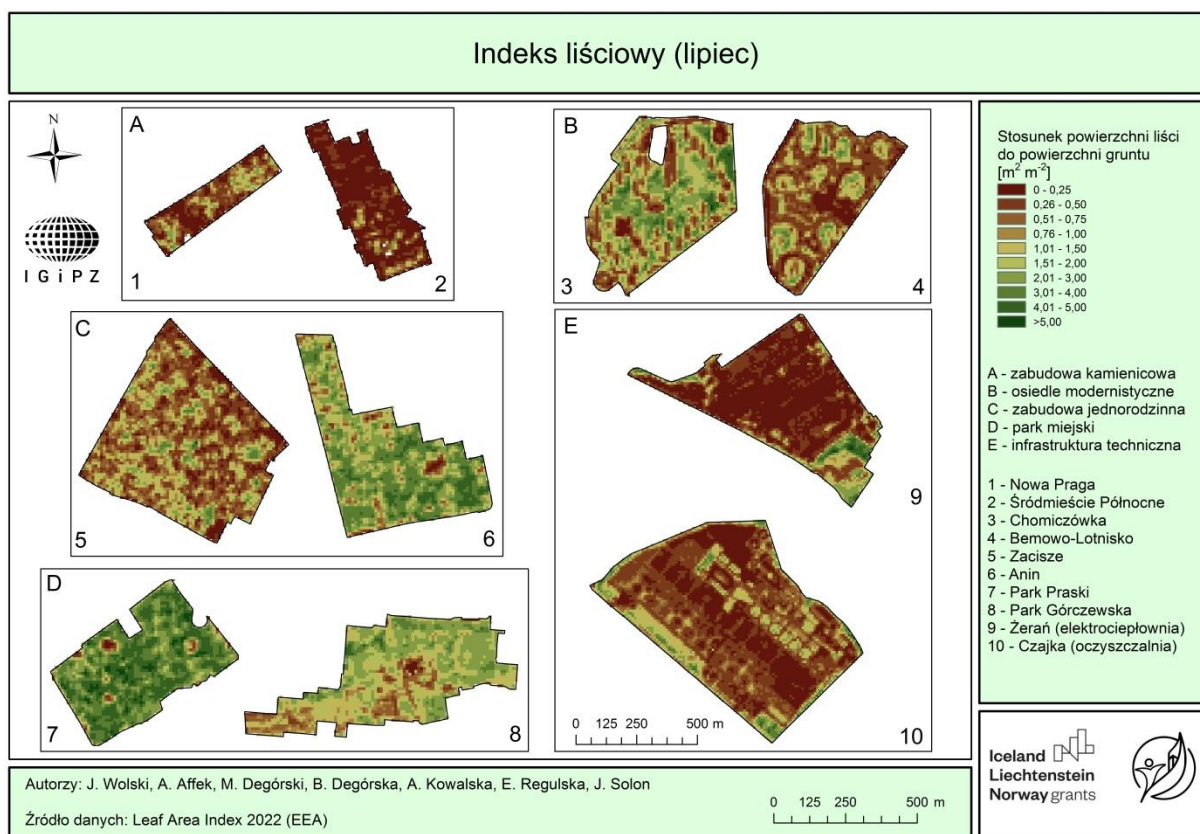
nd – nie dotyczy



Ryc. 2. Udział powierzchni nieprzepuszczalnych w badanych obiektach Warszawy

Indeks liściowy

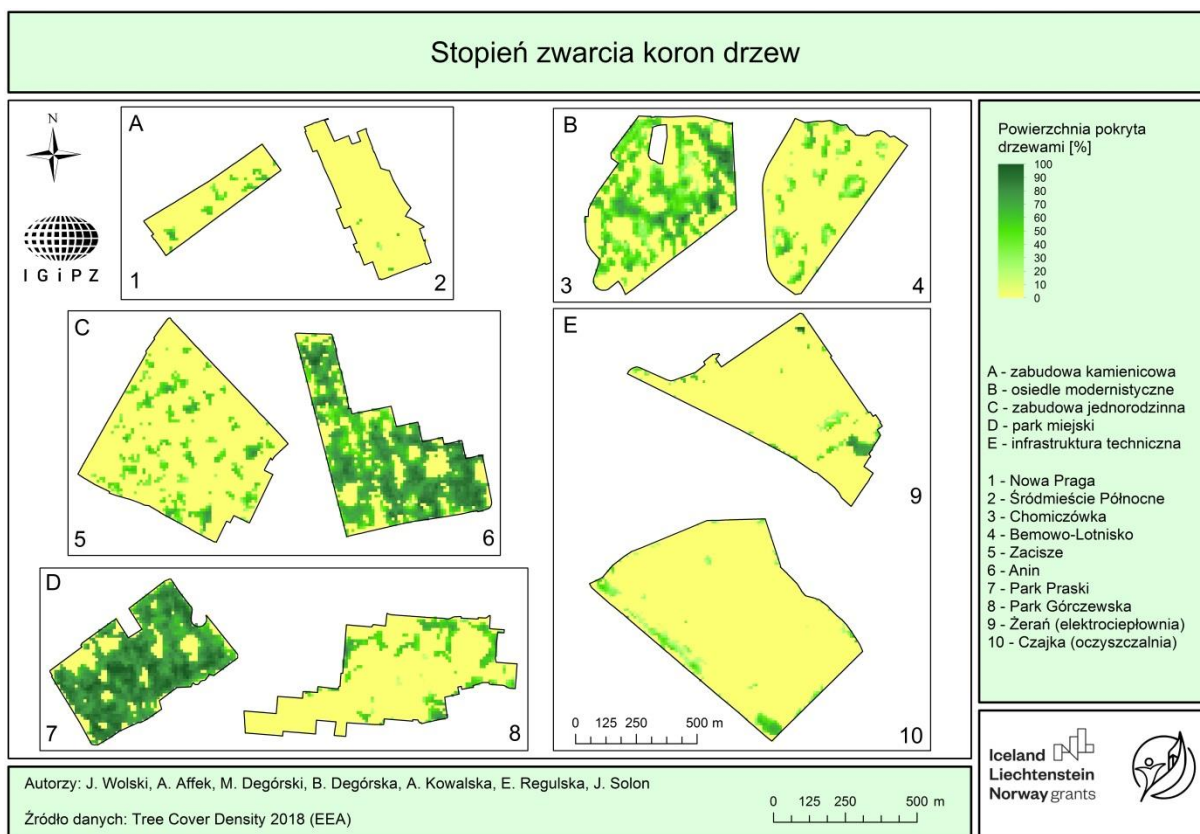
Badane poligony różnią się pomiędzy sobą stopniem pokrycia i strukturą roślinności, których dobrym wskaźnikiem jest indeks liściowy (ang. *leaf area index* – LAI) – stosunek powierzchni liści do powierzchni gruntu. Na uwagę zasługuje fakt, że poza parkami miejskimi, dużym udziałem zieleni, w tym drzew, charakteryzują się kilkudziesięcioletnie osiedla mieszkaniowe oraz zabudowa jednorodzinna (ryc. 3).



Ryc. 3. Przestrzenne zróżnicowanie indeksu liściowego określonego dla badanych obiektów Warszawy

Stopień zwarcia koron drzew

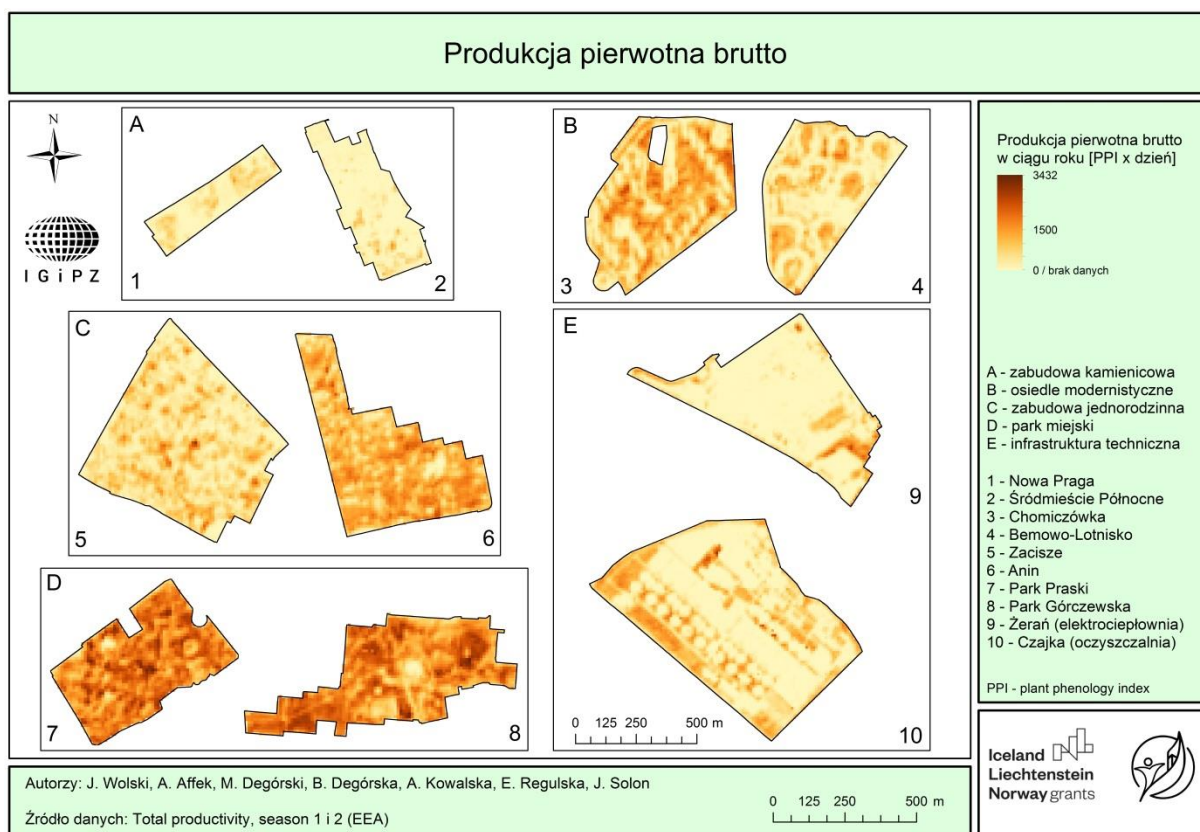
W środowisku miejskim mamy do czynienia z szeregiem zjawisk negatywnie wpływających na dobrostan ludzi. Należą do nich m.in. zanieczyszczenie chemiczne i pyłowe powietrza, gleby i wody, gwałtowny odpływ wody deszczowej i powodzie błyskawiczne, miejska wyspa ciepła i letnie fale upałów (Livesley i in., 2016). Od dłuższego czasu wiadomo z badań naukowych, że drzewa są integralną częścią jakości środowiska miast na całym świecie (Bolund i Hunhammar, 1999; Dwyer i in., 1991). Równocześnie rośnie świadomość wartości usług ekosystemowych, które mogą zapewnić drzewa i lasy miejskie. Do najważniejszych usług można zaliczyć ograniczenie zjawiska miejskiej wyspy ciepła, zmniejszenie odpływu wody deszczowej, magazynowanie dwutlenku węgla, poprawę jakości powietrza, oszczędność energii oraz, pośrednio i bezpośrednio, poprawę zdrowia i dobrostanu ludzi (Brack, 2002; Escobedo i Nowak, 2009; Livesley i in., 2016). Wśród badanych poligonów najwyższym stopniem zwarcia koron drzew charakteryzuje się Park Praski, zabudowa jednorodzinna w Aninie i osiedle modernistyczne Chomiczówka (ryc. 4).



Ryc. 4. Powierzchnia pokryta drzewami w badanych obiektach Warszawy

Produkcja pierwotna brutto

Ważną cechą środowiska przyrodniczego w miastach jest udział potencjalnych źródeł biomasy, ponieważ znajdują się one blisko konsumentów i dają możliwości obniżenia kosztów utrzymania miejskich terenów zieleni (Brunzel i in., 2018; Sikorska i in., 2020). Najwyższą wartością rocznej produkcji pierwotnej brutto charakteryzują się badane poligony położone w obszarach o najwyższym udziale zieleni: parki miejskie i tereny zabudowy jednorodzinnej (ryc. 5).



Ryc. 5. Produkcja pierwotna brutto określona dla badanych obiektów Warszawy

2.2. Charakterystyka poligonów badawczych

Nowa Praga

Poligon Nowa Praga ograniczają ulice: Stalowa, Konopacka, Strzelecka i Szwedzka. Obszar o powierzchni 6,1 ha zamieszkuje ok. 2400 osób. Dominuje zabudowa kwartałowa-kamienicowa (ryc. 6). Najstarsza jej część pochodzi sprzed I wojny światowej, ale są także budynki z lat późniejszych, łączące nowoczesność z tradycją (fot. 1). Od strony ulic zabudowa, oprócz funkcji mieszkaniowych, pełni wiele innych funkcji – punkty usługowe, sklepy czy kawiarnie najczęściej znajdują się na parterach budynków. W wewnętrznej zabudowie kwartałów dominuje funkcja mieszkaniowa. Zamknięte lub częściowo otwarte podwórka stanowią ważną przestrzeń sąsiedzką. Charakterystycznym elementem ich krajobrazu są pojedyncze drzewa lub kępy drzew z kapliczką, jakkolwiek ten element należy do zanikających. Stopień uszczelnienia gruntu wynosi ponad 50% powierzchni obszaru. Jest to jednak znacząco niższa wartość niż w zabudowie kwartałowo-kamienicowej Śródmieścia. Powierzchnia biologicznie czynna wynosi 11 m² na osobę, czyli podobnie jak w przypadku poligonu Bemowo-Lotnisko. Zabudowę kwartałowo-kamienicową na Nowej Pradze charakteryzuje bardzo niski stopień zwarcia koron drzew – ok. 6% (tab. 2).



Ryc. 6. Poligon Nowa Praga (Esri Maps - ortofoto)

Impulsem do rozwoju nowej zabudowy w tej części Pragi były: rozbudowa węzła kolejowego i budowa Warszawskiej Fabryki Stali (ul. Stalowa), co przyczyniło się do powstania nowych domów i kamienic oraz przyłączenia Nowej Pragi do Warszawy w 1891 r.¹

Po II wojnie światowej rejon Nowej Pragi, mimo ocalałej w dużej części historycznej zabudowy popadł w zapomnienie, a czas i kwaterunkowe formy najmu dokonały wielu zniszczeń materialnych i degradacji tkanki społecznej. Powoli wprowadzane programy rewitalizacji przynoszą pewne zmiany, ale prowadzi się ją w sposób nieusystematyzowany, często wyrywkowy, co zmniejsza efekty tych przedsięwzięć.

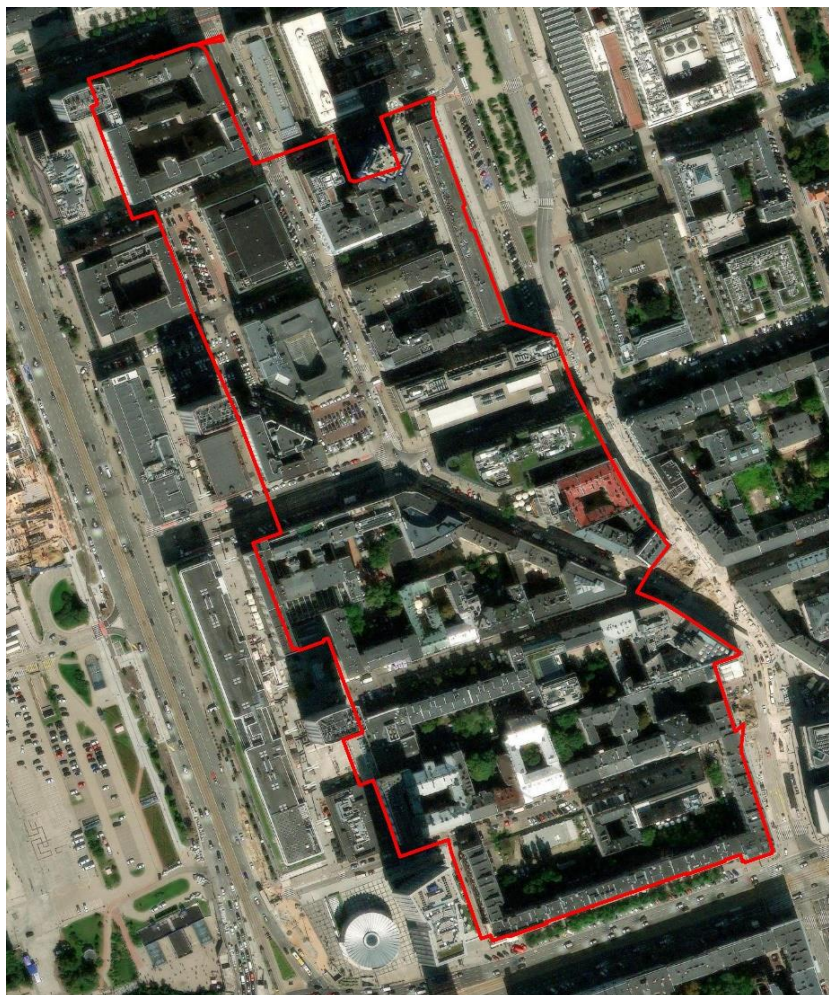


Fot. 1. Zabudowa kamienicowa – Nowa Praga (fot. A. Affek, A. Kowalska)

¹ <http://towarzystwoprzyjaciolpragi.com/praga/osiedla/nowa-praga/>

Śródmieście Północne

Poligon Śródmieście Północne położony jest w ścisłym centrum miasta. Jego zachodnią granicę stanowi Pasaż Wiecha, będący deptakiem na zapleczu dawnych Domów Towarowych Centrum, południową – Aleje Jerozolimskie, północną – ulica Świętokrzyska, zaś wschodnią – Plac Powstańców Warszawy i ulica Szpitalna (ryc. 7). Całkowita powierzchnia poligonu Śródmieście Północne to 11 ha, które zamieszkuje około 1770 osób. Jest to teren typowo wielkomiejski, charakteryzujący się małym udziałem powierzchni przepuszczalnej (9%) i biologicznie czynnej (6%) oraz najniższym stopniem zwarcia koron, który wynosi zaledwie 0,4% (tab. 2). Pełni funkcje usługowe (banki, sklepy i wiele innych), kulturowe (kina, teatry, restauracje, kawiarnie) oraz mieszkaniowe. Zabudowa należy do kwartałowo-kamienicowej, ale od poligonu Nowa Praga wyróżnia ją większa wysokość i stopień zabudowania. Zieleń tworzą małe zieleńce – trawniki oraz drzewa nasadzone wzdłuż krawędzi jezdni oraz pasaży (fot. 2).



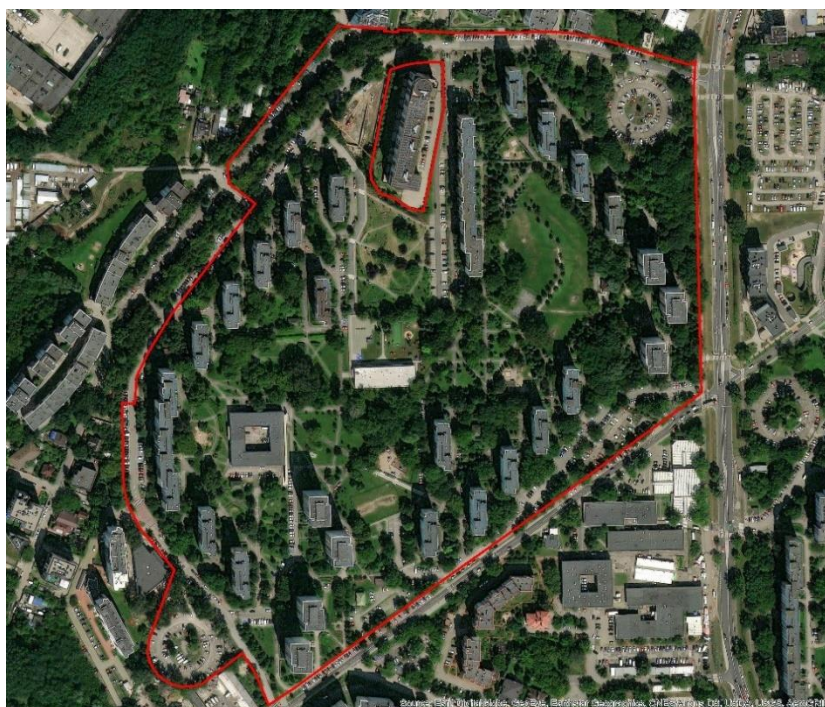
Ryc. 7. Poligon Śródmieście Północne (Esri Maps - ortofoto)



Fot. 2. Zabudowa kamienicowa – Śródmieście Północne (fot. M. Degórski)

Chomiczówka

Poligon Chomiczówka położony jest w dzielnicy Bielany na osiedlu Chomiczówka. Jego granica przebiega wzdłuż ulicy Conrada na wschodzie, Kwitnącej na południu i Bogusławskiego na zachodzie i północy (ryc. 8). Badany obszar ma powierzchnię 22 ha i zamieszkany jest przez 4000 osób. Jest to modernistyczne osiedle mieszkaniowe, które zaczęto budować na przełomie lat 80. i 90. XX w.



Ryc. 8. Poligon Chomiczówka (Esri Maps - ortofoto)

Chomiczówka należy do terenów bardzo zielonych, jak na standardy dużych miast. Na jednego mieszkańca przypada 42,6 m² powierzchni biologicznie czynnej. Obszar ten charakteryzuje się również niskim wskaźnikiem zasklepienia gruntów, bowiem blisko 78% powierzchni stanowią grunty przepuszczalne. Ma to olbrzymie znaczenie z punktu widzenia infiltracji wód opadowych, szczególnie w czasie nawałnych deszczy. Na szczególną uwagę zasługuje również zachowanie wielu drzew i krzewów z okresu przed inwestycyjnego. Zieleń jest urządzona w stylu parkowym, co daje mieszkańcom możliwość czynnego wypoczynku na

łonie natury (fot. 3). Stopień zwarcia koron drzew wynosi blisko 28%, co zapewnia cień w upalne dni i obniża odczuwalną temperaturę powietrza. Tereny zieleni są ogólnie dostępne, nie tylko dla osób mieszkających bezpośrednio na osiedlu, ale również dla mieszkańców osiedli sąsiednich.

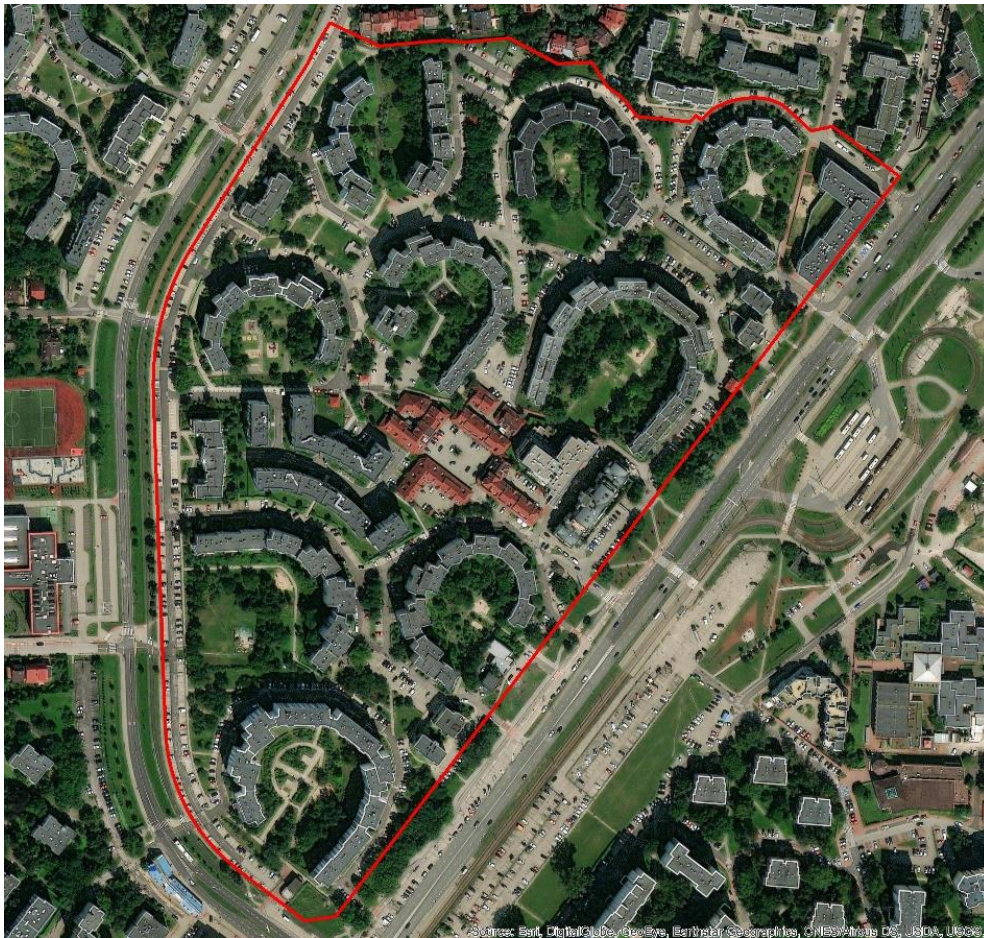


Fot. 3. Osiedle modernistyczne – Chomiczówka (fot. J. Wolski)

Bemowo-Lotnisko

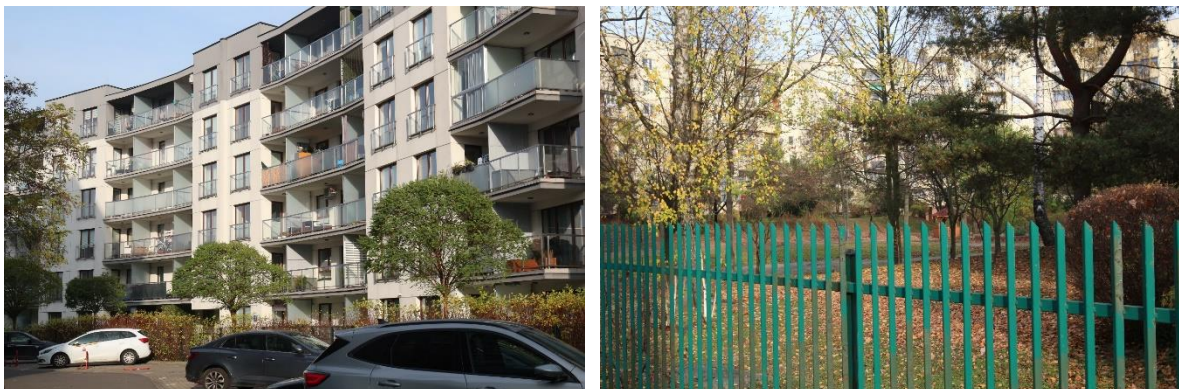
Osiedle Bemowo-Lotnisko wzięło swoją nazwę od istniejącego tu lotniska wojskowego (Lotnisko Babice). W latach 80. XX w. ograniczono jego powierzchnię, zaś sam obiekt zaczął pełnić funkcję sportowo-ratunkową. W miejscu dawnej infrastruktury zaczęto budować osiedla mieszkaniowe – na płytach lotniska zlokalizowana jest m.in. ulica Powstańców Śląskich, Widawska i Osmańczyka.

Poligon badawczy Bemowo-Lotnisko usytuowany jest pomiędzy ulicą Powstańców Śląskich na wschodzie i ulicą Wrocławską na południu i wschodzie (ryc. 9). Na północy ograniczony jest uliczkami osiedlowymi biegnącymi na południe od ulicy Piastów Śląskich. Jego powierzchnia wynosi 17,9 ha i zamieszkiwany jest przez ponad 8000 mieszkańców. Jak na standardy miejskie charakteryzuje się znaczącym udziałem gruntów przepuszczalnych (50%), co daje możliwość szybkiej infiltracji wód opadowych. Na jednego mieszkańca przypada 11 m² powierzchni biologicznie czynnej (tab. 2).



Ryc. 9. Poligon Bemowo-Lotnisko (Esri Maps - ortofoto)

Zieleń towarzysząca zabudowie jest urządzona, co jest następstwem ponad 20-letniego zamieszkania przez społeczność lokalną. Należy podkreślić, że wśród drzew są również stare drzewa, które nie zostały wycięte, ani zniszczone w czasie prowadzonych inwestycji budowlanych. Jednak korzystanie z zielonej infrastruktury osiedla jest możliwe tylko dla mieszkańców poszczególnych budynków. Kształt budynków w formie półkoli sprzyja grodzeniu terenu i zamykaniu podwórek (ryc. 9, fot. 4), co sprawia, że swobodny dostęp do powierzchni zielonych jest praktycznie niemożliwy.



Fot. 4. Osiedle modernistyczne – Bemowo-Lotnisko (fot. J. Wolski)

Zacisze

Osiedle Zacisze jest położone w dzielnicy Targówek. Wybudowano je na terenie podmokłym, w krajobrazie którego dominowały łąki i oczka wodne. Osuszanie terenu rozpoczęło się po przekopaniu Kanału Bródnowskiego około połowy XIX w.² Początkowo było to osiedle letniskowe. W XX w. zwiększyło się zainteresowanie tym terenem osadniczym, ponieważ tanie grunty przyciągały mieszkańców, zaś intensyfikacja tego procesu nastąpiła po 1951 r., po włączeniu Zacisza do Warszawy³. Od 2022 r. osiedle posiada dobre połączenie z centrum dzięki stacji metra Zacisze.



Ryc. 10. Poligon Zacisze (Esri Maps - ortofoto)

Poligon Zacisze o powierzchni 30,4 ha zlokalizowany jest pomiędzy ulicami Blokową, Codzienną, Kondratowicza i Pospiesznią (ryc. 10). Obszar zamieszkuje ok. 2500 osób. Pod względem morfologicznym zdecydowanie dominuje zabudowa jednorodzinna, zlokalizowana na stosunkowo małych działkach i należąca do typu ekstensywnej zabudowy miejskiej (fot. 5). Oprócz domów wolnostojących, występują domy w zabudowie bliźniaczej i szeregowej, zazwyczaj nowsze. Rzadko pojawiają się tzw. wille miejskie, nieco większe, ale nawiązujące wysokością do okolicznych domów. Usługi oraz inną drobną działalność zlokalizowano głównie na parterach domów, rzadziej w samodzielnych budynkach. Osiedle wyróżnia dość regularna, gęsta siatka ulic, częściowo z chodnikami i miejscowo z zielenią uliczną i szpalerami drzew oraz żywopłotami. Taki układ powoduje dość znaczne uszczelnienie powierzchni gruntów (45%). Wartość krajobrazową przestrzeni obniżają liczne reklamy, zaniedbana zieleń uliczna, rzadziej nieestetyczne ogrodzenia i nieremontowane, niekiedy popadające w ruinę starsze domy. Na mieszkańca przypada ok. 67 m² powierzchni biologicznie czynnej. W obrębie większości posesji zieleń jest zadbaną, z pojedynczymi

² [https://pl.wikipedia.org/wiki/Zacisze_\(Warszawa\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Zacisze_(Warszawa))

³ Metro wjechało na Bródno. <https://um.warszawa.pl/-/metro-wjechalo-na-brodno>

drzewami i znacznym udziałem krzewów, niestety także należących do gatunków obcych i inwazyjnych. Udział powierzchni koron drzew w powierzchni osiedla wynosi 7,7%. Okoliczne ogrody działkowe, Las Bródnowski i zieleń forteczna zapewniają mieszkańcom dostęp do rekreacji na łonie przyrody.



Fot. 5. Zabudowa jednorodzinna – Zacisze (fot. B. Degórska, A. Affek)

Anin

Poligon badawczy Anin jest zlokalizowany w dzielnicy Wawer, na terenie osiedla Anin pomiędzy ulicami Żalipie, Krawiecką, Szoferską, Odrodzenia, Wierchowskiego i Alpejską. Teren o powierzchni 21,5 ha zamieszkuje tylko 377 osób.



Ryc. 11. Poligon Anin (Esri Maps - ortofoto)

Osiedle Anin założono w pierwszej dekadzie XX w. jako lotnisko. W pierwszej połowie XX w. rozpoczęto proces odwadniania gruntu, co sprawiło, że teren ten znalazł się w czołówce najchętniej zasiedlanych podwarszawskich wówczas miejscowości⁴. W 1951 r. wraz z Falenicą i licznymi przyległymi wsiami osiedle zostało włączone w granice Warszawy, co zwiększyło i tak znaczny popyt na działki w tej części miasta⁵, który na przełomie XX i XXI w. jeszcze bardziej się zintensyfikował. Obecna zabudowa coraz bardziej wkracza w tereny leśne, a grodzenie posesji trwale ogranicza swobodne przemieszczanie się zwierząt.

Pod względem morfologicznym jest to głównie zabudowa jednorodzinna na działkach leśnych. Przeważają duże domy wolnostojące typu willowego (fot. 6). Podobnie jak na Zaciszu, należą do typu ekstensywnej zabudowy miejskiej. Ulice dzielą teren na podobnej wielkości prostokąty, rozparcelowane na duże działki, przeważnie z wolnostojącą zabudową jednorodziną, częściowo w trakcie budowy lub jeszcze niezabudowane. Prawie wszystkie działki są zadrzewione. Badany obiekt charakteryzuje bardzo wysoki stopień pokrycia terenu koronami drzew (51,5%), co jest wielkością porównywalną do uzyskanej dla Parku Praskiego (tab. 2). W drzewostanie dominują sosny i dęby, ale występują także inne gatunki drzew m.in. szybko rosnące topole. Zabudowa najczęściej dwupiętrowa dobrze wkomponowuje się w otoczenie, tworząc krajobraz leśno-osiedlowy. Na jednego mieszkańca przypada aż 517,3 m² powierzchni biologicznie czynnej. Mimo że miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego osiedla Anin z 2010 r. nakłada obowiązek zachowania w maksymalnym stopniu istniejącego starodrzewu, to rozluźnione krótkookresowo przepisy o ochronie przyrody (2016 r.), spowodowały nadmierny ubytek drzewostanu na działkach leśnych.



Fot. 6. Zabudowa jednorodzinna – Anin (fot. J. Wolski, B. Degórska)

Park Praski

Park Praski Żołnierzy 1 Armii Wojska Polskiego zlokalizowany jest w dzielnicy Praga Północ, pomiędzy ulicami Wybrzeże Szczecińskie, Wybrzeże Helskie, al. Solidarności, Jagiellońską i Ratuszową (ryc. 12). Obecnie zajmuje powierzchnię 18,7 ha. Jest to najstarszy warszawski park. W pierwotnych granicach założono go w latach 1865-1871 pod nazwą Ogród Aleksandryjski (Aleksandrowski), a dopiero od roku 1916 – Park Praski. Został

⁴ <https://ulicetwojegomiasta.pl/osiedle/anin>

⁵ <http://gazetawawerska.pl/2022/08/09/geneza-i-parcelacja-osiedla-anin/>

zlokalizowany na prawym brzegu Wisły, na piaskowych madach rzecznych i podmokłych terenach wykorzystywanych jako łąki i pastwiska⁶. Do 1927 r. integralną jego część stanowił Ogród Zoologiczny, sąsiadujący z nim od północy (Encyklopedia Warszawy, 1994). Od zachodu poprzez ulice Wybrzeże Szczecińskie i Wybrzeże Helskie graniczy z międzywalem doliny Wisły, czyli z obszarem Natura 2000 (OSO) Dolina Środkowej Wisły (PLB140004). W 1990 r. park wraz z Miejskim Ogrodem Zoologicznym został wpisany do rejestru zabytków pod numerem 1434-A⁷.



Ryc. 12. Poligon Park Praski (Esri Maps - ortofoto)

Park charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem gatunkowym drzew, w dużej liczbie starych, wysokim zwarcie drzewostanu i wielopiętrowością. Wśród drzew przeważają topole, klony, lipy, wiązy i jesiony a także kasztanowce i robinie białe, a z drzew iglastych świerki, daglezie oraz modrzewie⁸. Przyrodniczo-krajobrazową osobliwością parku jest topola czarna o wysokości 22 m i obwodzie pnia 703 cm, którą w 2019 r. ustanowiono pomnikiem przyrody⁹. Do cennych gatunków drzew należą także miłorząb dwuklapowy, jesion pensylwański, kłęk amerykański, sofora chińska oraz najstarszy, ponad 180 letni, platan klonolistny¹⁰. Roślinność uatrakcyjniamy krzewy – m.in. jaśminowce, lilaki czy tawuły van Houtte’a oraz nasadzenia kwiatów i traw (fot. 7). Z uwagi na te uwarunkowania park stanowi siedlisko cennych gatunków zwierząt (m.in. puszczyka) i zaliczono go do ostoi bioróżnorodności Warszawy (Atlas Ekofizjograficzny Warszawy, 2018). Park wyróżnia

⁶ <https://eko.um.warszawa.pl/-/park-praski?redirect=%2Fparki>

⁷ https://bip.warszawa.pl/NR/rdonlyres/001a8fa4/qbpdpumlvwngvxtrpcgzlqwgmuowozpq/GEZ_Aktualny_wykaz_zabytk%C3%B3w_20220720.pdf

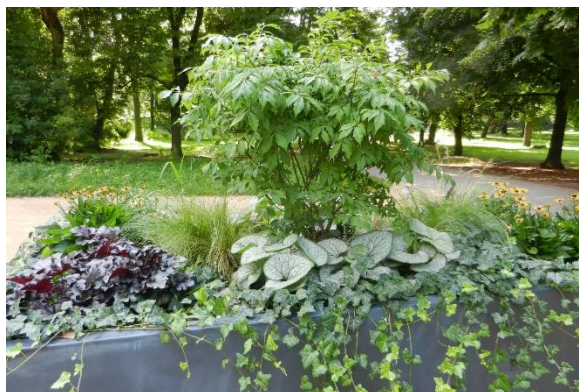
⁸ <https://um.warszawa.pl/-/park-praski-jak-nowy>

⁹ UCHWAŁA NR XIII/307/2019 Rady Miasta Stołecznego Warszawy z dnia 30 maja 2019 r. w sprawie ustanowienia pomnika przyrody. Dziennik urzędowy województwa mazowieckiego Warszawa, dnia 14 czerwca 2019 r. Poz. 7506

¹⁰ <https://zzw.waw.pl/2021/07/18/park-praski-zielone-serce-pragi-polnoc-od-ponad-150-lat/>

interesujące założenie kompozycyjne w jego zachodniej części, które tworzy elipsoidalna aleja obwodnicowa z licznymi alejkami wewnątrz (ryc. 12). Elementami architektonicznym są m.in. muszla koncertowa i szereg rzeźb z najbardziej charakterystyczną metalową żyrafą.

W 2022 r. zakończono trzyletni proces modernizacji parku, m.in. przystosowując go dla osób z niepełnosprawnościami oraz zmian klimatu (zamgławiacze), a także rozszerzając wyposażenie w wiele elementów małej architektury. Po przeprowadzonej inwentaryzacji drzewostanu każde drzewo opatrzono tabliczką z numerem (tzw. Arbotag), który umożliwia sprawdzenie podstawowych danych drzewa w serwisie m.st. Warszawy.



Fot. 7. Park miejski – Park Praski (fot. A. Kowalska, B. Degórska)

Park Górczewska

Park o powierzchni 20,5 ha jest zlokalizowany na terenie osiedla „Górczewska” w dzielnicy Bemowo (ryc. 13). Założono go w latach 80. XX w. W jego otoczeniu znajdują się różnowiekowe i zróżnicowane morfologicznie osiedla. Dominują wielkoskalowe osiedla głównie modernistyczne, które można obserwować z wnętrza parku, dzięki licznym osiom i punktom widokowym i dużej otwartości krajobrazowej parku.

Park Górczewska założony został na miejscu dawnych pól uprawnych i mokradeł, które stopniowo zasypywano ziemią, pochodzącą z budowy okolicznych osiedli. Teren parku urozmaicają trzy pagórki (o nazwach: Łysa, Kościelna i Czumy), także usypane z materiału

wywożonego przy budowie bloków. Pod względem widokowym wyróżnia się górka Czumy, z której otwiera się widok na park i otaczające blokowiska. Elementem drastycznie ingerującym w krajobraz, jest napowietrzna linia energetyczna przecinająca park.

Cechą wyróżniającą Parku Górczewska spośród innych warszawskich parków miejskich jest bardzo duży udział powierzchni z roślinnością trawiastą. Drzewa, luźno porastające park, pochodzą zarówno z nasadzeń przy licznych alejkach i innych obiektach, ale także stanowią pozostałość dawnych sadów i samosiewów (głównie topole). Niektóre miejsca o przeznaczeniu sportowo-rekreacyjnym otaczają żywopłoty. Wśród fauny parku zaobserwowano chronione motyle (pazia królowej i mieniaka tęczowca), szczątkową populację ropuchy zielonej oraz przelatujące gęsi gęgawy.

Rozwój blokowisk i nowszej zabudowy wielorodzinnej od strony zachodniej parku przyczynił się do utraty funkcji klina napowietrzającego, który wcześniej umożliwiał napływ świeżego i schłodzonego powietrza znad Puszczy Kampinoskiej w głąb osiedli mieszkaniowych.



Ryc. 13. Poligon Park Górczewska (Esri Maps - ortofoto)

W parku znajdują się boiska sportowe z naturalną nawierzchnią. Wśród innych obiektów na uwagę zasługują siłownie plenerowe, place zabaw, wybieg dla psów, a także liczne i atrakcyjne pod względem architektonicznym miejsca służące wypoczynkowi. Podobnie jak w Parku Praskim tutaj również usytuowano amfiteatr (w 2008 r.). Należy podkreślić, że wyposażenie parku uwzględnia potrzeby osób z niepełnosprawnościami.



Fot. 8. Park miejski – Park Górczewska
(fot. A. Affek)



Żerań

Elektrociepłownia Żerań jest drugą co do wielkości pod względem ilości wytwarzanego ciepła (po Elektrociepłowni Siekierki) elektrociepłownią w Warszawie. Budowano ją w latach 1952-1956, a 21 lipca 1954 r. ruszyła pierwsza turbina i od tego czasu zakład pracuje nieprzerwanie. Elektrociepłownia dysponuje mocą cieplną 1580 MW i elektryczną 386 MW. Podstawowym paliwem jest węgiel kamienny. Oprócz ciepła i energii w skojarzeniu zakład produkuje również parę technologiczną dla kilku odbiorców przemysłowych. Po modernizacji w 1997 i 2001 r. włączono do eksploatacji dwa ekologiczne kotły fluidalne, zwiększające efektywność produkcji i redukujące emisję pyłu, tlenków siarki i azotu, bez konieczności budowy instalacji zewnętrznych (Główka i Kleczkowski, 2004).



Ryc. 14. Poligon Żerań (elektrociepłownia) (Esri Maps - ortofoto)

Zakład zlokalizowany jest w północnej części prawobrzeżnej Warszawy, pomiędzy wałem przeciwpowodziowym w dolinie Wisły (od zachodu) a ulicą Modlińską od wschodu. Od północy teren zamyka kanał Żerański, zaś od południa obszary przemysłowe (ryc. 14). Głównym obiektem jest hala siłowni wybudowana w 1953 r., o stalowej konstrukcji szkieletowej wysokości 40 m (fot. 9). Wnętrze poligonu Żerań ma charakter przemysłowy, z bardzo rozbudowaną infrastrukturą techniczną. Teren pozbawiony jest praktycznie roślinności, poza kilkoma kępami drzew, które mają powierzchnię rzutu koron 8200 m^2 , co stanowi 2,4% powierzchni.



Fot. 9. Infrastruktura techniczna – elektrociepłownia Żerań (fot. A. Affek, J. Wolski)

Czajka

Oczyszczalnia ścieków Czajka jest zlokalizowana w północnej części Warszawy, w dzielnicy Białoleka. Zajmuje obszar o powierzchni 52,7 ha. Z trzech stron „Czajkę” otacza las, a od strony południowo-wschodniej, tj. od ul. Czystej Wody, głównie nieużytki, użytki zielone i zarośla. Przy ulicach Czajki i Czystej Wody od strony oczyszczalni posadzono nieciągłe szpalery drzew, częściowo przed, a częściowo za ogrodzeniem oczyszczalni (ryc. 15). Teren oczyszczalni charakteryzuje bardzo wysoki udział powierzchni nieprzepuszczalnych oraz

znikomy udział powierzchni zadrzewionych. Drzewa występują głównie na obrzeżach tego obiektu.



Ryc. 15. Poligon Czajka (oczyszczalnia) (Esri Maps - ortofoto)

Oczyszczalnia została uruchomiona w 1991 r., ale jej projekt pochodzi z początku lat 70. XX w. Zatem już w momencie zakończenia budowy technologie oczyszczania ścieków były przestarzałe. W 2009 r. rozpoczęto modernizację i rozbudowę oczyszczalni, zakończoną w 2012 r. Jednym z ważnych zadań była budowa układu przesyłowego ścieków z Warszawy lewobrzeżnej do oczyszczalni, położonej na prawym brzegu rzeki. Odpady technologiczne są unieszkodliwiane w Stacji Termicznej Utylizacji Osadów Ściekowych, zlokalizowanej na terenie oczyszczalni. Powstający podczas stabilizacji osadów biogaz jest wykorzystywany do produkcji energii cieplnej i elektrycznej. W założeniu wszystkie obiekty oczyszczania wstępnego oraz gospodarki osadowej są całkowicie zhermetyzowane, a powietrze odciągane z obiektów technologicznych jest neutralizowane w systemie chemicznego oczyszczania powietrza; jednak podczas wizji lokalnej stwierdzono występowanie niewielkich uciążliwości zapachowych.



Fot. 10. Infrastruktura techniczna – oczyszczalnia ścieków Czajka (fot. A. Affek)

3. USŁUGI EKOSYSTEMÓW ZURBANIZOWANYCH ISTOTNYCH DLA JAKOŚCI ŻYCIA SPOŁECZNOŚCI LOKALNYCH NA PRZYKŁADZIE WARSZAWY

3.1. Zachowanie miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami

Świadczenie określone jako „Zachowanie miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami” jest szczegółowym, dopasowanym do typu obiektu przestrzennego i skali analizy, ujęciem ogólnego świadczenia, znanego z CICES V5.1 jako „Utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej)” (tab. 3). Polega ono na zapewnieniu warunków do trwałego występowania i rozrodu populacji gatunków, przy zachowaniu odpowiedniego poziomu ich zróżnicowania genetycznego. Przedmiotem pomiaru jest obecność i rozmieszczenie potencjalnych miejsc występowania i rozmnażania rodzimych gatunków w półnaturalnych, przekształconych i komponowanych układach ekologicznych miasta, a na złożony wskaźnik potencjału tej usługi składają się miary kompozycji i konfiguracji roślinności wysokiej oraz oceny charakteru roślinności niskiej.

Tabela 3. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika końcowego i wskaźników cząstkowych

Świadczenie ekosystemowe		Zachowanie miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami
CICES 5.1	Sekcja	Regulacja i utrzymanie
	Dział	Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych
	Grupa	Utrzymanie cykli życiowych, ochrona siedlisk i puli genowej
	Klasa	Utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej)
	Kod	2.2.2.3
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Przydatność roślinności dla zachowania miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami
Wskaźnik		Kompozycja (skład i stosunki ilościowe) roślinności wysokiej oraz struktura przestrzenna wybranych elementów składowych roślinności niskiej Wskaźnik złożony, określany jako suma rang następujących wskaźników cząstkowych: (a) walory biocenotyczne warstwy zielnej (b) połączenie roślinności drzewiastej z otoczeniem drzewiastym/leśnym (c) rola barier wewnętrznych (d) drzewa powyżej 10 m wysokości (liczba ha ⁻¹) (e) naturalność składu gatunkowego drzewostanu (f) powierzchnia rzutu koron największej zwartej grupy drzew (procent powierzchni odniesienia)

Akronimy	ROŚLINNOŚĆ (a) ZIELNA (b) OTOCZENIE (c) BARIERY (d) DRZEWA10m (e) NATURALNOŚĆ (f) KORONY	
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie	Potencjał	
Konstrukcja wskaźnika	Szczegółowy opis konstrukcji wskaźnika w dziale „Metodyka uzyskania wyników”	
Pośredni/bezpośredni	Pośredni	
Prosty/złożony	Złożony	
Wyliczony/oszacowany	a, b – oszacowany; c-f – wyliczony	
Skala pomiaru	a, b – porządkowa; c-f – ilorazowa. Wartości wskaźników cząstkowych przekształcone na rangi	
Teoretyczny zakres wartości	-	
Jednostka miary	-	
Jednostka przestrzenna odniesienia	Strefy morfologiczne Warszawy	
Odniesienie do poziomu planowania	Lokalne	
Dane źródłowe	Opis danych	(a) 1. wizja terenowa, 2. Imperviousness Density 2018 (b) 1. wizja terenowa, 2. BDOT10k (c) 1. BDOT10k, 2. Imperviousness Density 2018 (d) – (f) Mapa Zasięgu Koron Drzew dla Warszawy
	Dysponent danych	(b2, c1) GUGiK (a2, c2) Europejska Agencja Środowiska (EEA) (d) – (f) Urząd m.st. Warszawy, Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego
	Link do bazy danych	(b2, c1) https://www.geoportal.gov.pl/dane/baza-danych-obiektow-topograficznych-bdot (a2, c2) https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolutionlayers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018 (d) – (f) https://mapa.um.warszawa.pl/mapaApp1/mapa?service=zielen
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	(a2, c2) Komórka rastra 10 × 10 m (c1), (d) – (f) poligon na mapie (min. 1 m ²)
	Format danych	(a2, c2) rastrowe (GeoTIFF); (c1), (d) – (f) wektorowe (shapefile)
	Pokrycie kraju	BDOT10k – cały kraj, pozostałe – Warszawa
	Aktualność danych	2021
	Dostępność danych	(a) – (c) Dane ogólnodostępne; (d) – (f) na wniosek do Urzędu m.st. Warszawy, nieodpłatne

Założenia teoretyczne

Ogólnie ujęte świadczenie „Utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej)” wzbudza kontrowersję, bowiem różni autorzy odnoszą to świadczenie do różnych skal przestrzennych, odmiennie definiowanych ekosystemów oraz

różnych grup organizmów (Solon i in., 2017; Affek i in., 2020). W zależności od ujęcia, zakres przedmiotowy może dotyczyć siedlisk niezbędnych dla: (a) wszystkich procesów życiowych wszystkich gatunków, (b) funkcji reprodukcyjnych i wychowywania młodych, ale tylko dla gatunków dostarczających usług zaopatrzeniowych, (c) rozrodu i ostoji migracyjnych wszystkich gatunków. W obrębie miast wykształcają się układy ekologiczne, które z trudem można uznać za dobrze zdefiniowane ekosystemy¹¹. Niemniej jednak układy takie pełnią wiele funkcji, identycznych do funkcji pełnionych przez ekosystemy zlokalizowane poza miastem, choć najczęściej w postaci zmodyfikowanej lub o mniejszej wydajności.

Na potrzeby niniejszego opracowania zakres merytoryczny usługi "Zachowanie miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami" obejmuje dwie główne składowe: (a) wartość siedliskowa, czyli utrzymanie miejsc rozrodu i żerowania dla gatunków roślin i zwierząt, których optimum występowania znajduje się poza obszarami zurbanizowanymi; (b) wartość korytarzowa, czyli utrzymanie możliwości przemieszczania się tych organizmów w obrębie i poprzez przyjęte przestrzenne jednostki podstawowe.

Metodyka uzyskania wyników

Przydatność roślinności dla zachowania miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami (ROŚLINNOŚĆ) jest wskaźnikiem złożonym z 6 wskaźników częściowych (tab. 3).

(a) **Walory biocenotyczne warstwy zielnej (ZIELNA)** – stopień pokrycia i pośrednio bogactwo gatunkowe roślinności zielnej. Jest to wskaźnik obfitości występowania i jakości mikrosiedlisk odpowiednich dla drobnych kręgowców oraz znacznej liczby gatunków bezkręgowców. Dane o dominującym rodzaju roślinności zielnej pochodzą z obserwacji terenowej, a dane o gruntach nieprzepuszczalnych z warstwy Imperviousness Density (Copernicus). Udział gruntów nieprzepuszczalnych wyliczono jako średnią ze wszystkich komórek w danej przestrzennej jednostce odniesienia za pomocą funkcji *Zonal Statistics as Table* (ArcGIS 10.2). Wartość rangową wskaźnika ZIELNA określono dla każdej analizowanej jednostki przestrzennej (tab. 4).

Tabela 4. Określanie walorów biocenotycznych warstwy zielnej

		Walory biocenotyczne warstwy zielnej			
Rodzaj roślinności zielnej	trawniki kultywowane	średnie (3)		niskie (2)	minimalne (1)
	ruderalna i ruderalno-ogródkowa				
	leśna zdegradowana	wysokie (4)			
	leśna półnaturalna				
		0-25	25-50	50-75	75-100

¹¹ Mimo powszechnie spotykanych sformułowań typu „miasto jako ekosystem”, „ekosystem miasta” czy „ekosystemy miejskie” takie układy nie spełniają podstawowych kryteriów, wynikających z definicji ekosystemu jako kompleksu biotopu i biocenozy, ze wszystkimi niezbędnymi mechanizmami regulacyjnymi (por. Odum, 1982; Richling i Solon, 2011).

(b) Połączenie roślinności drzewiastej z otoczeniem drzewiastym/leśnym (OTOCZENIE)

– funkcja łącznikowo/barierowa analizowanego obszaru w stosunku do terenów otaczających. Na podstawie analizy zdjęcia lotniczego, BDOT10k i wizji terenowej określono dominujący typ roślinności na terenach przylegających do analizowanych jednostek przestrzennych i zinterpretowano ciągłość lub sposób przenikania się rodzajów pokrywy roślinnej, a następnie określono rangowe stopnie połączenia roślinności drzewiastej z otoczeniem. Przyjęto następujące wartości: pełna łączność z otoczeniem drzewiastym (5); połączenia dwustronne dobre lub z barierą (4); połączenia słabe kilkukierunkowe (3); połączenia jednostronne słabe lub fragmentaryczne (2); brak połączeń z otoczeniem drzewiastym (1).

(c) Rola barier wewnętrznych (BARIERY) – możliwość przemieszczania się po powierzchni ziemi drobnych i średnich kręgowców. Za bariery wewnętrzne przyjęto trwałe ogrodzenia, określone w BDOT10k symbolem BUIB02, oraz powierzchnię gruntów nieprzepuszczalnych. Wartość rangową wskaźnika BARIERY określono dla każdej analizowanej jednostki przestrzennej (Tabela 5).

Tabela 5. Określanie roli barier wewnętrznych

		Bariery			
Ogrodzenia trwałe (m ha ⁻¹)	>200			bardzo silne (1)	
	100-200	średnie (3)		silne (2)	
	50-100	słabe (4)			
	0-50	brak (5)			
		0-25	25-50	50-75	
		grunty nieprzepuszczalne (%)			

(d) Drzewa powyżej 10 m wysokości (liczba ha⁻¹) (DRZEWA10m) – wielkość i jakość obszaru dla gatunków preferujących siedliska leśne i zadrzewione, co stanowi jedną z głównych składowych potencjału roślinności dla zachowania miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami. Za wartość wskaźnika przyjęto liczbę drzew (>10 m wysokości, niezależnie od gatunku) dla danego poligonu badawczego, podzieloną przez powierzchnię tego poligonu. Graniczna wartość 10 m została wyznaczona arbitralnie, bowiem powyżej tej wysokości drzewa mają dobrze wykształcony pień i koronę. Wartość rangową tego wskaźnika przyjęto według następującej skali: poniżej 16 drzew/ha – 1; 16-40 – 2; 40-80 – 3; 80-120 – 4; powyżej 120 – 5.

(e) Naturalność składu gatunkowego drzewostanu (NATURALNOŚĆ) – miernik warunków do rozwoju ilościowego populacji określonych grup organizmów. Wskaźnik określono jako udział (w liczbie) drzew gatunków dzikorosnących rodzimych o wysokości powyżej 10 m w ogólnej liczbie drzew o wysokości powyżej 10 m na danym poligonie. Za

dzikorosnące gatunki rodzime uznano: *Acer campestre*, *A. platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Alnus* sp., *Betula* sp., *Carpinus betulus*, *Corylus* sp., *Crataegus* sp., *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Larix* sp., *Picea* sp., *Pinus sylvestris*, *Populus alba*, *P. nigra*, *P. tremula*, *Quercus petraea*, *Q. robur*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia*, *Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *Ulmus* sp. W kontekście wykorzystania mapy Zasięgu Koron Drzew dla Warszawy należy zaznaczyć, że wartości wskaźników dla niektórych poligonów mogą być zawyżone, co ma związek m.in. z trudnością w rozróżnieniu między *Fraxinus excelsior* a *F. pennsylvanica* oraz łącznym ujęciem różnych gatunków świerka, z których znaczna część to gatunki obce. Wartość rangową tego wskaźnika przyjęto według następującej skali: poniżej 0,5 – 1; 0,51-0,6 – 2; 0,61-0,66 – 3; 0,67-0,9 – 4; powyżej 0,9 – 5.

(f) Powierzchnia rzutu koron największej zwartej grupy drzew (procent powierzchni odniesienia) (KORONY) – możliwość przemieszczania się poprzez korony oraz wielkość powierzchni zacienionej pod drzewami, jako warunek występowania gatunków cienioznośnych i ceniolubnych. Wartość wskaźnika określono na podstawie mapy koron drzew, dla której zastosowano polecenie *dissolve* w ArcGis 10.2. Wartość rangową tego wskaźnika przyjęto według następującej skali: poniżej 1% powierzchni – 1; 1-3% – 2; 3-5% – 3; 5-10% – 4; powyżej 50% – 5.

Wskaźnik sumaryczny **Przydatność roślinności dla zachowania miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami (ROŚLINNOŚĆ)** oblicza się jako zaokrągloną w górę do najbliższej liczby całkowitej średnią arytmetyczną sześciu wskaźników cząstkowych.

Wartości wskaźników

W tabeli 6 przedstawiono wartości wskaźników charakteryzujących potencjał zachowania miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami w odniesieniu do poszczególnych poligonów badawczych.

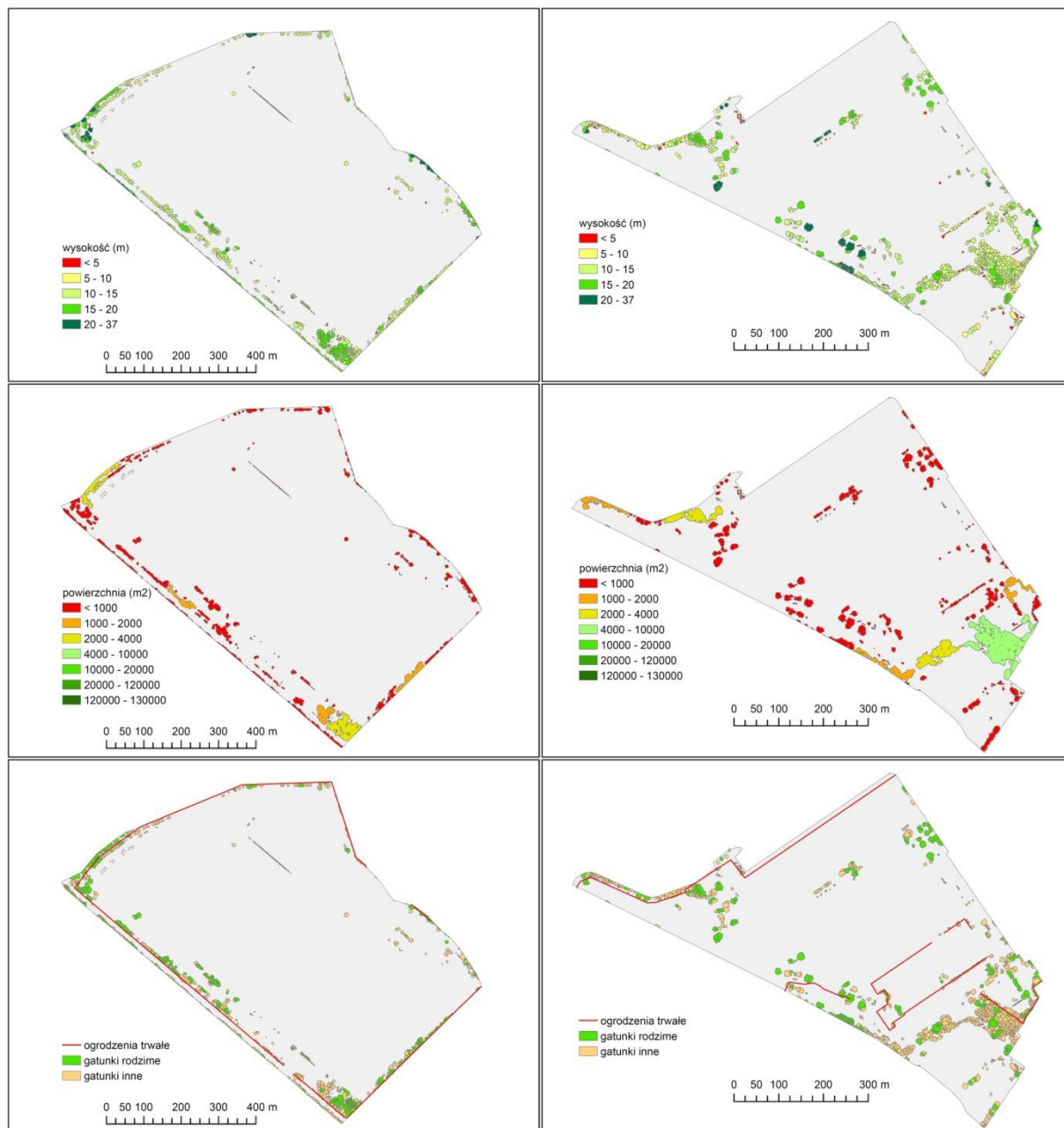
Tabela 6. Wartości rzeczywiste i rangowe wskaźników cząstkowych, składających się na wskaźnik świadczenia "Zachowanie miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami"

	Obiekt	Czajka oczyszczalnia	Żerań elektrociepłownia	Śródmieście Północne	Nowa Praga	Bemowo- Lotnisko	Chomiczówka	Zacisze	Anin	Park Górczewska	Park Praski
	Typ	infrastruktura techniczna	infrastruktura techniczna	zabudowa kamienicowa	zabudowa kamienicowa	osiedle modernistyczne	osiedle modernistyczne	zabudowa jednorodzinna	zabudowa jednorodzinna	park miejski	park miejski
Wartości rzeczywiste	powierzchnia (ha)	53,62	32,53	10,99	6,14	17,93	21,98	30,35	21,54	21,36	17,57
	grunty nieprzepuszczalne (%)	59,48	56,28	90,62	56,58	49,96	22,3	44,84	9,52	6,1	1,85
	rodzaj roślinności zielnej	trawniki kultywowane	ruderalna	ślady	ruderalna	trawniki kultywowane	trawniki kultywowane	ruderalno- ogródkowa	leśna półnaturalna	trawniki kultywowane	leśna zdegradowana
	OTOCZENIE	jednostronne fragmentaryczne	jednostronne fragmentaryczne	brak	słabe	słabe	dwustronne dobre	słabe	pełna łączność z otoczeniem	jednostronne słabe	dwustronne z barierą
	ogrodzenia trwałe (m ha ⁻¹)	46,9	60,1	1,3	46,1	59,4	77,5	313,1	174,3	29,6	7,4
	DRZEWA10m	10,85	17,15	6,37	24,41	18,18	45,46	18,65	134,01	37,35	82,87
	NATURALNOŚĆ	0,57	0,44	0,61	0,31	0,61	0,56	0,51	0,96	0,67	0,69
	KORONY	0,62	2,54	0,47	2,08	0,96	5,64	0,85	59,75	3,58	70,49
Wartości rangowe	ZIELNA	2	2	1	2	3	3	3	5	3	4
	OTOCZENIE	2	2	1	3	3	4	3	5	2	4
	BARIERY	2	2	1	2	3	4	2	3	5	5
	DRZEWA10m	1	2	1	2	2	3	2	5	2	4
	NATURALNOŚĆ	2	1	3	1	3	2	2	5	4	4
	KORONY	1	2	1	2	1	4	1	5	3	5
Suma rang		10	11	8	12	15	20	13	28	19	26
Ranga końcowa		bardzo niska	bardzo niska	bardzo niska	bardzo niska	niska	wysoka	niska	bardzo wysoka	wysoka	bardzo wysoka
		2	2	2	2	3	4	3	5	4	5

Poniżej omówiono potencjał dla spełniania omawianej usługi ekosystemowej przez poszczególne typy stref morfologicznych i obszarów o innych funkcjach.

Tereny infrastruktury technicznej: Czajka (oczyszczalnia) i Żerań (elektrociepłownia)

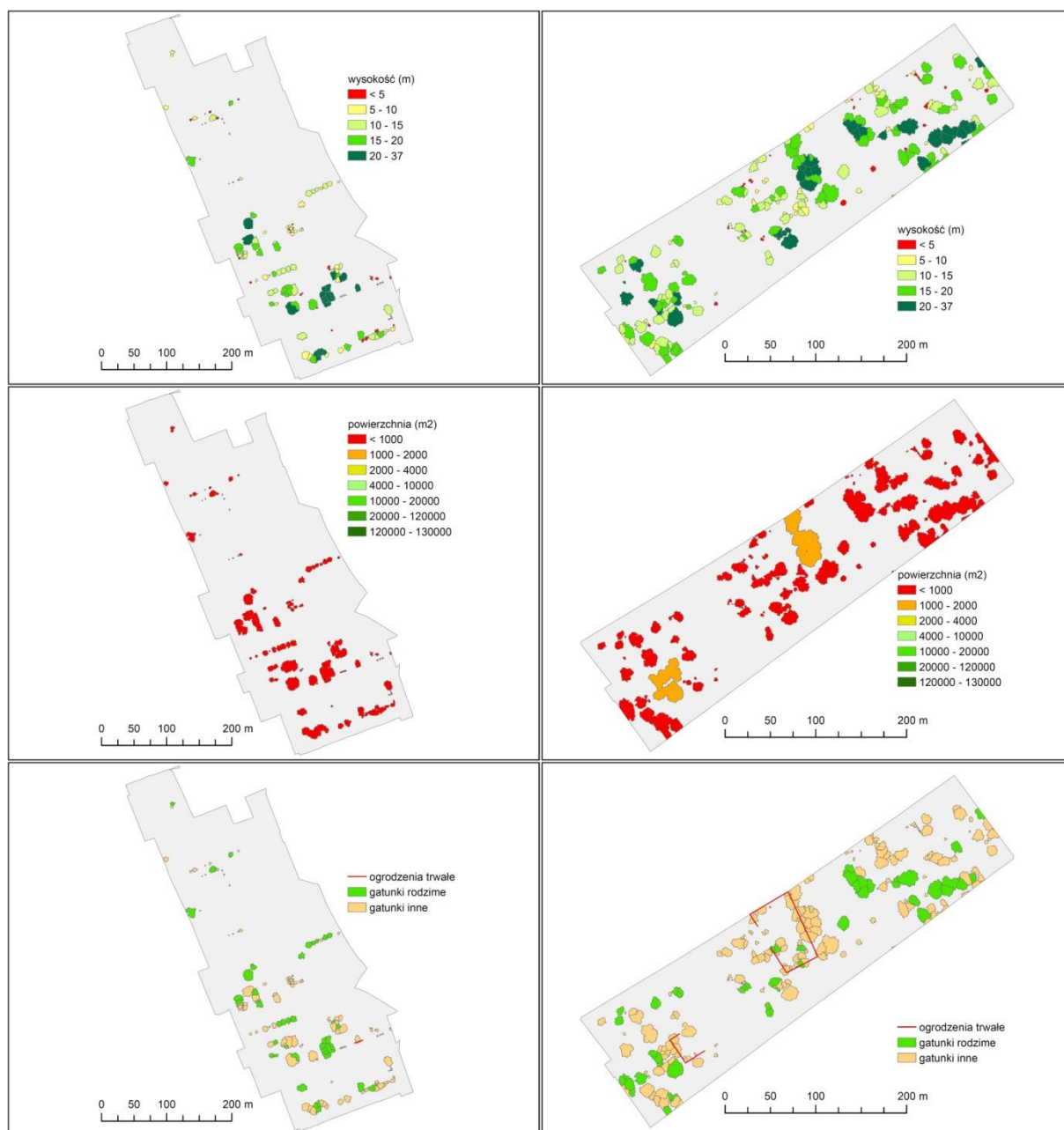
Oba obszary charakteryzują się bardzo niskim potencjałem omawianego świadczenia, co wynika przede wszystkim z małego zagęszczenia drzew, występujących głównie przy obrzeżach terenu. Niewielkie kępy drzew mają powierzchnię rzutu koron w większości poniżej 1000 m², przy maksymalnej powierzchni odpowiednio nieco ponad 3300 m² (Czajka) i 8200 m² (Żerań), co daje odpowiednio 0,62% i 2,54% powierzchni terenu (tab. 6 i ryc. 16).



Ryc. 16. Wybrane charakterystyki wpływające na wielkość potencjału świadczenia ekosystemowego: wiersz górny – rozmieszczenie drzew z różnych klas wysokości; wiersz środkowy – wielkość powierzchni rzutu koron kęp drzew; wiersz dolny – rozmieszczenie drzew rodzimych i obcego pochodzenia oraz występowanie ogrodzeń trwałych. Kolumna lewa – Czajka (oczyszczalnia), kolumna prawa – Żerań (elektrociepłownia)

Zabudowa kamienicowa: Śródmieście Północne i Nowa Praga

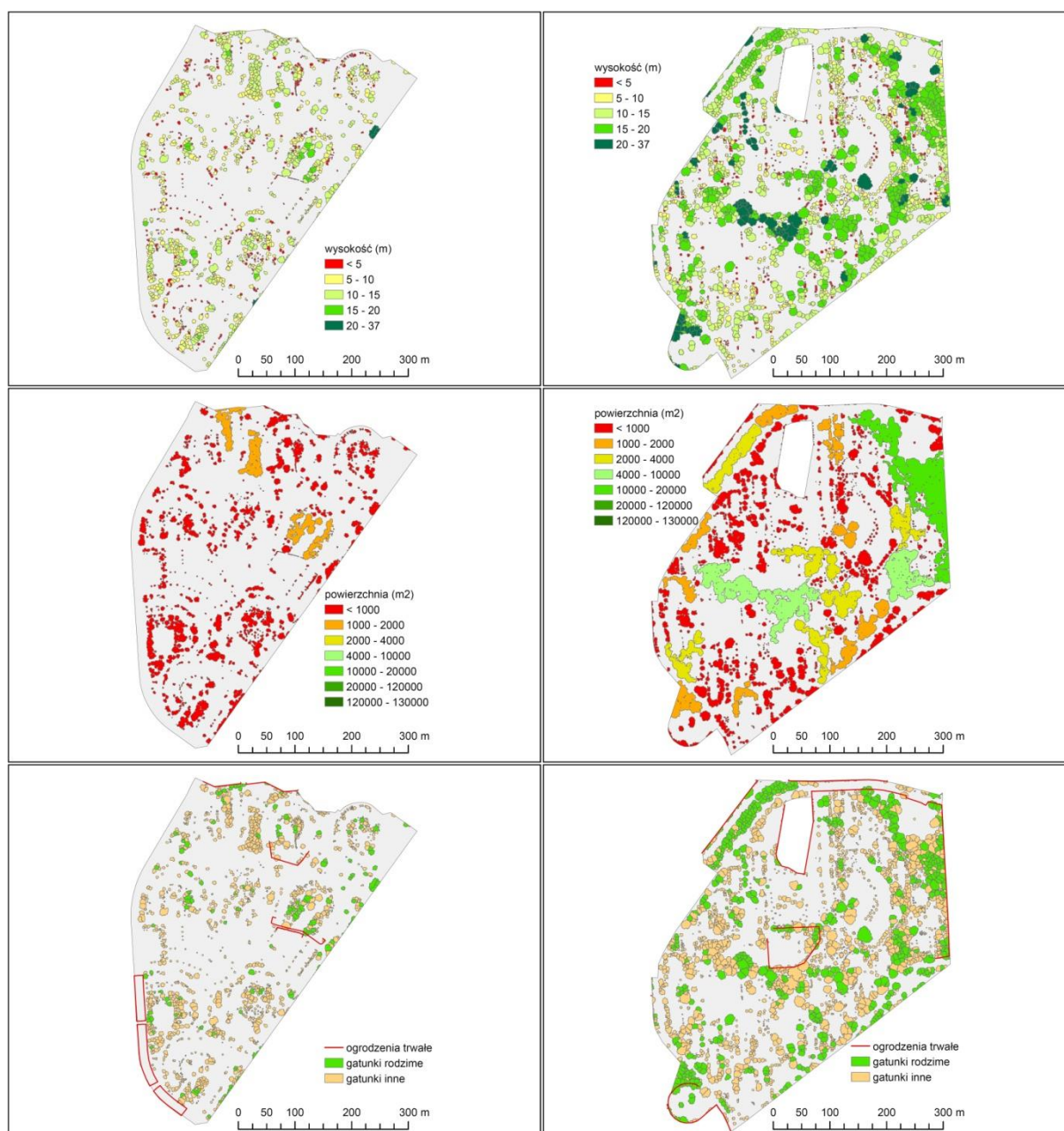
Oba obszary charakteryzują się bardzo niskim potencjałem omawianego świadczenia, przy czym Śródmieście wyróżnia się najsłabiej wykształconą warstwą zielną, najniższym zagęszczeniem drzew o wysokości powyżej 10 m oraz relatywnie najsłabiej stykającymi się koronami drzew (wskaźnik KORONY wynosi 520 m², czyli 0,47% całej powierzchni). Nieco lepsze wskaźniki charakteryzują obszar Nowa Praga, choć wskaźnik naturalności drzewostanu przybiera wartość najniższą (tab. 6 i ryc. 17).



Ryc. 17. Wybrane charakterystyki wpływające na wielkość potencjału świadczenia ekosystemowego: wiersz górny – rozmieszczenie drzew z różnych klas wysokości; wiersz środkowy – wielkość powierzchni rzutu koron kęp drzew; wiersz dolny – rozmieszczenie drzew rodzimych i obcego pochodzenia oraz występowanie ogrodzeń trwałych. Kolumna lewa – Śródmieście Północne, kolumna prawa – Nowa Praga

Osiedla modernistyczne: Bemowo-Lotnisko i Chomiczówka

Analizowane wielkoskalowe osiedla modernistyczne różnią się dość wyraźnie pod względem potencjału analizowanego świadczenia, od niskiego (ranga 3) na Bemowie do wysokiego (4) na Chomiczówce. Choć ogólne zagęszczenie drzew jest na obu obszarach zbliżone (83 na Bemowie i ponad 99 ha^{-1} na Chomiczówce) to zagęszczenie drzew ważnych biocenotycznie, czyli o wysokości ponad 10 m jest wyraźnie odmienne (odpowiednio 18,2 i 45,5 ha^{-1}). Konsekwencją różnic w wysokościach drzew jest m.in. odmiennność wskaźnika KORONY, który jest prawie sześciokrotnie wyższy na Chomiczówce (tab. 6 i ryc. 18).



Ryc. 18. Wybrane charakterystyki wpływające na wielkość potencjału świadczenia ekosystemowego: wiersz górny – rozmieszczenie drzew z różnych klas wysokości; wiersz środkowy – wielkość powierzchni rzutu koron kęp drzew; wiersz dolny – rozmieszczenie drzew rodzimych i obcego pochodzenia oraz występowanie ogrodzeń trwałych. Kolumna lewa – Bemowo-Lotnisko, kolumna prawa – Chomiczówka

Zabudowa jednorodzinna: Zacisze i Anin

Oba obszary, choć reprezentują ten sam typ morfologiczny, różnią się silnie pod względem potencjału omawianego świadczenia. Zacisze charakteryzuje się niskim (ranga 3) potencjałem, a Anin – bardzo wysokim (5). Jedną z niewielu cech wspólnie odróżniających ten typ od innych analizowanych typów morfologicznych, jest wysoka gęstość ogrodzeń, z czego większość to ogrodzenia trwałe. Choć ogólne zagęszczenie drzew jest na obu obszarach zbliżone (113 na Zaciszu i 173 ha^{-1} w Aninie) to zagęszczenie drzew ważnych biocenotycznie, czyli o wysokości ponad 10 m jest wyraźnie odmienne (odpowiednio 19 i 134 ha^{-1}).

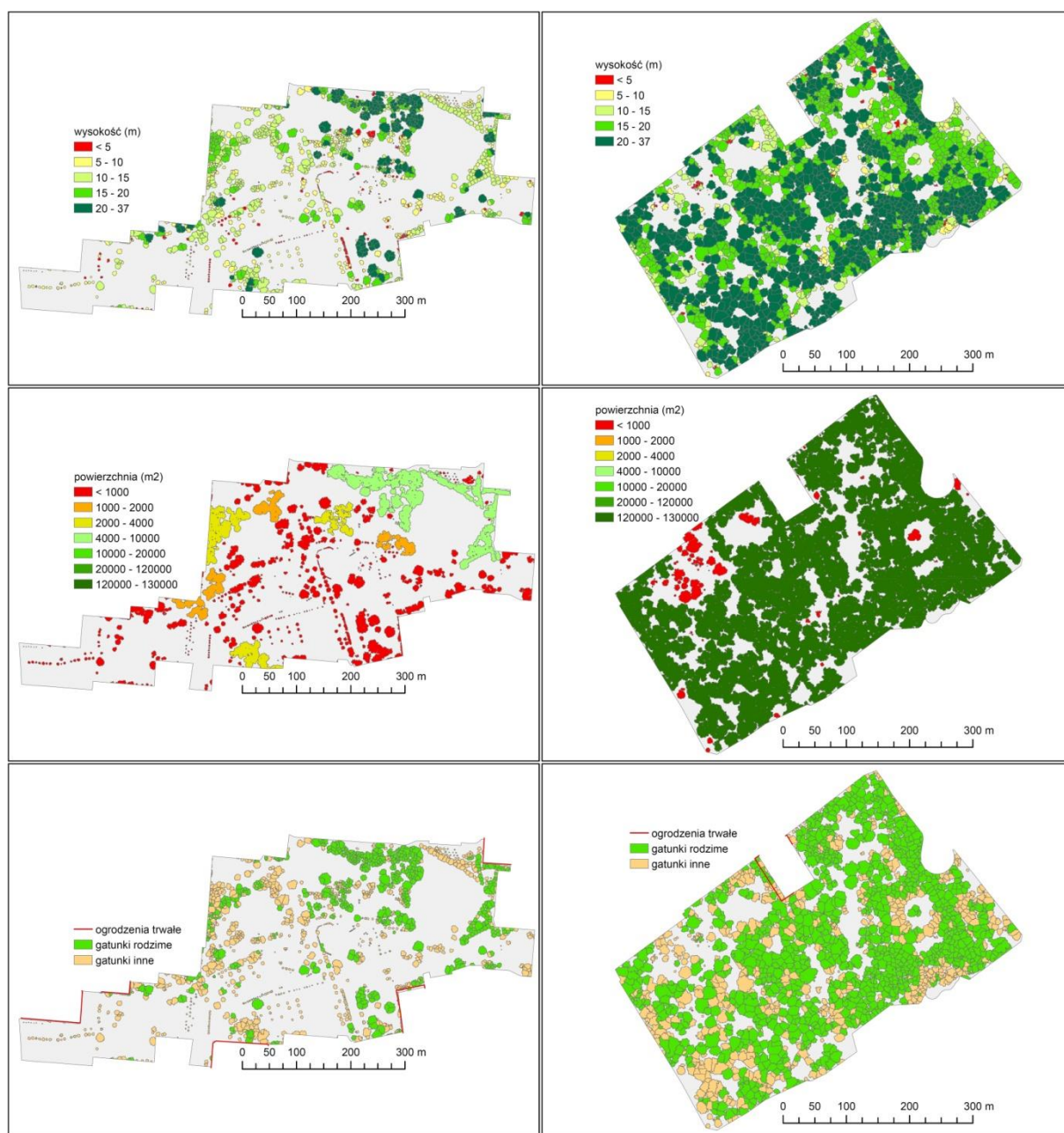


Ryc. 19. Wybrane charakterystyki wpływające na wielkość potencjału świadczenia ekosystemowego: wiersz górny – rozmieszczenie drzew z różnych klas wysokości; wiersz środkowy – wielkość powierzchni rzutu koron

kęp drzew; wiersz dolny – rozmieszczenie drzew rodzimych i obcego pochodzenia oraz występowanie ogrodzeń trwałych. Kolumna lewa – Zacisze, kolumna prawa – Anin

Tereny parków miejskich: Park Górczewska i Park Praski

Tereny zieleni urządzonej charakteryzują się wysokim (Park Górczewska – ranga 4) lub bardzo wysokim (Park Praski – ranga 5) potencjałem świadczenia „Zachowanie miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami”. Cechą wyróżniającą w stosunku do pozostałych analizowanych obszarów jest minimalny udział barier wewnętrznych, wynikających z niskiego udziału powierzchni nieprzepuszczalnych i małego zagęszczenia ogrodzeń trwałych. Pozostałe wskaźniki cząstkowe mogą być stosunkowo zmienne, np. DRZEWA10m, mający wartość od 37,4 dla Parku Górczewska (niższy niż w niektórych osiedlach mieszkaniowych) do 82,9 w Parku Praskim (tab. 6 i ryc. 20).



Ryc. 20. Wybrane charakterystyki wpływające na wielkość potencjału świadczenia ekosystemowego: wiersz górny – rozmieszczenie drzew z różnych klas wysokości; wiersz środkowy – wielkość powierzchni rzutu koron kęp drzew; wiersz dolny – rozmieszczenie drzew rodzimych i obcego pochodzenia oraz występowanie ogrodzeń trwałych. Kolumna lewa – Park Górczewska, kolumna prawa – Park Praski

Uwagi dotyczące przeprowadzonej analizy

1. W powyższej analizie odniesiono się jedynie do wybranych typów morfologicznych, wyróżnionych na obszarze Warszawy, do których zastosowano podział na przedziały klasowe wartości wskaźników cząstkowych, odpowiadające przyjętym rangom. Wydaje się jednak, że uwzględnienie innych typów obszarów, w tym z roślinnością siedlisk wilgotnych i mokrych mogłoby wskazać na istnienie terenów o jeszcze wyższym potencjale, niż wskazany w przykładach.

2. Zróżnicowanie występowania terenów nieprzepuszczalnych i terenów z roślinnością drzewiastą w obrębie tego samego obszaru powoduje, że mogą one reprezentować 2-3 klasy potencjału. Niemniej jednak obserwuje się ogólną i dość oczywistą prawidłowość, że najniższym potencjałem charakteryzują się tereny przemysłowe i stara, zwarta zabudowa kamienicowa. Nieco wyższy, ale zróżnicowany charakter mają modernistyczne osiedla mieszkaniowe z zabudową wysoką, przy czym im osiedle jest starsze, tym częściej charakteryzuje się wyższym potencjałem w porównaniu do osiedli młodszych. Bardzo zróżnicowany charakter mają osiedla miejskiej zabudowy jednorodzinnej. Najniższy potencjał mają nowe osiedla budowane na dawnych ziemiach ornych, natomiast wysoki (a nawet bardzo wysoki w przyjętej skali analizy) – osiedla o charakterze leśnym. Najwyższym potencjałem cechują się obszary parków, przy czym nie dotyczy to parków stosunkowo nowych, z dużym udziałem terenów otwartych.

3. Poza omówionymi w tekście analizami dodatkowo wykonano pilotową analizę powiązań między występowaniem drzew a liczbą gatunków ptaków gniazdujących, wykorzystując dane z opracowania Luniaka i in. (2001). Odniesiono się jedynie do 8 powierzchni (bez Czajki i Żerania), które dobrze mieszczą się w polach odniesienia, stosowanych w inwentaryzacji ptaków. Okazało się, że występuje silna i istotna statystycznie ($p < 0,01$) korelacja liczby gatunków ptaków gniazdujących z pokryciem drzewami (ogólne pokrycie koronami drzew – 0,917, liczba drzew powyżej 10 m wysokości – 0,882). Natomiast nie wykryto istotnych związków korelacyjnych między naturalnością drzewostanu a liczbą gatunków. Prawdopodobnie im wyższa naturalność drzewostanu, tym wyższe zagęszczenie par ptaków gniazdujących, ale niestety ich liczba była określana tylko dla części gatunków i wykonanie obliczeń nie było możliwe. Chociaż ptaki zapewniają realizację wielu ważnych świadczeń ekosystemowych, być może ich najważniejszą rolą dla mieszkańców miasta jest funkcja wiarygodnego łącznika z szerszym, przyrodniczym otoczeniem (Belaire i in., 2015). Ogólnie można więc przyjąć, że wskaźniki opisujące potencjał świadczeń biocenotycznych, bazujące na obecności gatunków drzewiastych, mogą w sposób pośredni i przybliżony określać również świadczenia kulturowe pełnione przez ptaki, związane z ich funkcją estetyczną, relaksującą (widok i śpiew), czy edukacyjną (uczenie dzieci, samodzielna obserwacja - ang. *birdwatching*) (Belaire i in., 2015).

4. Jak wynika z licznych obserwacji, przy dużym udziale powierzchniowym (>50%) obszarów naturalnych podział na odrębne płaty nie zmienia zasadniczo funkcji siedliskowych, natomiast przy niskim udziale (np. <10%) rola środowiskotwórcza jest tym większa, im większy jest pojedynczy płat (Crouzeilles i in., 2014). Wydaje się, że identyczna zależność dotyczy nie tylko ekosystemów o charakterze naturalnym i półnaturalnym, ale również zgrupowań drzew na obszarach miejskich.

5. Dodatkowo należy wspomnieć, że komfort psychiczny mieszkańców miasta jest większy, gdy w ich bliskim otoczeniu występuje kilka-kilkanaście niewielkich obszarów zielonych, niż jeden duży, ale położony nieco dalej (Ha i in., 2022).

6. Pokrycie roślinnością drzewiastą jako pojedyncza miara, może być dobrym, ale przybliżonym wskaźnikiem całego zestawu świadczeń ekosystemowych dla obszaru miasta i jego części. Bardziej szczegółowe opracowania, zwracające uwagę na wężziej ujęte świadczenia ekosystemowe powinny jednak uwzględniać zestaw dopełniających się wskaźników, które dopiero łącznie mówią o potencjale do zachowania miejsc rozrodu i łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami, a pośrednio określają także niektóre funkcje kulturowe.

3.2. Łagodzenie uciążliwości pochodzenia antropogenicznego, w tym redukcja zapachu, tłumienie hałasu i kształtowanie widoku

Założenia teoretyczne

Grupa świadczeń ekosystemowych dotyczących łagodzenia uciążliwości pochodzenia antropogenicznego należy do sekcji Regulacja i Utrzymanie w klasyfikacji CICES V5.1 (tab. 7). W tej grupie mieszczą się 3 klasy usług: redukcja zapachu, tłumienie hałasu i kształtowanie widoku. Związane są one z rolą przesłonową roślinności, oddzielającą źródła uciążliwości pochodzenia antropogenicznego od miejsc regularnego przebywania ludzi (miejsc zamieszkania, pracy, przemieszczania się czy rekreacji). Usługi te polegają na wykorzystywaniu roślinności do redukcji nieprzyjemnych zapachów, hałasu i nieatrakcyjnego widoku, w efekcie ograniczając ich szkodliwe lub stresujące oddziaływanie na ludzi. Ma to szczególne znaczenie w miastach, gdzie z jednej strony mamy do czynienia z licznymi obiektami infrastruktury technicznej generującymi powyższe uciążliwości, a z drugiej strony z dużą liczbą ludzi bezpośrednio narażonych na ich negatywne oddziaływanie. Przedmiotem pomiaru jest wykorzystanie roślinności do łagodzenia uciążliwości generowanych przez obiekty miejskiej infrastruktury technicznej.

Liczne badania wykazały, że wystarczająco gęste pasy roślinności, w szczególności drzewiastej, są skutecznymi ekranami akustycznymi (Tyagi 2013, Zhao i in., 2021, Xu i in., 2022). Przy tym wyższe drzewa zapewniają większą powierzchnię pochłaniania i rozpraszania dźwięku (Fang i Ling, 2005). Wskazano ponadto, że redukcja hałasu postępuje wraz ze wzrostem całkowitej powierzchni koron i średniej wysokości środka korony (Zhao i in., 2021).

Do szacowania redukcji hałasu przez roślinność Xu i in. (2022) polecają wykorzystywanie indeksu liściowego LAI (*Leaf Area Index*) oraz miar struktury przestrzennej

roślinności wyliczonych na podstawie skanowania laserowego jako tych, które wyraźnie korelują ze zdolnością do tłumienia hałasu. Zalecają także szacowanie zdolności buforowych roślinności w tzw. kwadrantach, czyli polach podstawowych o stałej powierzchni. Ponadto rekomendują, aby posługiwać się zestawami wskaźników zamiast pojedynczymi miarami, aby uniknąć uproszczeń i fałszywych wniosków.

W innych pracach z kolei wykazano, że bufony roślinne (ang. *conservation buffers* lub *vegetative environmental buffers*) łagodzą nieprzyjemne zapachy (Tyndall i in., 2007; Lin i in., 2007). Wchodząc w interakcję z cząstkami stałymi, lotnymi związkami organicznymi i amoniakiem wzmacniają pionowe mieszanie atmosferyczne oraz filtrują zapachy przechwytyując i zatrzymując cząstki stałe. Bufory roślinne pozytywnie wpływają także na społeczno-psychologiczne reakcje na zapach przesłaniając źródła zapachu i wywołując zjawisko „poza zasięgiem wzroku, poza umysłem” (Tyndall i in., 2007). Przykładowo, badania prowadzone w Missouri wykazały, że bufony roślinne redukują koncentrację zapachów o 50% w buforze i o 66% w odległości 15 m z wiatrem za buforem (Parker i in., 2012). Autorzy konkludują, że trudno wskazać uniwersalne cechy optymalnego bufora, i że w praktyce niezbędna jest analiza indywidualna danego źródła nieprzyjemnego zapachu wraz z całym zestawem lokalnych zmiennych środowiskowych. Niemniej, odpowiednio dobrany bufor roślinny może służyć zarówno jako ekonomicznie opłacalny filtr zapachowy, jak i ekran wizualny.

Klasyczne badania Brusha i in. (1979) z kolei wykazały, że całkowite przesłanianie obiektu przez roślinność jest wysoce zależne od struktury roślinności i występuje przy pasie roślinności o szerokości od 10 metrów (roślinność krzewiasta na skraju lasu) do 130 m (jednowiekowy las wysokopienny z minimalnym podszytem) latem, a zimą odpowiednio od 35 do 150 m. Tymczasem Departament Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (USDA) opracował rekomendacje dotyczące konstrukcji buforów roślinnych do kilkudziesięciu różnych zastosowań, w tym do trzech rozpatrywanych w tym raporcie (tłumienie hałasu, redukcja odorów i kształtowanie widoku) (USDA, 2008). USDA do redukcji odorów zaleca bufor roślinny złożony z wysokich drzew i krzewów, w szczególności iglastych, o umiarkowanym zwarciu (50-65%), ściśle otaczający obiekt emitujący nieprzyjemne zapachy. W zależności od natężenia hałasu, USDA zaleca bufony o szerokości od 6 do 30 m gęstej roślinności. Z kolei do skutecznego przesłonięcia nieprzyjemnego widoku zalecane są bufony roślinne o szerokości 10 m w przypadku gęstej roślinności i 100 m w przypadku rzadkiej roślinności. Wskazuje się, że roślinność zrzucająca liście na zimę zapewnia o 40% słabsze przesłanianie zimą niż roślinność zimozielona.

Mając powyższe na względzie, do oszacowania wykorzystania roślinności do łagodzenia powyżej omawianych uciążliwości generowanych przez obiekty miejskiej infrastruktury technicznej zaproponowano dwie grupy wskaźników dostosowane do skali lokalnej: 1. wskaźniki o charakterze ogólnym bazujące na wyliczeniu średniej powierzchni liści przypadającej na metr kwadratowy bufora wokół obiektu, oraz 2. wskaźniki o charakterze szczegółowym odnoszące się do objętości i wysokości roślinności w buforze wokół obiektu. Uznano bowiem na podstawie przeglądu literatury, że te grupy wskaźników będą dobrym przybliżeniem wykorzystania roślinności zarówno do tłumienia hałasu, redukcji odoru, jak i kształtowania widoku i że można je rozpatrywać łącznie jako wiązkę świadczeń (*bundle*).

Tabela 7. Usługa ekosystemowa wg CICES V5.1 i metadane wskaźników

Świadczenie ekosystemowe		Łagodzenie uciążliwości pochodzenia antropogenicznego, w tym redukcja zapachu, tłumienie hałasu i kształtowanie widoku
CICES 5.1	Sekcja	Regulacja i utrzymanie
	Dział	Przekształcanie biochemicznych lub fizycznych czynników wprowadzanych do ekosystemów
	Grupa	Łagodzenie uciążliwości pochodzenia antropogenicznego
	Klasa	Redukcja zapachu Tłumienie hałasu Kształtowanie widoku
	Kod	2.1.2.1, 2.1.2.2, 2.1.2.3
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Wykorzystanie roślinności do łagodzenia uciążliwości generowanych przez obiekty miejskiej infrastruktury technicznej
Wskaźniki		1. Wskaźnik ogólny: Średnia powierzchnia liści w buforze wokół obiektu: a. latem, b. zimą, c. uśredniona 2. Wskaźniki szczegółowe: 2a. Średnia objętość roślinności w buforze wokół obiektu; 2b. Procent długości bufora z objętością roślinności sięgającą odpowiednio 1, 2, 5 i 10 m³ m⁻², 2c. Średnia maksymalna wysokość roślinności z segmentów bufora
Akronimy		1a. BUFOR1a; 1b. BUFOR1b; 1c. BUFOR1c; 2a. BUFOR2a 2b. BUFOR2b1, BUFOR2b2, BUFOR2b5, BUFOR2b10; 2c. BUFOR2c
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/ niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźników		Szczegółowy opis konstrukcji wskaźników w dziale „Metodyka uzyskania wyników”
Pośrednie/bezpośrednie		Pośrednie
Proste/złożone		Proste
Wyliczone/oszacowane		Wyliczone
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		1a, 1b, 1c: 0-8; 2a, 2c: 0-∞; 2b: 0-100
Jednostka miary		1a, 1b, 1c: m ² m ⁻² ; 2a, m ³ m ⁻² ; 2c: m; 2b: %
Jednostka przestrzenna odniesienia		Bufor wokół obiektu o szerokości 60 m
Odniesienie do poziomu planowania		Lokalne
Dane źródłowe	Opis danych	1. Warstwa z obiektami infrastruktury technicznej (wszystkie wskaźniki), 2. Warstwa Leaf Area Index (LAI) (wskaźniki 1a, 1b, 1c), 3. Dane pomiarowe LIDAR z lotniczego skanowania laserowego (wskaźniki 2a, 2b, 2c)
	Dysponent danych	1. Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m.st. Warszawy, 2. Europejska Agencja Środowiska (EEA), 3. Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK)
	Link do bazy danych	1. brak ; 2. www.wekeo.eu ; 3. www.geoportal.gov.pl
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	1. 1:25 000; 2. komórka rastra 10 × 10 m; gęstość punktów 12 m ⁻²
	Format danych	1. shapefile, 2. GeoTIFF, 3. LAS skompresowany do formatu LAZ
	Pokrycie kraju	1. Warszawa; 2. i 3. Cały kraj
	Aktualność danych	1. 2022; 2. 2018; 3. 2018
	Dostępność danych	1. na zamówienie, bezpłatne; 2. i 3. ogólnodostępne, bezpłatne

Metodyka uzyskania wyników

Do szacowania wykorzystania roślinności do przesłaniania obiektów infrastruktury technicznej w skali lokalnej wyznaczono bufor wokół obiektów i w obrębie tego bufora sprawdzano obecność roślinności i mierzono jej charakterystyki związane z ograniczaniem rozważanych uciążliwości. Bufor miał 60 m szerokości, przy czym osią bufora była granica obiektu. W ten sposób w obrębie bufora mogła się znaleźć zarówno roślinność wprowadzona i utrzymywana przez zarządcę obiektu, jak i zarządców przestrzeni w najbliższym otoczeniu obiektu. Opracowano dwie grupy wskaźników: 1. wskaźniki ogólne, w założeniu prostsze i szybsze do wyliczenia przeznaczone do monitoringu i porównań, oraz 2. wskaźniki szczegółowe pozwalające na pogłębioną analizę zdolności buforowych, ale wymagające bardziej zaawansowanych przetworzeń materiałów źródłowych.

Wskaźnikiem ogólnym była uśredniona z całej powierzchni bufora wartość indeksu liściowego LAI, czyli stosunku powierzchni liści do powierzchni gruntu. Przyjęto bowiem, że im większa jest powierzchnia liści na m^2 gruntu w buforze, tym większa jest rola obecnej w buforze roślinności w zakresie tłumienia hałasu oraz redukcji odorów i kształtowania widoku (przesłaniania) (Xu i in., 2022). Należy jednak mieć na uwadze, że indeks liściowy uwzględnia jedynie powierzchnię fotosyntetycznie czynną roślin, czyli zieloną (liście, igły, łodygi), więc jako wskaźnik przesłaniania nie oddaje roli przesłonowej niezielonych części roślin (zdrewniałych łodyg, kwiatów).

Wartości indeksu liściowego pochodzą z warstwy rastrowej o rozdzielczości 10 m opracowanej w ramach europejskiego programu obserwacji Ziemi *Copernicus* na podstawie obrazowań satelitarnych pozyskanych przez satelity misji Sentinel-2 (EEA, 2022). Aby uwzględnić zmieniającą się zdolność redukcji rozpatrywanych uciążliwości przez roślinność na przestrzeni całego roku, wskaźnik wyliczono zarówno dla szczytu sezonu wegetacyjnego (1.07.2022), jak i dla okresu zimowego (13.03.2022), a także obliczono średnią z tych dwóch pomiarów.

Wskaźniki szczegółowe odnoszą się do przestrzennych charakterystyk roślinności i zostały policzone dla każdego pięciometrowego segmentu bufora otaczającego obiekt infrastruktury technicznej. Taki podział bufora umożliwia określenie poziomu przesłaniania w każdym segmencie niezależnie i w efekcie daje możliwość wytypowania odcinków czy kierunków, które nie są wystarczająco przesłaniane. Ponadto, wyliczono średnie z segmentów, które stanowią syntetyczną charakterystykę danego obiektu. Pierwszym wskaźnikiem szczegółowym jest objętość roślinności przypadająca na jednostkę powierzchni bufora, co sprowadzić można przy przyjętej metodzie liczenia objętości do średniej wysokości osiągniętej przez roślinność.

Druga podgrupa wskaźników szczegółowych wskazuje, ile pięciometrowych segmentów bufora (w % długości bufora) charakteryzuje się objętością roślinności sięgającą odpowiednio 1, 2, 5 i $10\ m^3\ m^{-2}$. Wskaźniki te w sposób bardziej syntetyczny pozwalają przedstawić strukturę pionową roślinności wokół obiektu.

Ostatnim wskaźnikiem szczegółowym jest maksymalna wysokość roślinności w danym segmencie bufora. Ten wskaźnik jest szczególnie istotny dla obiektów wysokich i pozwala oszacować, do jakiej wysokości na danym odcinku bufora obiekt jest przesłaniany. Zarówno wskaźnik dotyczący objętości, jak i maksymalnej wysokości roślinności

przedstawiono syntetycznie jako jedną wartość dla obiektu, uśredniając wartości z poszczególnych segmentów bufora.

Do wyliczenia wskaźników szczegółowych wykorzystano dane pomiarowe LIDAR (ang. *Light Detection and Ranging*) z lotniczego skanowania laserowego ALS (ang. *Airborne Laser Scanning*), pochodzące z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego. Dane te stanowią reprezentację terenu w postaci sklasyfikowanej chmury punktów o określonych współrzędnych XYZ. Chmury punktów w formacie LAZ (skompresowany plik LAS) pobrano z krajowego Geoportalu. Na ich podstawie w programie CloudCompare v2.12.4 wygenerowano rastrowy numeryczny model terenu NMT (tylko punkty z klasy grunt) i numeryczny model pokrycia terenu NMPT (punkty z klasy grunt i z wszystkich klas reprezentujących roślinność), oba w rozdzielczości 0,5 m. Dla NMPT zastosowano algorytm interpolacyjny przypisujący wysokość komórki na podstawie punktów o maksymalnej wysokości w obrębie komórki, natomiast dla NMT – na podstawie średniej z wysokości punktów w obrębie komórki. W programie ArcGIS 10.1 stosując algebrę map wygenerowano model różnicowy zawierający względną wysokość roślinności. Za pomocą narzędzia *Zonal Statistics as Table* wyliczono średnie i maksymalne wysokości w poszczególnych segmentach bufora. Segmenty bufora, zasadniczo prostokątne o szerokości 5 m i długości 60 m, wygenerowano jako obustronne prostokątne bufora względem linii stanowiącej granicę obiektu, pociętej na pięciometrowe odcinki. W analizach uwzględniono jedynie te segmenty bufora, które miały powierzchnię w przedziale 280-320 m² (czyli były zbliżone do standardowych prostokątnych kształtów o powierzchni 60 m × 5 m = 300 m²), aby na wartości wskaźników dla całego obiektu nie rzutowały silnie zniekształcone segmenty powstałe w miejscach skomplikowanego przebiegu granicy obiektu.

Metoda liczenia objętości roślinności polegająca na wyliczeniu prostej różnicy NMPT i NMT pozornie wydaje się przeszacowywać objętość, bo nie uwzględnia pełnej złożoności struktury pionowej roślinności, w tym pustych przestrzeni pod koronami drzew. Warto jednak zauważyć, że dwa czynniki istotnie wpływają na niedoszacowanie wartości objętości roślinności otrzymanej zastosowaną metodą: 1. dane pomiarowe LiDAR zostały pozyskane podczas nalotu w dniu 3 kwietnia 2018 r., czyli zgodnie ze standardem przed rozwojem liści i wzrostem roślinności zielnej, co niewątpliwie istotnie wpłynęło na obniżenie średniej wysokości roślin, 2. znaną z literatury prawidłowość dotyczącą niedoszacowania wysokości roślinności otrzymanej z lotniczego skanowania laserowego (Estornell i in., 2012). Przyjęto więc założenie, że wpływ czynników odpowiedzialnych za przeszacowanie i niedoszacowanie objętości roślinności w przybliżeniu równoważy się i nie ma potrzeby korekty otrzymanych wartości w żadną stronę.

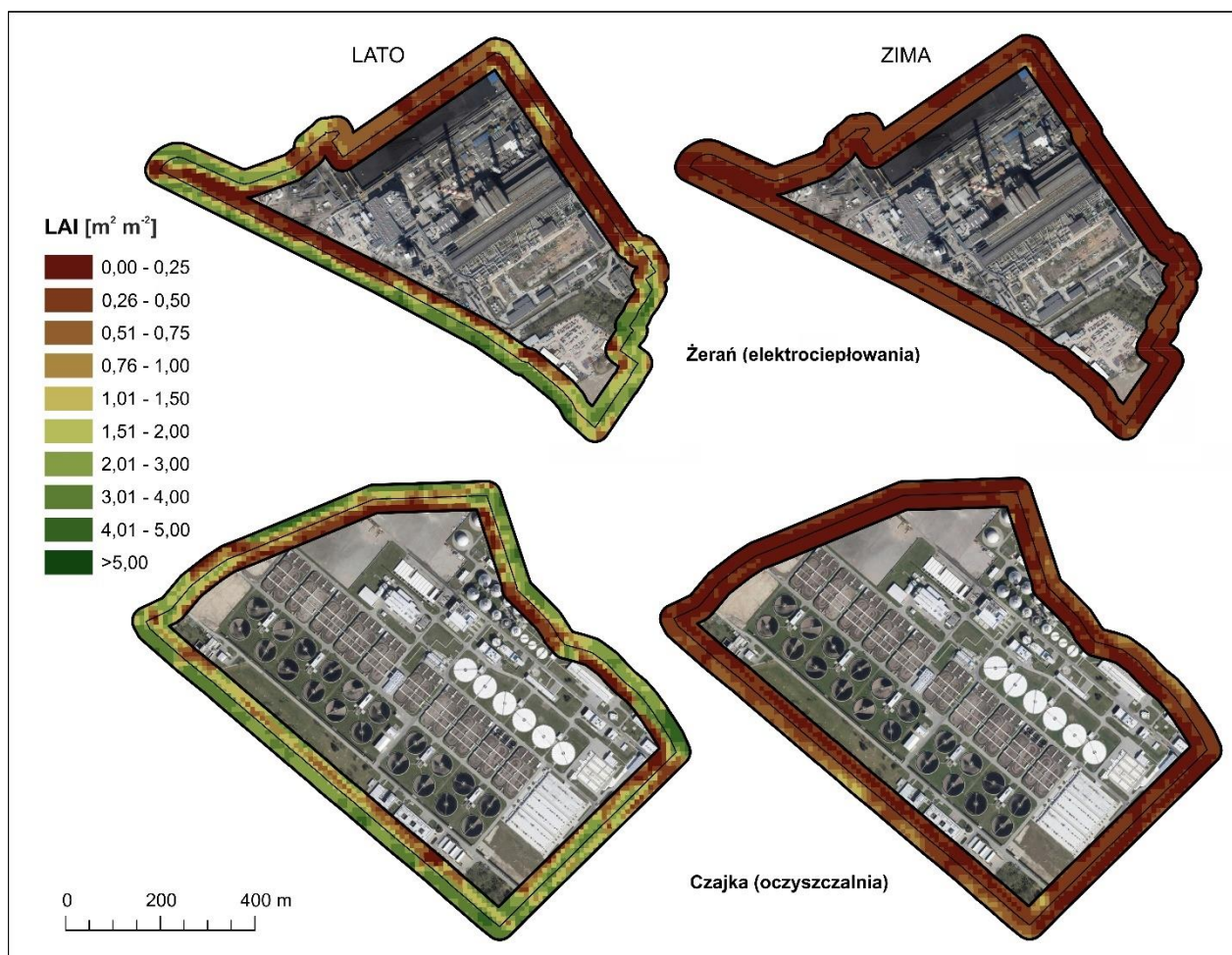
Wartości wskaźników

Wskaźnik ogólny wykorzystania roślinności do łagodzenia uciążliwości generowanych przez obiekty miejskiej infrastruktury technicznej, pokazujący średnią powierzchnię liści w buforze wokół obiektu na podstawie indeksu LAI, wynosi latem dla oczyszczalni Czajka 1,77 m² m⁻², a dla elektrociepłowni Żerań 1,38 m² m⁻² (tab. 8, ryc. 21). Analogiczny wskaźnik dla okresu zimowego wynosi odpowiednio 0,30 i 0,24 m² m⁻². Także wskaźniki szczegółowe konsekwentnie pokazują większe wykorzystanie roślinności do tłumienia hałasu, redukcji odoru i kształtowania widoku w przypadku oczyszczalni Czajka, niż w przypadku elektrociepłowni Żerań (tab. 8, ryc. 22).

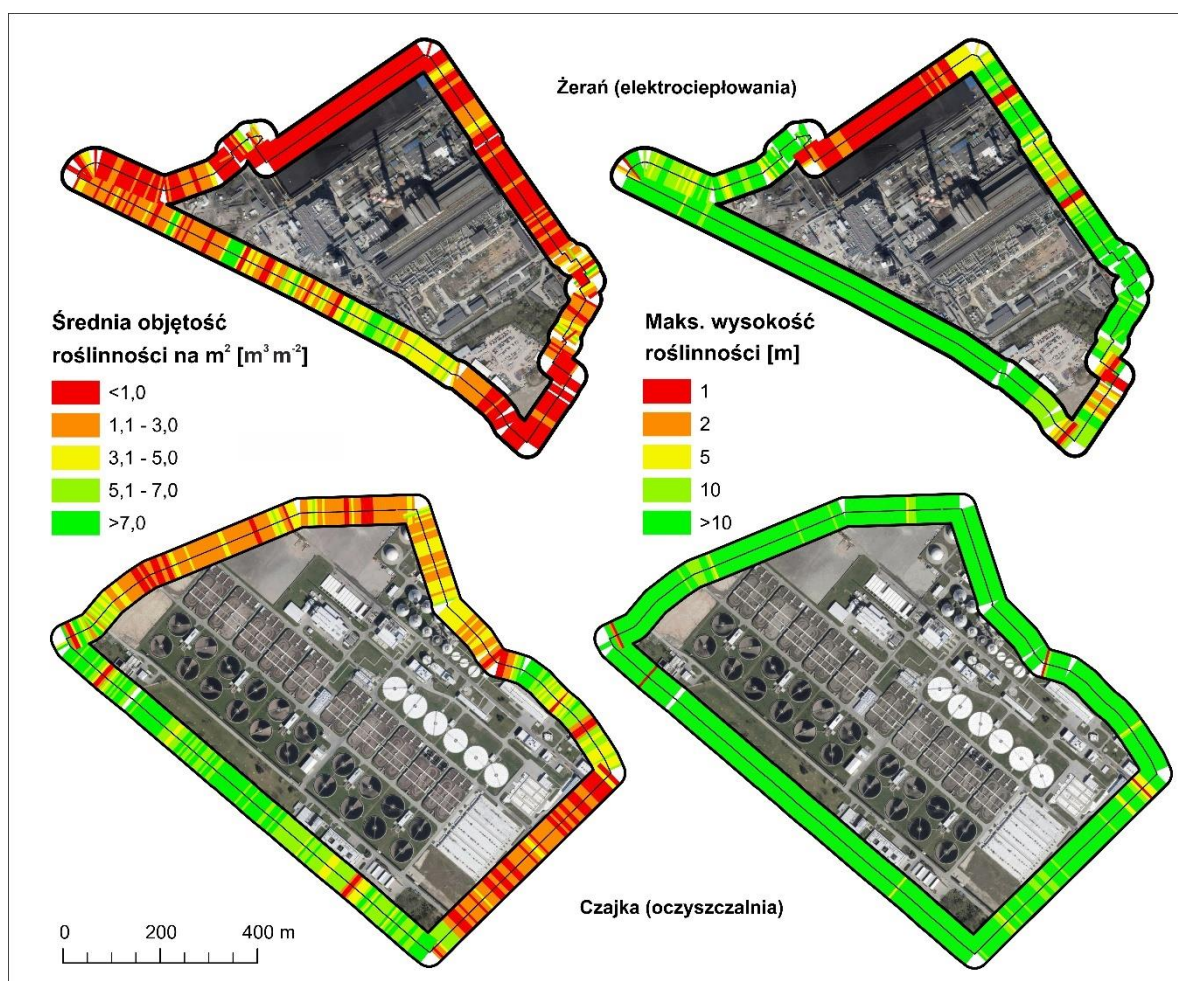
Tabela 8. Wartości ogólnych i szczegółowych wskaźników wykorzystania roślinności do łagodzenia uciążliwości generowanych przez dwa przykładowe obiekty miejskiej infrastruktury technicznej: oczyszczalnię Czajka i elektrociepłownię Żerań

Obiekt	Średni indeks liściowy w buforze latem [$\text{m}^2 \text{m}^{-2}$]	Średni indeks liściowy w buforze zimą [$\text{m}^2 \text{m}^{-2}$]	Uśredniony z zimy i lata indeks liściowy [$\text{m}^2 \text{m}^{-2}$]	Średnia objętość roślinności na m^2 bufora [$\text{m}^3 \text{m}^{-2}$]	% długości bufora z objętością roślinności sięgającą:				Średnia maksymalna wysokość roślinności z segmentów bufora [m]
					1 $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	2 $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	10 $\text{m}^3 \text{m}^{-2}$	
Czajka (oczyszczalnia)	1,77	0,30	1,04	4,11	99,32	99,15	97,29	92,37	17,2
Żerań (elektrociepłownia)	1,38	0,24	0,81	1,71	86,20	81,36	72,58	56,45	12,01

Średnia objętość roślinności na metr kwadratowy bufora wynosi dla Czajki $4,11 \text{ m}^3 \text{m}^{-2}$, a dla Żerania $1,71 \text{ m}^3 \text{m}^{-2}$. Choć udział segmentów o objętości roślinności powyżej $1 \text{ m}^3 \text{m}^{-2}$ różni się na korzyść Czajki jedynie o 13 punktów procentowych, to już udział segmentów o objętości $> 10 \text{ m}^3 \text{m}^{-2}$ jest zdecydowanie wyższy na korzyść Czajki; różnica w tym wypadku wynosi aż 36 punktów procentowych. Z kolei średnia z maksymalnych wysokości roślinności osiąganych w poszczególnych segmentach bufora wokół Czajki wynosi 17,2 m, a wokół Żerania 12,01 m.



Ryc. 21. Wykorzystanie roślinności do łagodzenia uciążliwości generowanych przez dwa obiekty miejskiej infrastruktury technicznej (oczyszczalnię Czajka i elektrociepłownię Żerań) przedstawione za pomocą dwóch wskaźników ogólnych: wartości indeksu liściowego (LAI) w buforze wokół obiektów 1. latem i 2. zimą. Źródło ortofotomapy: geoportal.gov.pl



Ryc. 22. Wykorzystanie roślinności do łagodzenia uciążliwości generowanych przez dwa obiekty miejskiej infrastruktury technicznej (oczyszczalnię Czajka i elektrociepłownię Żerań) przedstawione za pomocą dwóch wskaźników szczegółowych: 1. objętości roślinności oraz 2. maksymalnej wysokości roślinności, obu wyliczonych w poszczególnych pięciometrowych segmentach bufora wokół obiektów

3.3. Oczyszczanie powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka

Założenia teoretyczne

Zanieczyszczenie powietrza na obszarach miejskich stanowi coraz większe zagrożenie dla zdrowia ludzi. Jednym z najniebezpieczniejszych wdychanych zanieczyszczeń jest pył zawieszony (PM), który składa się z cząstek ciekłych i stałych, zarówno organicznych, jak i nieorganicznych, o średnicy w zakresie 0,001–100 μm . Ekspozycja na PM powoduje problemy z oddychaniem, alergie i stany zapalne płuc oraz ma negatywny wpływ na układ krążenia. Głównym źródłem PM w miastach jest niska emisja, transport samochodowy oraz przemysł (Popek i in., 2015; Przybysz i in., 2020). Roślinność miejska może być stosowana jako filtr biologiczny, który zatrzymuje PM na powierzchni liści i pędów. Dotychczasowe badania pokazują, że odpowiednie umiejscowienie roślinności, przede wszystkim drzew i krzewów przyczynia się znacząco do zmniejszenia lokalnego zanieczyszczenia (Popek i in.,

2015; Hewitt i in., 2019). Gatunki drzew i krzewów różnią się zdolnością akumulacji PM. Gatunki z dużymi liśćmi, które mają szorstką powierzchnię czy włoski, są bardziej efektywne w akumulacji PM niż gatunki z liśćmi o gładkiej powierzchni (Sæbø i in., 2012). Na całkowitą wielkość akumulacji pyłów wpływa w dużym stopniu pokrycie i struktura roślinności, których dobrym wskaźnikiem jest indeks liściowy LAI – stosunek powierzchni liści do powierzchni gruntu (Manes i in., 2014; Maes i in., 2016).

Metodyka uzyskania wyników

Znając wartość LAI dla danego obszaru oraz stężenie zanieczyszczeń pyłowych w powietrzu możemy oszacować ilość pyłów przechwytywanych i akumulowanych przez roślinność (Q). Jest to miara wykorzystania roślinności do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka (tab. 9).

Tabela 9. Usługa ekosystemowa wg CICES V5.1 i metadane wskaźnika Ilość pyłów przechwytywanych i akumulowanych przez roślinność

Świadczenie ekosystemowe		Oczyszczanie powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka
CICES 5.1	Sekcja	Regulacja i utrzymanie
	Dział	Przekształcanie biochemicznych lub fizycznych czynników wprowadzanych do ekosystemów
	Grupa	Łagodzenie oddziaływania odpadów lub substancji toksycznych pochodzenia antropogenicznego przez procesy biologiczne
	Klasa	Filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta
	Kod	2.1.1.2
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Wykorzystanie roślinności do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka w mieście
Wskaźnik		Ilość pyłów przechwytywanych i akumulowanych przez roślinność
Akronim		Q-PM10
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźnika		$Q = V_d \times C \times LAI \times 0,5 \times T$, gdzie: Q – ilość pyłów, V_d – prędkość osadzania, C – koncentracja pyłu w powietrzu (średnia dzienna) w $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, LAI – indeks liściowy w $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$, 0,5 – współczynnik szybkości ponownego zawieszania cząstek powracających do atmosfery, T – czas w sekundach
Pośredni/bezpośredni		Bezpośredni
Prosty/złożony		Złożony
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0-∞
Jednostka miary		$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$
Jednostka przestrzenna odniesienia		Strefy morfologiczne Warszawy
Odniesienie do poziomu		Lokalne

planowania		
Dane źródłowe	Opis danych	1. mapa stref morfologicznych miasta, 2. Leaf Area Index dla 13.03.2022 oraz 1.07.2022, 3. średnie dobowe stężenia pyłu zawieszonego PM10 dla najbliższych stanowisk pomiarowych
	Dysponent danych	1. Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m.st. Warszawy, 2. Europejska Agencja Środowiska (EEA), 3. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska
	Link do bazy danych	2. https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity/vegetation-indices 3. https://powietrze.gios.gov.pl/pip/archives
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Komórka rastra 10 × 10 m
	Format danych	1. wektorowe (shapefile), 2. dane rastrowe (GeoTIFF), 3. tabelaryczne (Excel)
	Pokrycie kraju	Warszawa
	Aktualność danych	1-3. 2022
	Dostępność danych	1. na wniosek do Urzędu m.st. Warszawy, nieodpłatne, 2-3. ogólnodostępne

Obliczenia wykonano dla wszystkich wybranych obiektów, w dwóch terminach: 13.03.2022 (poza okresem wegetacyjnym) oraz 1.07.2022 (w pełni okresu wegetacyjnego).

Zastosowano powszechnie wykorzystywany wzór (Nowak, 1994; Yang i in., 2005):

$$Q = V_d \times C \times LAI \times 0,5 \times T$$

gdzie: V_d – prędkość osadzania (średnia $0,0064 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), C – koncentracja pyłu w powietrzu (średnia dzienna)¹² w $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, LAI ¹³ – indeks liściowy w $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$, 0,5 – współczynnik szybkości ponownego zawieszania cząstek powracających do atmosfery, T – czas w sekundach (Manes i in., 2014; 2016).

Wartości wskaźnika

Wyższe wartości wskaźnika obserwujemy dla okresu wegetacyjnego (1.07.2022) co związane jest z wyższymi wartościami wskaźnika LAI. Należy jednak zaznaczyć, że na jego wartość duży wpływ ma także stężenie pyłów w powietrzu notowane w pobliżu analizowanych obszarów (tab. 10, ryc. 23).

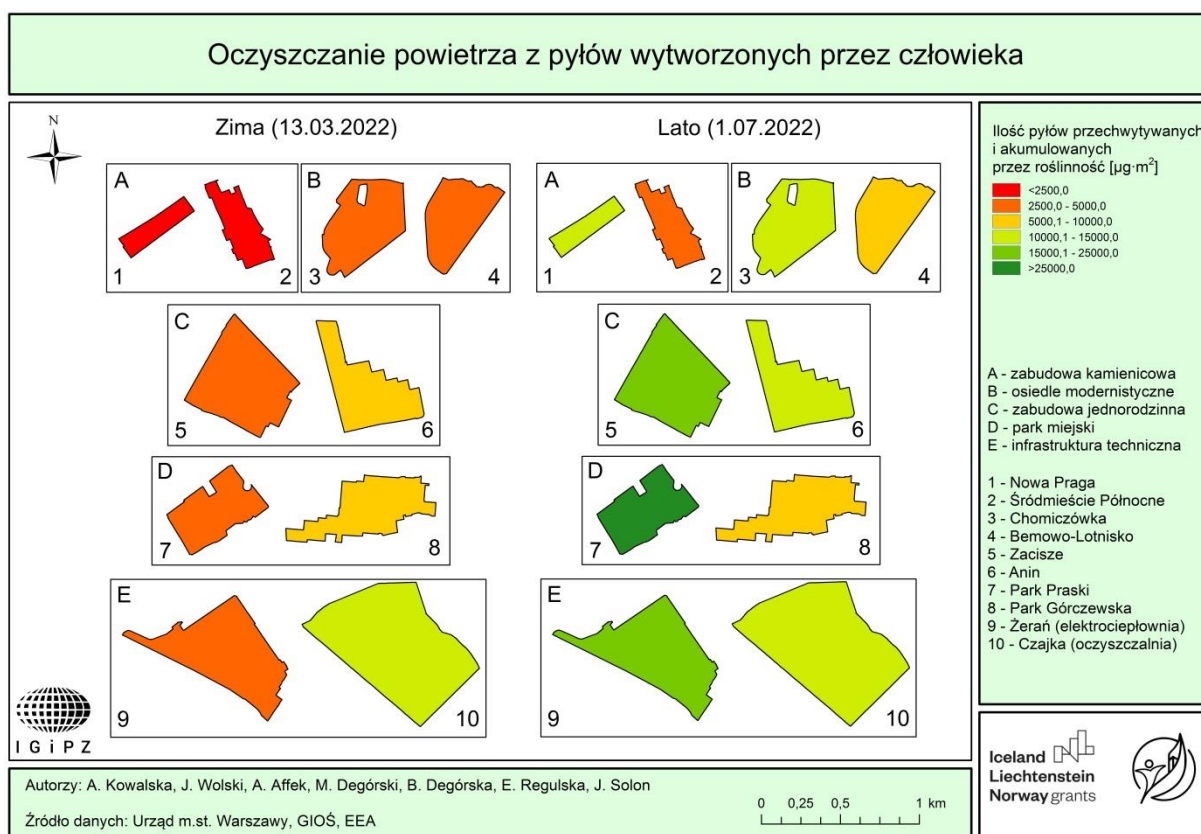
Tabela 10. Wskaźnik wykorzystania roślinności do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka i jego składowe

Obiekt	LAI_13.03.2022 [m ² ·m ⁻²]	LAI_1.07.2022 [m ² ·m ⁻²]	C_13.03.2022 [μg·m ⁻³]	C_1.07.2022 [μg·m ⁻³]	Q_13.03.2022 [μg·m ⁻²]	Q_01.07.2022 [μg·m ⁻²]
Nowa Praga	0,18	0,55	48,7	71,7	2423,6	10903,0

¹² Dane dotyczące średnich dobowych stężeń pyłu zawieszonego PM10 dla najbliższych stanowisk pomiarowych pozyskano z banku danych pomiarowych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska <https://powietrze.gios.gov.pl/pip/archives>

¹³ Leaf Area Index (2022). <https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity/vegetation-indices>

Śródmieście Północne	0,12	0,25	48,7	71,7	1615,7	4955,9
Chomiczówka	0,26	1,36	64,2	33,3	4615,0	12521,2
Bemowo-Lotnisko	0,21	0,66	64,2	33,3	3727,5	6076,5
Zacisze	0,29	0,76	48,7	71,7	3904,7	15065,9
Anin	0,49	2,43	48,7	20,6	6597,6	13840,0
Park Praski	0,29	1,78	48,7	71,7	3904,7	35286,0
Park Górczewska	0,36	1,35	52,5	26,1	5225,5	9741,8
Żerań (elektrociepłownia)	0,21	1,18	48,7	71,7	2827,6	23391,9
Czajka (oczyszczalnia)	0,4	1,64	97,3	25,6	10760,6	11607,7



Ryc. 23. Ilość pyłów przechwytywanych i akumulowanych przez roślinność na terenie wybranych obiektów w Warszawie

3.4. Regulacja temperatury i wilgotności powietrza

Założenia teoretyczne

Miejska wyspa ciepła (MWC) jest zjawiskiem, które stawia mieszkańców miast w sytuacji zwiększonej ekspozycji na stres cieplny i potencjalny udar cieplny, a także zwiększonego zużycia energii do chłodzenia pomieszczeń w budynkach (Livesley i in., 2016). Jest szczególnie dokuczliwa w obszarach stałego przebywania ludzi, gdzie znaczna część przestrzeni jest silnie przekształcona i zabudowana, czyli na terenach mieszkaniowych.

Błażejczyk (2002) badając rozkład przestrzenny MWC w Warszawie wykazał, że z największym nasileniem występuje w strefach bardzo intensywnej zabudowy, rejonach przemysłowo-składowych, dużych zakładów przemysłowych i elektrociepłowni. Niska zabudowa na relatywnie dużych działkach wpływa tylko w nieznacznym zakresie na rozwój MWC, podczas gdy zwiększanie intensywności zabudowy, zwłaszcza wielokondygnacyjnej w połączeniu z bardzo niskim udziałem terenów biologicznie czynnych, powoduje wzrost intensywności MWC. Zieleń miejska w znaczącym stopniu przyczynia się do łagodzenia MWC; poprawiając warunki termiczne w mieście wpływa na jakość życia mieszkańców, zwłaszcza w okresach letnich. Chłodzący wpływ roślinności wiąże się przede wszystkim z ocienianiem i ewapotranspiracją¹⁴ (Tyrväinen i in., 2005; Schwarz i in., 2011; Rocha i in., 2015; Zardo i in., 2017), dlatego tak istotny jest udział drzew i powierzchni biologicznie czynnej w strukturze miasta (Ziter i in., 2019).

Metodyka uzyskania wyników

Przedmiotem pomiaru jest potencjał do redukcji MWC, a wskaźnikiem ilość wody wyparowana z komórek roślinnych i gruntu w ciągu doby. Korzystamy z liniowej zależności między ewapotranspiracją i utajonym ciepłem parowania. Im wyższa ewapotranspiracja, tym więcej energii jest zużywane na odparowanie wody a mniej energii jest dostępne w postaci odczuwalnego ciepła, które jest związane z rzeczywistą temperaturą powietrza (Schwartz i in., 2011). Obliczenia wykonano dla wszystkich wybranych obiektów.

Wartość ewapotranspiracji obliczono stosując wzór (FAO, 1998):

$$ETA = K_c \times ET_o$$

gdzie: ETA – ewapotranspiracja potencjalna w warunkach nieograniczonego dostępu wody w gruncie ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), K_c – współczynnik roślinny, ET_o – ewapotranspiracja referencyjna zależna od temperatury i wilgotności powietrza ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$).

Równanie pokazuje, że wielkość ewapotranspiracji (ETA) zależy od specyficznych cech powierzchni: gleby i roślinności (współczynnik roślinny K_c) oraz warunków klimatycznych (ET_o). Współczynnik K_c obliczono według wzoru: $K_c = 1,457 \times \text{NDVI} - 0,1725$ (Kamble i in., 2013), gdzie oprócz stałych występuje zmienna NDVI (średni wskaźnik NDVI¹⁵) wyliczona na podstawie danych satelitarnych osobno dla drzew i pozostałej powierzchni aktywnej biologicznie (z gruntem przepuszczalnym i roślinnością zielną). Wartość ewapotranspiracji referencyjnej ET_o wg Penmana-Monteitha przyjęto za Kasperską-Wołowicz i Łabędzkim (2004) dla średniego okresu wegetacyjnego w Warszawie ($ET_o = 455 \text{ mm d}^{-1}$). Ewapotranspirację potencjalną danego obiektu otrzymano sumując ewapotranspirację z drzew pomnożoną przez ich udział powierzchniowy i ewapotranspirację odnoszącą się do pozostałej powierzchni aktywnej biologicznie pomnożoną przez jej udział (Zardo i in., 2017) – tab. 11.

¹⁴ Ewapotranspiracja – proces parowania terenowego obejmujący transpirację (parowanie z komórek roślinnych) oraz ewaporację (parowanie z gruntu).

¹⁵ Normalized Difference Vegetation Index (2022). <https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity/vegetation-indices>

Tabela 11. Usługa ekosystemowa wg CICES V5.1 i metadane wskaźnika Ilość wody wyparowana z komórek roślinnych i gruntu w ciągu doby

Świadczenie ekosystemowe		Regulacja temperatury i wilgotności powietrza
CICES 5.1	Sekcja	Regulacja i utrzymanie
	Dział	Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych
	Grupa	Skład atmosfery i warunki atmosferyczne
	Klasa	Regulacja temperatury i wilgotności, w tym przewietrzania i transpiracji
	Kod	2.2.6.2
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Potencjał do redukcji miejskiej wyspy ciepła
Wskaźnik		Ilość wody wyparowana z komórek roślinnych i gruntu w ciągu doby
Akronim		ETA
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		$ETA = K_c \times ET_o$ gdzie: ETA – ewapotranspiracja potencjalna w warunkach nieograniczonego dostępu wody w gruncie ($mm \cdot d^{-1}$), K_c – współczynnik roślinny ($K_c = 1,457 \times NDVI - 0,1725$), ET_o – ewapotranspiracja referencyjna zależna od temperatury i wilgotności powietrza ($mm \cdot d^{-1}$)
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Złożony
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – ∞
Jednostka miary		$mm \cdot d^{-1}$
Jednostka przestrzenna odniesienia		Strefy morfologiczne Warszawy
Odniesienie do poziomu planowania		Lokalne
Dane źródłowe	Opis danych	1. mapa stref morfologicznych miasta, 2. Mapa Koron Drzew dla Warszawy, 3. Normalized Difference Vegetation Index dla 1.07.2022, 4. Tree Cover Density 2018, 5. Imperviousness Density 2018
	Dysponent danych	1-2. Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m.st. Warszawy, 3-5. Europejska Agencja Środowiska (EEA)
	Link do bazy danych	2. https://mapa.um.warszawa.pl/mapaApp1/mapa?service=zielen/ 3. https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity/vegetation-indices 4. https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018 5. https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolutionlayers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Komórka rastra 10×10 m
	Format danych	1-2. dane wektorowe (shapefile), 3-5. dane rastrowe (GeoTIFF)
	Pokrycie kraju	Warszawa
	Aktualność danych	1. 2022, 2. 2021, 3. 1.07.2022 (wytypowana scena), 4-5. 2018
	Dostępność danych	1-2. na wniosek do Urzędu m.st. Warszawy, nieodpłatne, 3-5. dane

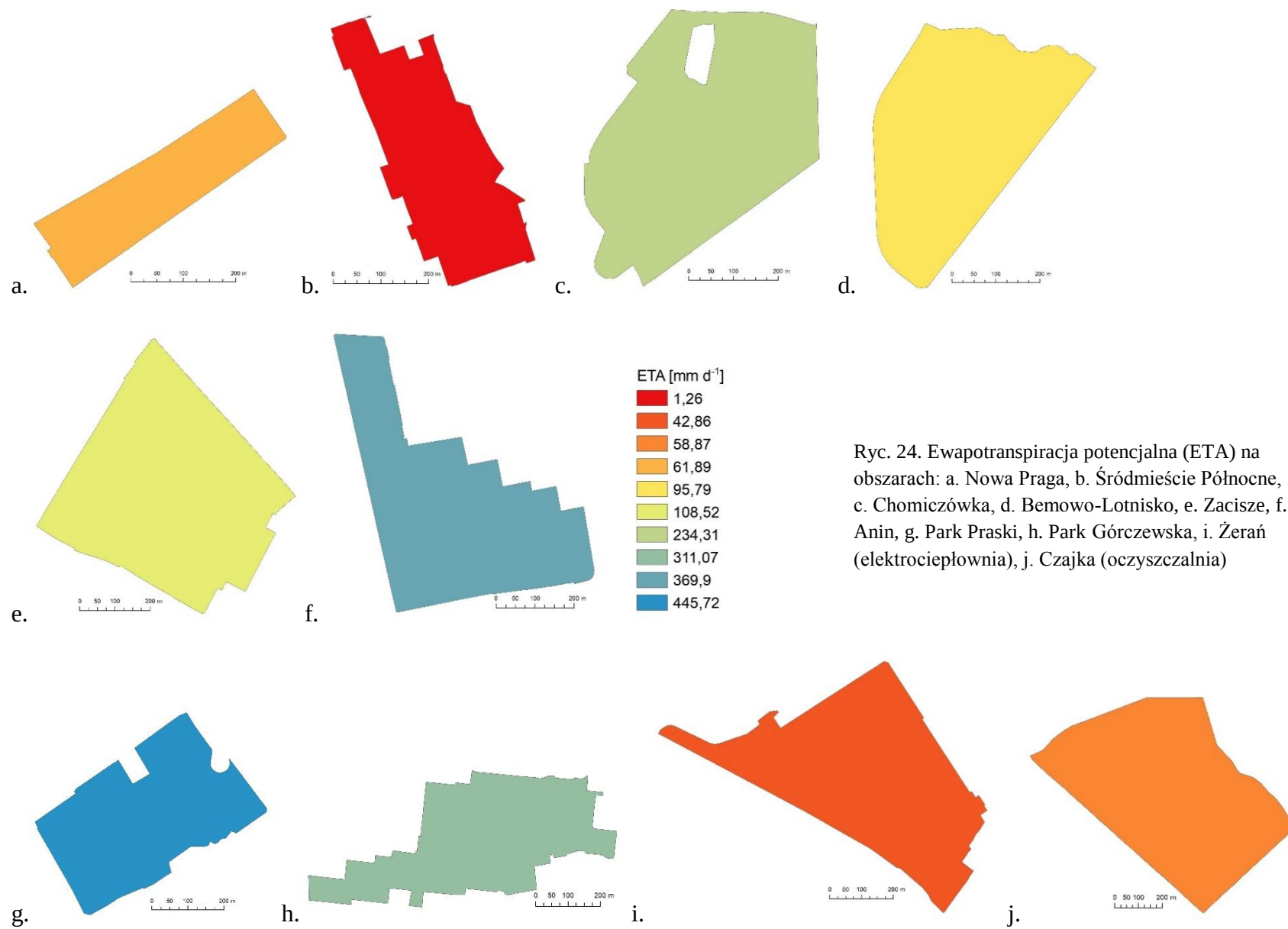
	ogólnodostępne
--	----------------

Wartości wskaźnika

Otrzymane wyniki wskazują na znaczący udział roślinności w regulacji temperatury i wilgotności powietrza w mieście. Najwyższe wartości ETA obserwujemy dla parków miejskich oraz osiedli z dużym udziałem powierzchni drzew i pozostałej powierzchni aktywnej biologicznie, przy czym udział drzew ma zdecydowanie większy wpływ na wartość wskaźnika (tab. 12, ryc. 24).

Tabela 12. Wskaźnik potencjału ekosystemów zurbanizowanych do redukcji miejskiej wyspy ciepła i jego składowe

Obiekt	Typ morfologiczny	Powierzchnia [ha]	Powierzchnia nieprzepuszczalna [%]	Stopień zwarcia koron drzew [%]	Pozostała pow. aktywna biologicznie [%]	NDVI drzewa	NDVI gleba	K _c drzewa	K _c gleba	ETA drzewa [mm·d ⁻¹]	ETA gleba [mm·d ⁻¹]	ETA suma [mm·d ⁻¹]
Nowa Praga	zabudowa kamienicowa	6,1	56,6	5,9	37,6	0,443	0,316	0,47	0,29	215,43	131,14	61,89
Śródmieście Północne	zabudowa kamienicowa	11,0	90,6	0,4	9,0	0,319	0,131	0,29	0,02	133,27	8,65	1,26
Chomiczówka	osiedle modernistyczne	22,0	22,3	27,6	50,1	0,604	0,556	0,71	0,64	322,03	290,26	234,31
Bemowo-Lotnisko	osiedle modernistyczne	17,9	50,0	6,7	43,4	0,482	0,396	0,53	0,40	240,77	183,83	95,79
Zacisze	zabudowa jednorodzinna	30,4	44,8	7,7	47,5	0,447	0,410	0,48	0,42	217,58	193,36	108,52
Anin	zabudowa jednorodzinna	21,5	9,5	51,5	38,9	0,745	0,723	0,91	0,88	415,14	400,50	369,90
Park Praski	park miejski	17,6	1,9	64,1	34,0	0,811	0,789	1,01	0,98	459,30	444,37	445,72
Park Górczewska	park miejski	21,4	6,1	8,5	85,4	0,666	0,613	0,80	0,72	363,18	328,10	311,07
Żerań (elektrociepłownia)	infrastruktura techniczna	32,5	56,3	3,0	40,7	0,487	0,250	0,54	0,19	244,13	87,20	42,86
Czajka (oczyszczalnia)	infrastruktura techniczna	53,6	59,5	2,3	38,2	0,620	0,320	0,73	0,29	332,22	133,89	58,87



Ryc. 24. Ewapotranspiracja potencjalna (ETA) na obszarach: a. Nowa Praga, b. Śródmieście Północne, c. Chomiczówka, d. Bemowo-Lotnisko, e. Zacisze, f. Anin, g. Park Praski, h. Park Górczewska, i. Żerań (elektrociepłownia), j. Czajka (oczyszczalnia)

3.5. Cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne, wspierające zdrowie i regenerację sił

Założenia teoretyczne

Świadczenia ekosystemowe polegające na stwarzaniu warunków przez świat ożywiony do generowania doznań estetycznych oraz wspierania zdrowia i regeneracji sił należą do sekcji usług kulturowych w klasyfikacji CICES V5.1 (tab. 13). Warunkiem do powstania powyższych świadczeń jest wystąpienie bezpośredniej interakcji między człowiekiem a systemami biologicznymi. Interakcje te mogą mieć zarówno charakter doświadczenia fizycznego jak i intelektualnego ze środowiskiem przyrodniczym. W tkance miejskiej, wysoce przekształconej przez człowieka i o znacznie zredukowanej obecności systemów biologicznych, człowiek ma znacznie ograniczone możliwości regularnej interakcji z przyrodą. Dlatego też każda, choćby pozornie płytka interakcja ze światem ożywionym nabiera szczególnego znaczenia. Jednym z przykładów możliwej codziennej interakcji z przyrodą w mieście jest jej doświadczenie/obserwowanie przez okno z miejsca zamieszkania lub pracy.

Badania jednoznacznie wskazują, że obecność przyrody w widoku z okna i możliwość jej obserwacji istotnie podnosi poziom zadowolenia z miejsca zamieszkania i poziom ogólnego dobrostanu, a także sprzyja szybszemu powrotowi do zdrowia (Ulrich, 1984; Kaplan, 2001). Przykładowo, mieszkańcy Chicago widzący z okna więcej zieleni zgłaszali mniejszy stres, mniejsze zmęczenie psychiczne i nasilenie problemów życiowych, mieli więcej więzi społecznych, częściej korzystali z przestrzeni wspólnych i zgłaszali niższy poziom strachu, przemocy i agresji (Kuo i Sullivan, 2001). Wykazano ponadto, że w szczególności występowanie drzew w przestrzeni miejskiej wiąże się z licznymi korzyściami zdrowotnymi (Ulmer i in., 2016). Z tego też względu w 2021 r. Konijnendijk van den Bosch, profesor na Uniwersytecie Columbia zaproponował wprowadzenie do planowania przestrzennego zasady „3-30-300” (Konijnendijk van den Bosch, 2021). Ta odnosząca się do obecności drzew w przestrzeni miejskiej reguła zyskała w krótkim czasie dużą popularność na świecie. Pierwszy punkt tej zasady stanowi, że dla utrzymania zdrowia i dobrego samopoczucia każdy mieszkaniec miasta powinien mieć możliwość zobaczenia przynajmniej trzech drzew (przystoitej wielkości) ze swojego domu.

Mając na uwadze powyższe zależności przyjęto, że przedmiotem pomiaru związanym z badaną usługą kulturową będzie wykorzystanie drzew widocznych z okna do generowania doznań estetycznych, wspierających zdrowie i regenerację sił, a wskaźnikiem świadczenia – liczba drzew widocznych z okna. Z rozważanych w niniejszym raporcie podtypów ekosystemów miejskich (parków miejskich, ekosystemów towarzyszących obszarom zabudowy mieszkaniowej i obiektom infrastruktury technicznej) wskaźnik ten ma zastosowanie jedynie do obszarów zabudowy mieszkaniowej, we wszystkich rozpatrywanych wariantach: osiedla modernistycznego, zabudowy kamienicowej i zabudowy jednorodzinnej.

Tabela 13. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika Liczba drzew widocznych z okna

Świadczenie ekosystemowe		Cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne, wspierające zdrowie i regenerację sił
CICES	Sekcja	Kulturowe

5.1	Dział	Bezpośrednie interakcje, in situ i w terenie, z systemami biologicznymi, zależne od ich obecności w warunkach naturalnych
	Grupa	1. Fizyczne i doświadczalne interakcje ze środowiskiem przyrodniczym 2. Intelktualne i tożsamościowe interakcje ze środowiskiem przyrodniczym
	Klasa	1. Cechy systemów biologicznych umożliwiające działania wspierające zdrowie, regenerację sił albo rozrywkę poprzez interakcje pasywne lub obserwacyjne 2. Cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne
	Kod	3.1.1.2; 3.1.2.4
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Wykorzystanie drzew widocznych z okna do generowania doznań estetycznych, wspierających zdrowie i regenerację sił
Wskaźnik		Liczba drzew widocznych z okna
Akronim		OKNO
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/ niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźnika		Suma wierzchołków drzew > 10 m wysokości widocznych z najwyższego piętra budynku. Uwzględniono drzewa w danej jednostce morfologicznej i w buforze 100 m wokół niej. Próbkowanie fasad budynków co 5 m szerokości, odpowiadającej jednemu oknu.
Pośredni/bezpośredni		Bezpośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0-∞
Jednostka miary		Drzewo
Jednostka przestrzenna odniesienia		Fasada budynku o szerokości 5 m
Odniesienie do poziomu planowania		Lokalne
Dane źródłowe	Opis danych	1. Warstwa typów morfologicznych zabudowy, 2. Mapa Koron Drzew dla Warszawy, 3. Numeryczny Model Terenu (NMT) i Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT), oba na podstawie lotniczego skaningu laserowego o gęstości 12 pkt/m ² , 4. Baza Danych Obiektów Topograficznych BDOT10k
	Dysponent danych	1. i 2. Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m.st. Warszawy, 3. i 4. Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK)
	Link do bazy danych	1. i 2. brak; 3. i 4. www.geoportal.gov.pl
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	1. 1:25 000; 2. korona drzewa; 3. komórka rastra 1 × 1 m (NMT) i 0,5 × 0,5 m (NMPT); 4. 1:10,000
	Format danych	1., 2. i 4. shapefile, 3. ARC/INFO ASCII GRID
	Pokrycie kraju	1. i 2. Warszawa; 3. i 4. Cały kraj
	Aktualność danych	1. 2022; 2. 2021; 3. 2018; 4. 2021
	Dostępność danych	1. i 2. na zamówienie, bezpłatne; 3. i 4. ogólnodostępne, bezpłatne

Metodyka uzyskania wyników

Do szacowania wykorzystania drzew do generowania doznań estetycznych, wspierających zdrowie i regenerację sił opracowano wskaźnik dedykowany do skali lokalnej i planów miejscowych, określający liczbę drzew widocznych z poszczególnych okien poszczególnych budynków w obszarze zainteresowania. Do wyliczenia wskaźnika wykorzystano rastrowe modele wysokościowe z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego: numeryczny model terenu NMT o rozdzielczości 1 m i numeryczny model pokrycia terenu NMPT o

rozdzielczości 0,5 m, oba opracowane na podstawie lotniczego skanowania laserowego o gęstości punktów 12 m⁻². Wykorzystano także warstwę wektorową budynków (BU) z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k), również pochodzącą z państwowego zasobu oraz wektorową Mapę Koron Drzew dla Warszawy, której dysponentem jest m.st. Warszawa.

Przyjęto, że w analizie widoczności drzew uwzględnione będą te drzewa, które osiągnęły co najmniej 10 m wysokości i znajdują się na terenie analizowanego osiedla lub w jego okolicy, jednak nie dalej niż 100 m od granic osiedla. Aby przeprowadzić analizę widoczności i wygenerować stożki widokowe w oprogramowaniu GIS, należało poza wytypowaniem modelu wysokościowego¹⁶ wskazać również położenie obserwatora lub obserwatorów. Do celów prowadzonej analizy przyjęto, że obserwatorami będą drzewa. W tym celu niezbędne było sprowadzenie danego drzewa do jednego punktu w przestrzeni. Uznano, że najlepszym punktem do analizy widoczności będzie wierzchołek drzewa, gdyż umieszczenie obserwatora gdziekolwiek niżej spowoduje, że dane drzewo samo zasłoni znaczną część widoku. W związku z tym, że na Mapie Koron Drzew nie są jednoznacznie wskazane wierzchołki drzew, a jedynie obrysy koron z podaną względną wysokością drzewa, zdecydowano się zlokalizować „obserwatorów” w centroidach koron drzew na wysokości równej sumie wysokości bezwzględnej odczytanej z rastra NMT pokrywającego się z centroidem drzewa i wysokości samego drzewa.

Mając tak zdefiniowanych obserwatorów, ich położenie i model wysokościowy, przystąpiono do analizy widoczności. W tym celu wykorzystano narzędzie *Viewshed* w oprogramowaniu ArcGIS 10.1, które generuje raster o tej samej rozdzielczości, co wejściowy model wysokościowy, z informacją przypisaną do każdej komórki rastra mówiącą o tym, ilu obserwatorów widzi daną komórkę. Wynikiem tej analizy jest obraz widoczny na rycinie 25a i 26a.

Kolejnym etapem analizy było wydzielenie segmentów fasad budynków, które odpowiadałyby w przybliżeniu jednemu pokojowi z oknem. Przyjęto, że przeciętnie na fasadzie jedno okno znajduje się co 5 metrów. Do wyznaczenia fasad budynków wykorzystano obrysy budynków z warstwy BU BDOT10k. Ze względu na naturalny brak pełnej harmonizacji obrysów budynków z modelem wysokościowym, przypisanie średniej czy maksymalnej wartości z komórek rastra bezpośrednio pokrywających się z danym odcinkiem fasady nie dawało satysfakcjonujących rezultatów. Metodą testowania iteracyjnego stwierdzono, że najlepszym rozwiązaniem będzie przypisanie danemu odcinkowi fasady maksymalnej wartości z komórek warstwy rastrowej widoczności znajdujących się w odległości do 1 m do środka i na zewnątrz budynku względem jego obrysu. W tym celu wygenerowano względem obrysu budynków dwustronne bufora o całkowitej szerokości 2 m oraz długości 5 m i za pomocą funkcji *Zonal Statistics as Table* w ArcGIS 10.1 przypisano im maksymalne wartości z komórek rastra widoczności znajdujących się w obrębie danego bufora. W ten sposób każdemu odcinkowi fasady przypisano liczbę drzew, które z danego odcinka można zobaczyć. Precyzyjnie rzecz biorąc, wyniki przeprowadzonej analizy pokazują liczbę wierzchołków drzew widoczną z najwyższego punktu danego odcinka fasady, co z dobrym przybliżeniem oddaje widoczność drzew z okna zlokalizowanego na najwyższej kondygnacji w danym odcinku fasady budynku.

¹⁶ Wybrano NMPT z państwowego zasobu, gdyż jest to najdokładniejszy, ogólnodostępny model odzwierciedlający powierzchnię terenu wraz z obiektami wystającymi ponad tę powierzchnię, takimi jak budynki, drzewa, mosty, wiadukty i inne elementy infrastruktury.

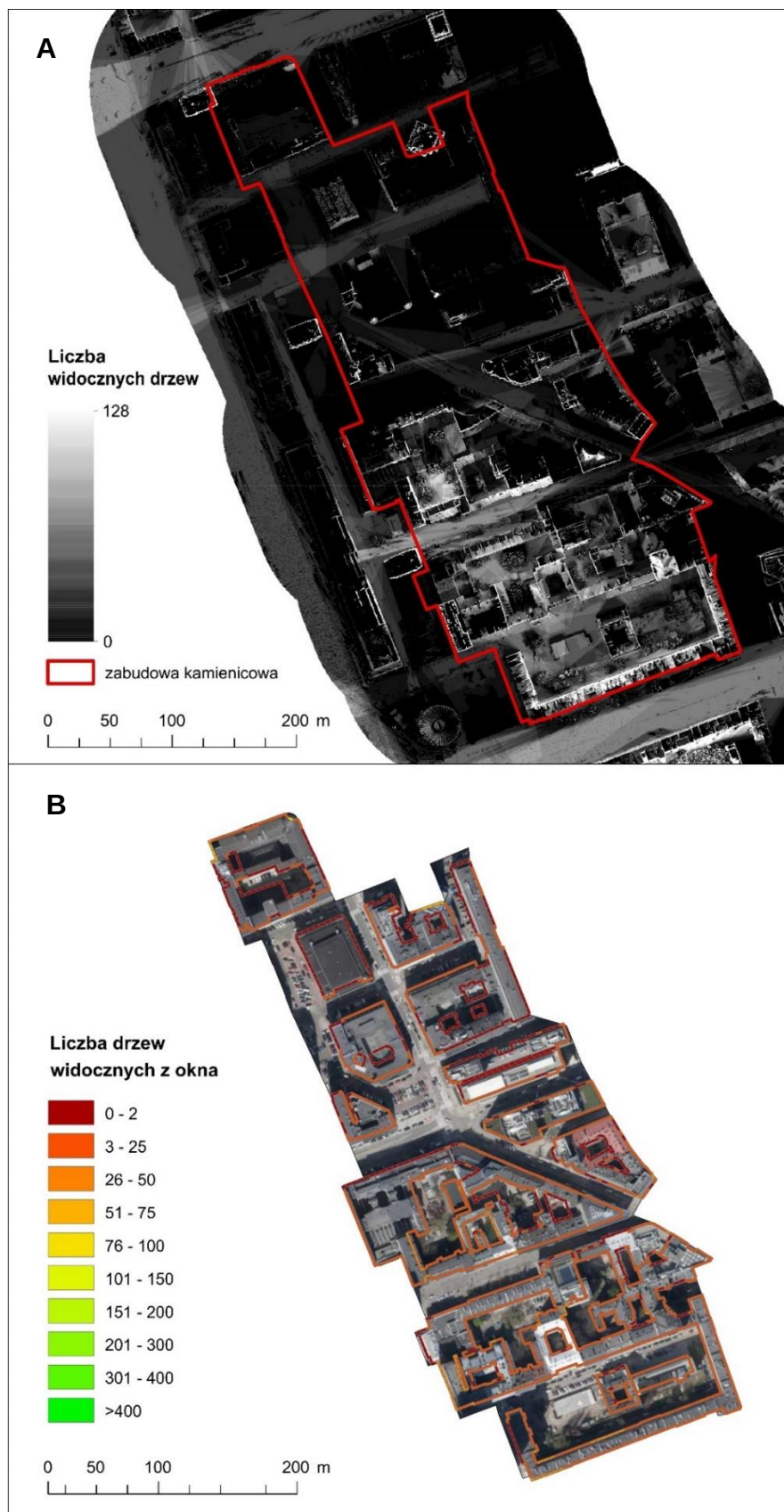
W analizach uwzględniono wszystkie budynki mieszkalne, biurowe i usługowe (z wyłączeniem garaży i magazynów) znajdujące się na obszarze sześciu wytypowanych osiedli: dwóch w typie zabudowy kamienicowej, dwóch osiedli domów jednorodzinnych i dwóch wielkoskalowych osiedli modernistycznych. Poza wyliczeniem liczby widocznych drzew dla danego segmentu fasady (okna na najwyższym piętrze budynku), policzono także minimalną, średnią i maksymalną liczbę drzew widocznych z okien na danym osiedlu (Tabela 14).

Wartości wskaźników

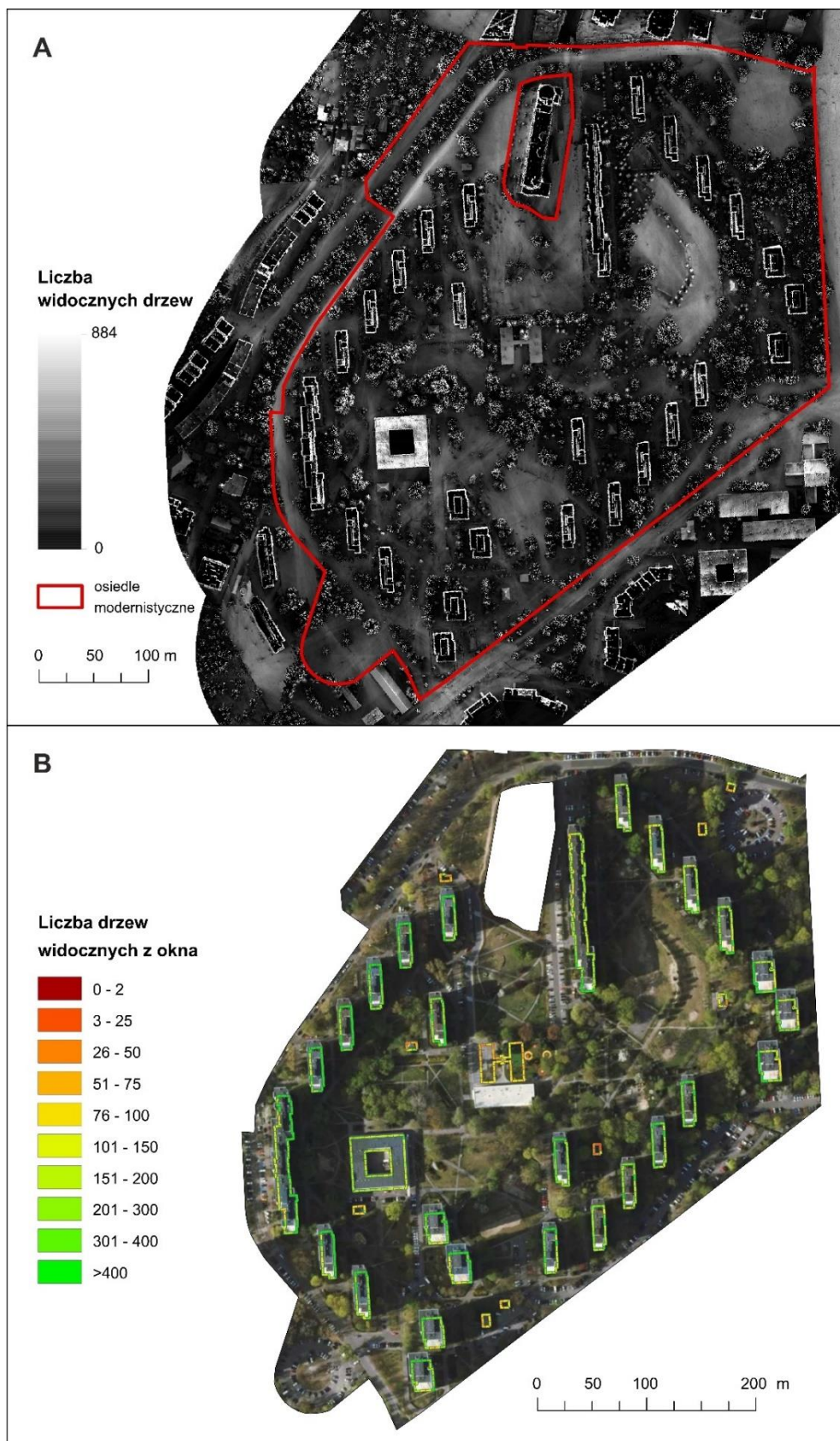
Wskaźnik wykorzystania drzew do generowania doznań estetycznych, wspierających zdrowie i regenerację sił, pokazujący średnią liczbę drzew widocznych z okien (na ostatnich piętrach budynków), waha się w wytypowanych obszarach testowych od 8,19 w zabudowie kamienicowej Śródmieścia Północnego do 277,29 na osiedlu modernistycznym na Chomiczówce (tab. 14). Dla tych dwóch skrajnych przykładów zaprezentowano przestrzenny rozkład widoczności drzew z każdego punktu osiedla oraz segmenty fasad z przypisaną im liczbą widocznych drzew (ryc. 25, 26, 27, 28). Okno z najwyższą odnotowaną liczbą widocznych drzew (906) znajduje się na osiedlu domów jednorodzinnych na Zaciszu. Na każdym osiedlu poza Chomiczówką odnotowano okna/fasady zlokalizowane na najwyższych piętrach budynków, z których nie widać żadnych drzew. Ponadto, widoczność drzew z okien na ostatnich piętrach jest większa niż z okien na niższych piętrach, więc z pewnością średnia liczba widocznych drzew ze wszystkich okien na osiedlu jest znacznie niższa niż wyliczona we wskaźniku. Porównanie typów morfologicznych zabudowy wskazuje, że osiedla modernistyczne, wyróżniające się wysoką i rozproszoną zabudową z dużym udziałem otwartych przestrzeni z zielenią, charakteryzują się najwyższą liczbą widocznych drzew, następne w kolejności są obszary z zabudową jednorodzinną, a najmniej drzew widać z okien kamienic. Na podstawie prowadzonych analiz można wskazać cztery główne czynniki decydujące o liczbie widocznych drzew z okna: 1. liczebność drzew w sąsiedztwie, 2. układ przestrzenny zabudowy, 3. wysokość budynków oraz 4. piętro, na którym dane okno się znajduje. Czynniki 2 i 3 są ściśle powiązane z przynależnością osiedla do danego typu morfologicznego zabudowy. Podsumowując można więc stwierdzić, że wykorzystanie drzew do generowania doznań estetycznych, wspierania zdrowia i regeneracji sił ma miejsce w największym stopniu na wielkoskalowych osiedlach modernistycznych, w nieco mniejszym na osiedlach domów jednorodzinnych, a w najmniejszym stopniu w obszarach zabudowy kamienicowej. Niemniej jednak wysoka zmienność w obrębie typów morfologicznych wskazuje, że zagospodarowanie przestrzeni na danym osiedlu, zarówno w kontekście zabudowy jak i zieleni, może istotnie wpływać na poziom wykorzystania badanego świadczenia.

Tabela 14. Liczba drzew widocznych z okna jako wskaźnik ich wykorzystania do generowania doznań estetycznych, wspierających zdrowie i regenerację sił

Osiedle	Typ morfologiczny	Liczba segmentów (okien)	Liczba widocznych drzew		
			Min.	Max.	Średnia
Nowa Praga	zabudowa kamienicowa	828	0	192	50,12
Śródmieście Północne	zabudowa kamienicowa	1515	0	86	8,19
Chomiczówka	osiedle modernistyczne	778	19	723	277,29
Bemowo-Lotnisko	osiedle modernistyczne	1440	0	266	79,69
Zacisze	zabudowa jednorodzinna	3990	0	906	153,01
Anin	zabudowa jednorodzinna	1451	0	725	50,94



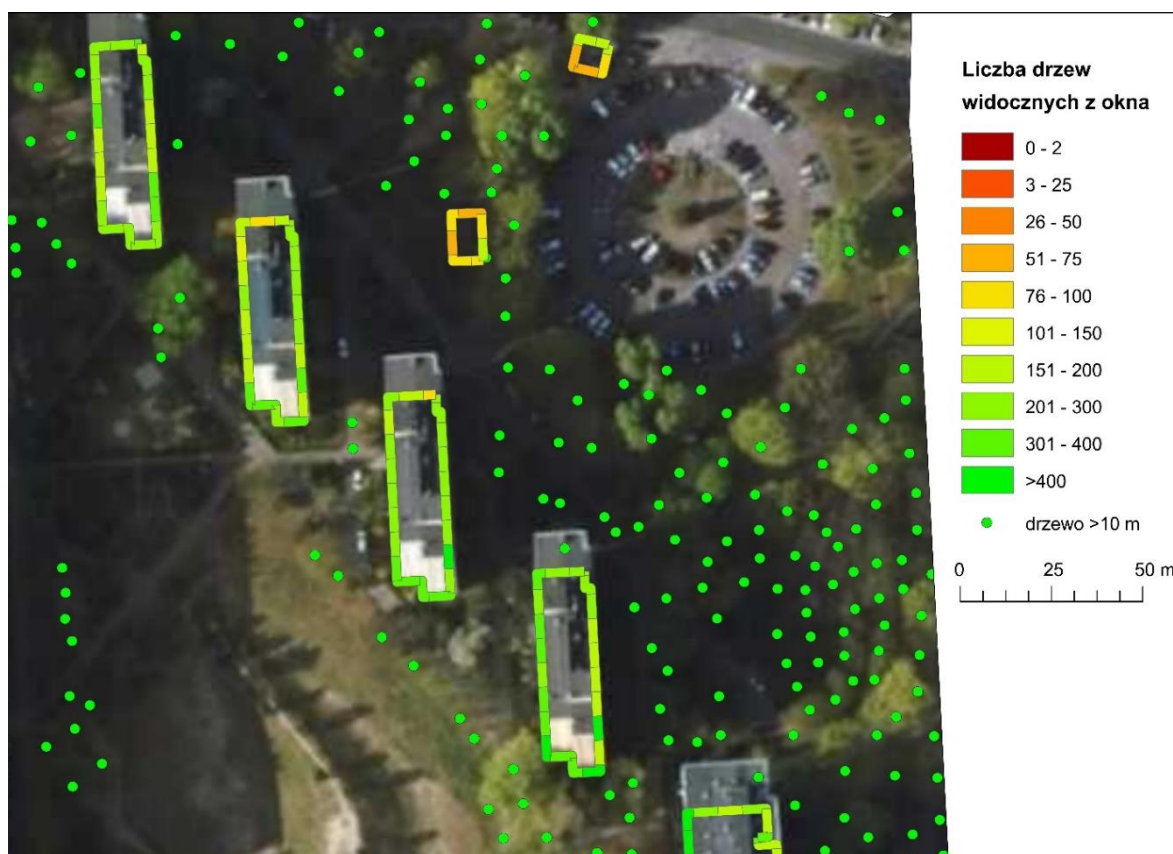
Ryc. 25. Liczba widocznych drzew jako wskaźnik ich wykorzystania do generowania doznań estetycznych, wspierających zdrowie i regenerację sił na przykładzie osiedla Śródmieście Północne w typie zabudowy kamienicowej. A – liczba widocznych drzew z każdego punktu osiedla, B – liczba drzew widocznych z okien na ostatnim piętrze budynków



Ryc. 26. Liczba widocznych drzew jako wskaźnik ich wykorzystania do generowania doznań estetycznych, wspierających zdrowie i regenerację sił na przykładzie osiedla Chomiczówka w typie osiedla modernistycznego. A – liczba widocznych drzew z każdego punktu osiedla, B – liczba drzew widocznych z okien na ostatnim piętrze budynków



Ryc. 27. Fragment osiedla Śródmieście Północne z zaznaczonymi fasadami budynków rozkolorowanymi według liczby widocznych drzew z najwyższego piętra oraz lokalizacjami drzew uwzględnionych przy wyliczaniu wskaźnika (> 10 m wysokości)



Ryc. 28. Fragment osiedla Chomiczówka z zaznaczonymi fasadami budynków rozkolorowanymi według liczby widocznych drzew z najwyższego piętra oraz lokalizacjami drzew uwzględnionych przy wyliczaniu wskaźnika (> 10 m wysokości)

3.6. Możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury

Założenia teoretyczne

Tereny zieleni usytuowane w przestrzeni miejskiej zapewniają możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie przyrody, które mają ogromną wartość dla fizycznego dobrostanu i zdrowia psychicznego mieszkańców (Kosmala i Błaszczuk, 2012; Hartig i in., 2014; Geary i in., 2021; Weinbrenner i in., 2021). Liczne badania podkreślają znaczenie bliskości i dostępności wysokiej jakości terenów zieleni dla regularnego wykorzystywania ich do rekreacji (Grahn i Stigsdotter, 2003; Nielsen i Hansen, 2007). Walory rekreacyjne takich terenów związane są ściśle z ich walorami estetycznymi, a także zapewnianiem lokalnych warunków klimatycznych lub mikroklimatu sprzyjającego wypoczynkowi (Kothencz i in., 2017). Szczególnie istotne w tym względzie są właściwości terenów zieleni wpływające na łagodzenie wysokich temperatur w okresie letnim. Wykazano, że korzyści związane z efektem chłodzenia są znacznie większe w przypadku terenów zieleni porośniętych drzewami w porównaniu z terenami bez drzew i z większym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych (Armson i in., 2012; Skelhorn i in., 2014; Zardo i in., 2017; Ziter i in., 2019; Yu i in., 2020). Ważna jest także wielkość powierzchni tych terenów, ponieważ przyjmuje się, że wraz ze wzrostem powierzchni zwiększają się zarówno możliwości rekreacyjne (Cohen i in., 2010), jak i różnorodność biologiczna (Nielsen i in., 2014).

Parki stanowią ważne elementy zielonej infrastruktury miejskiej, przyczyniając się do poprawy jakości życia, promowania dobrobytu mieszkańców miast, a także dostarczania wielu korzyści społecznych i ekonomicznych (Brown et al., 2014; Wang et al. 2015). Dlatego potrzebne jest różnorodne podejście do planowania i podejmowania decyzji dotyczących zrównoważonych otwartych przestrzeni i parków miejskich.

Szczególnie istotne w tym względzie jest pozyskanie wiedzy na temat tego, jak ludzie wartościują i jak wykorzystują parki miejskie dla rekreacji, odpoczynku i interakcji społecznych. W podejściu tym na ogół celem jest niemonetarna ocena preferencji ludzi w odniesieniu do poszczególnych usług ekosystemowych. Jedną z powszechnie stosowanych metod społeczno-kulturowych jest mapowanie wartości krajobrazu z wykorzystaniem tzw. partycypacyjnych systemów informacji geograficznej – PGIS (ang. *Participatory Geographical Information Systems*) (Cheng i in., 2019), które jest bardzo przydatne do określania świadczeń i korzyści kulturowych opartych na osobistych doświadczeniach (Brown i in., 2012; Brown i Fagerholm, 2015). Z pomocą narzędzi PGIS użytkownicy mogą nanieść na mapę punkt/obszar oraz wypełnić kwestionariusz dotyczący jednej lub więcej usług ekosystemowych, czy, tak jak w przypadku Google Maps, umieścić swoją opinię i ocenić dany obiekt na mapie (Degórski i in., 2021).

Możliwości rekreacji i odpoczynku na łonie natury szacowano dla dwóch parków miejskich oraz sześciu osiedli różniących się typem zabudowy. Opracowano trzy wskaźniki dotyczące: (1) potencjału i (2) wykorzystania parków miejskich do odpoczynku i rekreacji

oraz (3) potencjału zieleni miejskiej towarzyszącej różnym typom zabudowy do odpoczynku i rekreacji (tab. 15- 17).

Metodyka uzyskania wyników

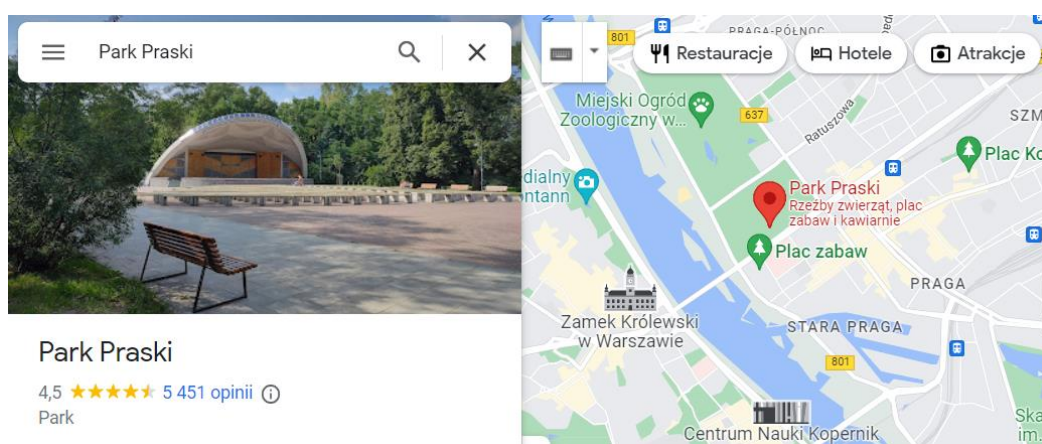
W przypadku potencjału parków miejskich do rekreacji na łonie przyrody wskaźnikiem jest: ocena parków w Google Maps (tab. 15).

Tabela 15. Usługa ekosystemowa wg CICES V5.1 i metadane wskaźnika Ocena parków miejskich w Google Maps

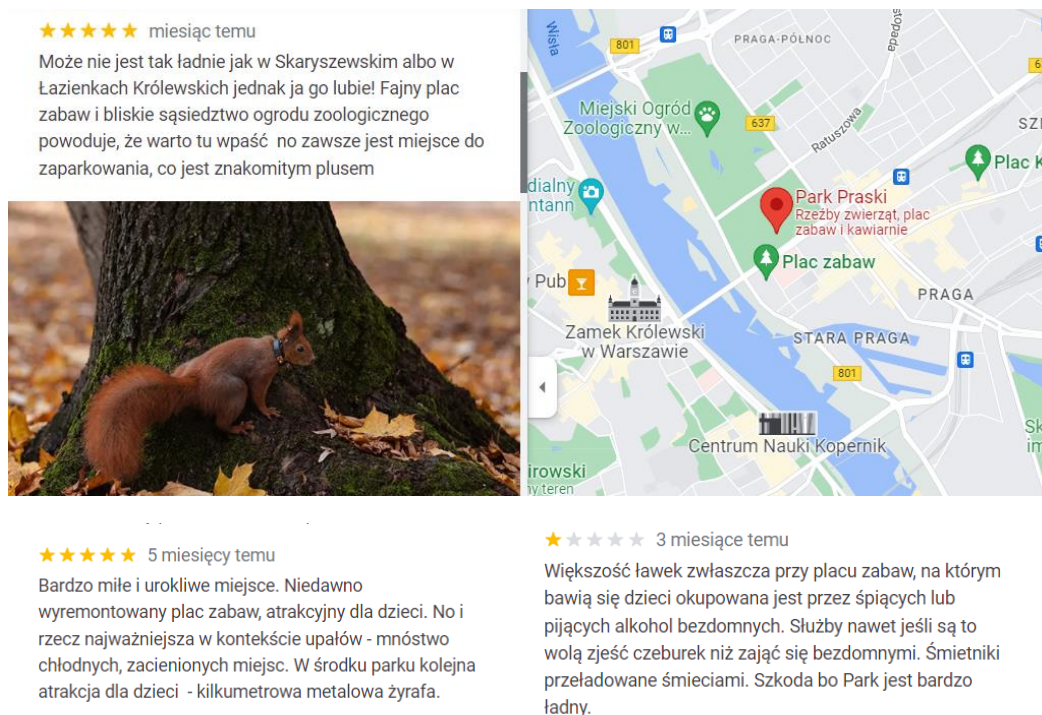
Świadczenie ekosystemowe		Możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury
CICES	Sekcja	Kulturowe
5.1	Dział	Bezpośrednie interakcje, in situ i w terenie, z systemami biologicznymi, zależne od ich obecności w warunkach naturalnych
	Grupa	Fizyczne i doświadczalne interakcje ze środowiskiem przyrodniczym
	Klasa	Cechy systemów biologicznych umożliwiające działania wspierające zdrowie, regenerację sił albo rozrywkę poprzez interakcje: 1. aktywne lub angażujące; 2. pasywne lub obserwujące
	Kod	3.1.1.1; 3.1.1.2
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Potencjał parków miejskich do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody
Wskaźnik		Ocena parków w Google Maps
Akronim		REK_P
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		Ocena parków w Google Maps będąca średnią z wszystkich ocen indywidualnych użytkowników
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Rangowa
Teoretyczny zakres wartości		1-5
Jednostka miary		—
Jednostka przestrzenna odniesienia		Park
Odniesienie do poziomu planowania		Lokalna
Dane źródłowe	Opis danych	Oceny użytkowników w Google Maps
	Dysponent danych	Google
	Link do bazy danych	https://www.google.pl/maps
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	-
	Format danych	Dane GIS: serwis mapowy www (Google); shapefile (baza autorska)
	Pokrycie kraju	Cały kraj
	Aktualność danych	17.12.2022 (aktualizowane na bieżąco)

Dostępność danych	Dane ogólnodostępne
-------------------	---------------------

W Google Maps każdy zalogowany użytkownik może ocenić i wyrazić swoją opinię na temat dowolnego obiektu zlokalizowanego w przestrzeni, jak również wprowadzić nowy obiekt. Oceny dokonuje się poprzez przyznanie punktów (gwiazdek) w skali 1-5 (ryc. 29). Jest też możliwość pozostawienia komentarza/opinii i załączenia własnych zdjęć (ryc. 30). Na poziomie parku ocena zbiorcza (wskaźnik potencjału) stanowi zwykłą średnią ze wszystkich ocen indywidualnych użytkowników. Należy mieć na względzie, że opinie w Google Maps są nanoszone przez zwykłych użytkowników, a więc sporadycznie zdarza się, że opinia nie dotyczy danego obiektu lub punktacja jest błędnie przyznana (np. opinia negatywna a punktacja wysoka). Są również opinie złożone, które są generalnie pozytywne i ocenione na 5 gwiazdek, ale zawierają pierwiastek komentarza negatywnego i odwrotnie. Wszystkie opinie były pod tym kątem wnikliwie przeglądane i w razie wątpliwości wykluczane z dalszych analiz.



Ryc. 29. Ocena przypisana do parku w Google Maps



Ryc. 30. Przykłady komentarzy do parku w Google Maps

Summaryczna liczba opinii zamieszczonych w Google Maps wyniosła odpowiednio 5448 (Park Praski) i 5824 (Park Górczewska) opinii. Ocena zbiorcza (wskaźnik potencjału) stanowiła zwykłą średnią ze wszystkich ocen indywidualnych użytkowników.

W kolejnym etapie dokonano szczegółowej analizy komentarzy użytkowników. Dla każdego z parków uwzględniano 50 komentarzy z oceną pozytywną oraz 50 komentarzy z oceną negatywną, co ułatwia opcja filtrowania zaimplementowana w Google Maps. Pod uwagę brano jedynie oceny opatrzone komentarzem, zaczynając od najwyższej punktowanych (5 gwiazdek) w przypadku opinii pozytywnych lub najniższej punktowanych (1 gwiazdka) w odniesieniu do opinii negatywnych. Czytając komentarze największą uwagę zwracano na zwroty odnoszące się do potencjału parków do świadczenia usług ekosystemowych związanych z odpoczynkiem i rekreacją, a także zarządzaniem w aspekcie zieleni. Do uporządkowania informacji uzyskanych z przeglądu zastosowano uproszczoną analizę SWOT, uwzględniając tylko jej dwie pierwsze kategorie: S (Strengths) – mocne strony (atut, przewaga, zaleta) i W (Weaknesses) – słabe strony (słabość, bariera, wada) - ryc. 32.

W przypadku wykorzystania parków miejskich do rekreacji na łonie przyrody wskaźnikiem jest liczba osób przypadająca na 1 ha powierzchni parku (tab. 16). Pod uwagę brano liczbę osób mieszkających¹⁷ w buforze 300 m od granic parku. Przyjęta odległość zgodna jest z zaleceniami WHO (2017), według których każdy obywatel powinien mieć zapewniony dostęp do publicznych terenów zieleni o powierzchni co najmniej 1 ha, maksymalnie w takiej odległości (Konijnendijk van den Bosch, 2022).

Tabela 16. Usługa ekosystemowa wg CICES V5.1 i metadane wskaźnika Liczba osób przypadająca na 1 ha powierzchni parku

Świadczenie ekosystemowe		Możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury
CICES 5.1	Sekcja	Kulturowe
	Dział	Bezpośrednie interakcje, in situ i w terenie, z systemami biologicznymi, zależne od ich obecności w warunkach naturalnych
	Grupa	Fizyczne i doświadczalne interakcje ze środowiskiem przyrodniczym
	Klasa	Cechy systemów biologicznych umożliwiające działania wspierające zdrowie, regenerację sił albo rozrywkę poprzez interakcje aktywne lub angażujące /pasywne lub obserwujące
	Kod	3.1.1.1/3.1.1.2
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Wykorzystanie parków miejskich do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody
Wskaźnik		Liczba osób przypadająca na 1 ha powierzchni parku
Akronim		REK_PARKI
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźnika		Liczba osób mieszkających w buforze 300 m od granic parku przypadająca na 1 ha powierzchni parku

¹⁷ Liczbę mieszkańców określono na podstawie danych telemetrycznych z 2015 r. (Degórski i in., 2021).

Pośredni/bezpośredni	Bezpośredni	
Prosty/złożony	Prosty	
Wyliczony/oszacowany	Wyliczony	
Skala pomiaru	Ilorazowa	
Teoretyczny zakres wartości	0-∞	
Jednostka miary	Liczba osób ha ⁻¹	
Jednostka przestrzenna odniesienia	Strefy morfologiczne Warszawy	
Odniesienie do poziomu planowania	Lokalne	
Dane źródłowe	Opis danych	1. mapa stref morfologicznych miasta, 2. mapa obszarów MSI (w tym liczba mieszkańców), 3. Urban Atlas 2018 (rozmieszczenie ludności)
	Dysponent danych	1-2. Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m.st. Warszawy, 3. Europejska Agencja Środowiska (EEA)
	Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	≥ 0,25 ha
	Format danych	Dane wektorowe (shapefile)
	Pokrycie kraju	Warszawa
	Aktualność danych	1. 2022, 2. 2018 (aktualizowane po zmianach granic), 3. 2017-2019
	Dostępność danych	1-2. na wniosek do Urzędu m.st. Warszawy, nieodpłatne, 3. ogólnodostępne

Wskaźnik potencjału zieleni miejskiej towarzyszącej różnym typom zabudowy do odpoczynku i rekreacji został zbudowany na podstawie danych dotyczących: (1) udziału drzew - stopnia zwarcia koron drzew¹⁸ (przyjęto próg ok. 30% jako minimum zapewniające odpowiednie warunki klimatyczne i aerosanitarne – Konijnendijk van den Bosch, 2022), (2) dostępnej powierzchni biologicznie czynnej (PBC)¹⁹ na osobę (za Strategią 2030 dla Warszawy przyjęto normę 6 m² PBC na osobę), (3) publicznej dostępności do zieleni (wszystkie ograniczenia dostępności stwierdzone podczas wizji terenowej np. płoty, zamknięte bramy na podwórka, oceniane były negatywnie), (4) walorach estetycznych określonych wskaźnikiem różnorodności gatunków drzew²⁰ – ryc. 31 (pozytywną ocenę uzyskały obiekty o wartości wskaźnika powyżej 3). Każdemu elementowi przypisano 0 lub 1 punkt w zależności od spełnienia ww. założeń. Suma uzyskanych punktów stanowi wartość wskaźnika potencjału. Najwyższy potencjał wykazują obszary z wartością wskaźnika 4, a najniższy z wartością 1 (tab. 17).

¹⁸ Stopień zwarcia koron drzew (Tree Cover Density, 2018) <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018>

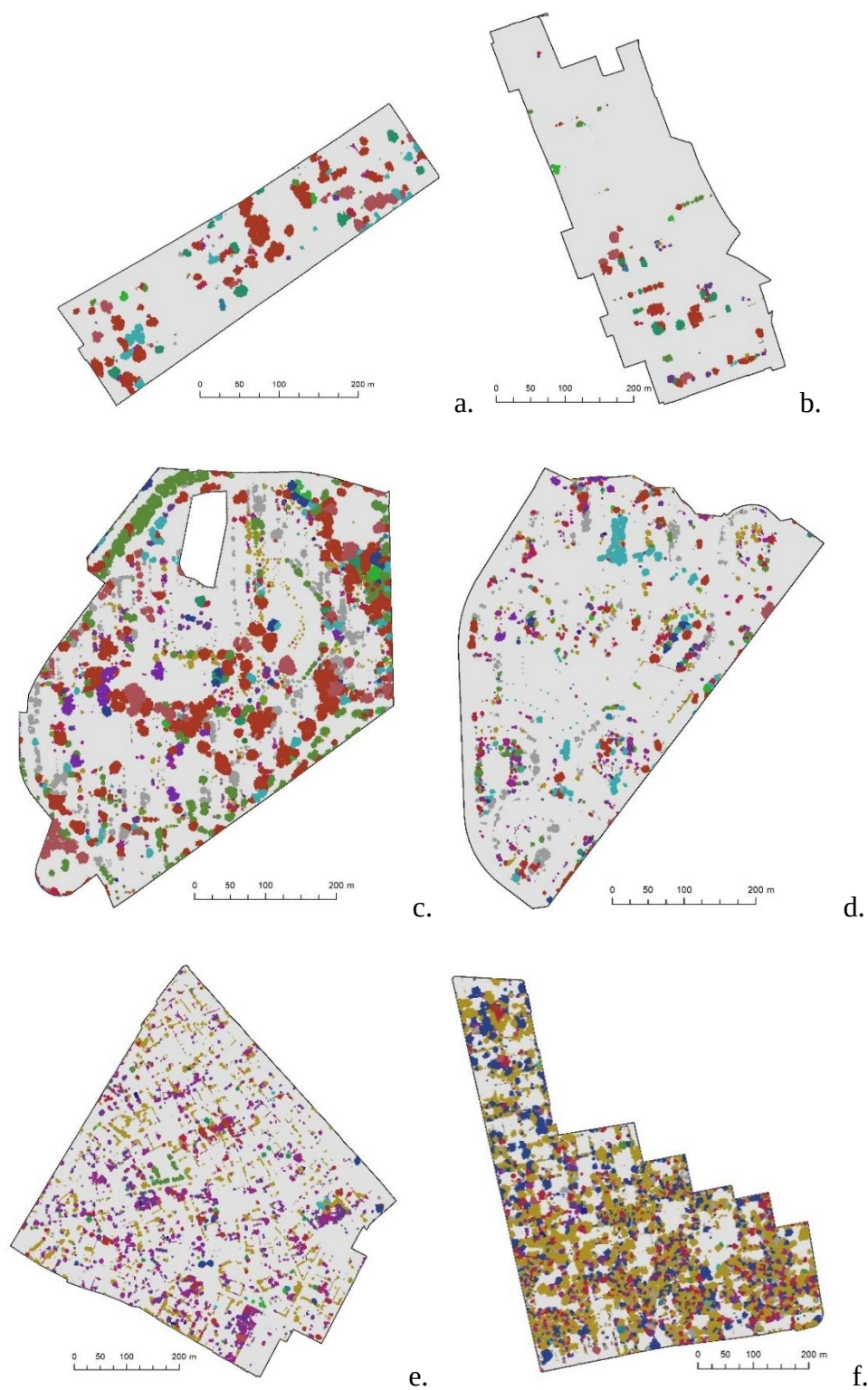
¹⁹ PBC obliczono odejmując od powierzchni danego obszaru powierzchnię całkowicie nieprzepuszczalną (Imperviousness Density, 2018) <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018>

²⁰ Miara różnorodności jest wskaźnik Shannona-Wienera ($H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$, gdzie S – liczba gatunków, p_i – stosunek liczby osobników danego gatunku do liczby wszystkich osobników ze wszystkich gatunków: $\frac{n_i}{N}$, n_i – liczba osobników i-tego gatunku, N – liczba wszystkich osobników ze wszystkich gatunków); informacje o gatunkach drzew uzyskano z Mapy Koron Drzew dla Warszawy <https://mapa.um.warszawa.pl/mapaApp1/mapa?service=zielen>

Tabela 17. Usługa ekosystemowa wg CICES V5.1 i metadane złożonego wskaźnika potencjału zieleni miejskiej towarzyszącej różnym typom zabudowy do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody

Świadczenie ekosystemowe		Możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury
CICES 5.1	Sekcja	Kulturowe
	Dział	Bezpośrednie interakcje, in situ i w terenie, z systemami biologicznymi, zależne od ich obecności w warunkach naturalnych
	Grupa	Fizyczne i doświadczalne interakcje ze środowiskiem przyrodniczym
	Klasa	Cechy systemów biologicznych umożliwiające działania wspierające zdrowie, regenerację sił albo rozrywkę poprzez interakcje aktywne lub angażujące /pasywne lub obserwujące
	Kod	3.1.1.1/3.1.1.2
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Potencjał zieleni miejskiej towarzyszącej różnym typom zabudowy do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody
Wskaźnik		Wskaźnik złożony, określany jako suma punktów z następujących wskaźników cząstkowych: (1) udziału drzew, (2) dostępnej powierzchni biologicznie czynnej (PBC) na osobę, (3) publicznej dostępności do zieleni, (4) wskaźnika różnorodności
Akronim		REK_OSIEDLA
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		(1) stopień zwarcia koron drzew (przyjęto próg ok. 30% jako minimum zapewniające odpowiednie warunki klimatyczne i aerosanitarne), (2) dostępna PBC na osobę (przyjęto normę 6 m ² PBC na osobę), (3) publiczna dostępność do zieleni (wszystkie ograniczenia dostępności oceniane były negatywnie), (4) walory estetyczne określone wskaźnikiem różnorodności gatunków drzew (pozytywną ocenę uzyskały obiekty o wartości wskaźnika powyżej 3). Każdemu elementowi przypisano 0 lub 1 punkt w zależności od spełnienia ww. założeń. Suma uzyskanych punktów stanowi wartość wskaźnika potencjału.
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Złożony
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony i oszacowany
Skala pomiaru		Wartości wskaźników cząstkowych zamienione na punkty (0-1)
Teoretyczny zakres wartości		0-4
Jednostka miary		-
Jednostka przestrzenna odniesienia		Strefy morfologiczne Warszawy
Odniesienie do poziomu planowania		Lokalne
Dane źródłowe	Opis danych	1. mapa stref morfologicznych miasta, 2. mapa obszarów MSI (w tym liczba mieszkańców), 3. Mapa Koron Drzew dla Warszawy, 4. Urban Atlas 2018 (rozmieszczenie ludności), 5. Tree Cover Density 2018, 6. Imperviousness Density 2018
	Dysponent danych	1-3. Biuro Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m.st.

	Warszawy, 4-6. Europejska Agencja Środowiska (EEA)
Link do bazy danych	3. https://mapa.um.warszawa.pl/mapaApp1/mapa?service=zielen 4. https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas 5. https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018 6. https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolutionlayers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018
Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Komórka rastra 10 × 10 m
Format danych	1-4. dane wektorowe (shapefile), 5-6. dane rastrowe (GeoTIFF)
Pokrycie kraju	Warszawa
Aktualność danych	1. 2022, 2. 2018 (aktualizowane po zmianach granic), 3. 2021, 4. 2017-2019, 5-6. 2018
Dostępność danych	1-3. na wniosek do Urzędu m.st. Warszawy, nieodpłatne, 4-6. ogólnodostępne



Gatunki drzew

brzoza	jarząb	platan	topola
buk	jesion	robinia	wierzba
dąb	kasztanowiec	śliwa, wiśnia, jabłoń, grusza	wiąz
grab	klon	świerk, sosna, jodła, modrzew, daglezja, cis, żywotnik	inne
głóg	lipa		brak danych

Ryc. 31. Zróżnicowanie gatunków drzew występujących na terenie obszarów: a. Nowa Praga, b. Śródmieście Północne, c. Chomiczówka, d. Bemowo-Lotnisko, e. Zacisze, f. Anin

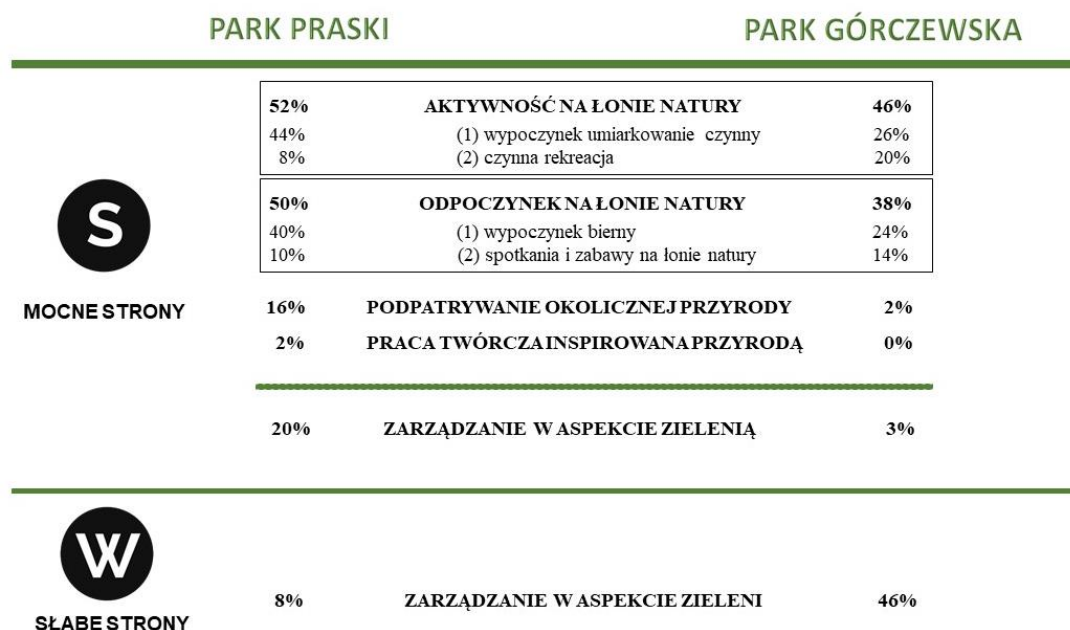
Wartości wskaźników

Wskaźnik potencjału do rekreacji i odpoczynku przyjmuje zbliżone wartości dla obu parków – 4,5 (Park Praski) oraz 4,6 (Park Górczewska).

Analiza komentarzy pozwoliła na poznanie aspektów wpływających na przyznawanie ocen. Na podstawie komentarzy pozytywnych, możemy stwierdzić, że generalnie oba parki mają potencjał do realizacji świadczenia związanego z aktywnością na łonie natury. Zauważalna jest jednak znaczna różnica między parkami w odniesieniu do możliwości wypoczynku umiarkowanie czynnego (spacer) oraz biernego (np. siedzenie, czytanie książki). W tym przypadku większym potencjałem charakteryzuje się Park Praski. Z kolei w przypadku czynnej rekreacji (jazda na rowerze, rolkach i itp.) oraz świadczenia związanego z interakcjami społecznymi (np. spotkania rodzinne, grill, piknik) odpowiedzi wskazują na większy potencjał Parku Górczewska (ryc. 32).

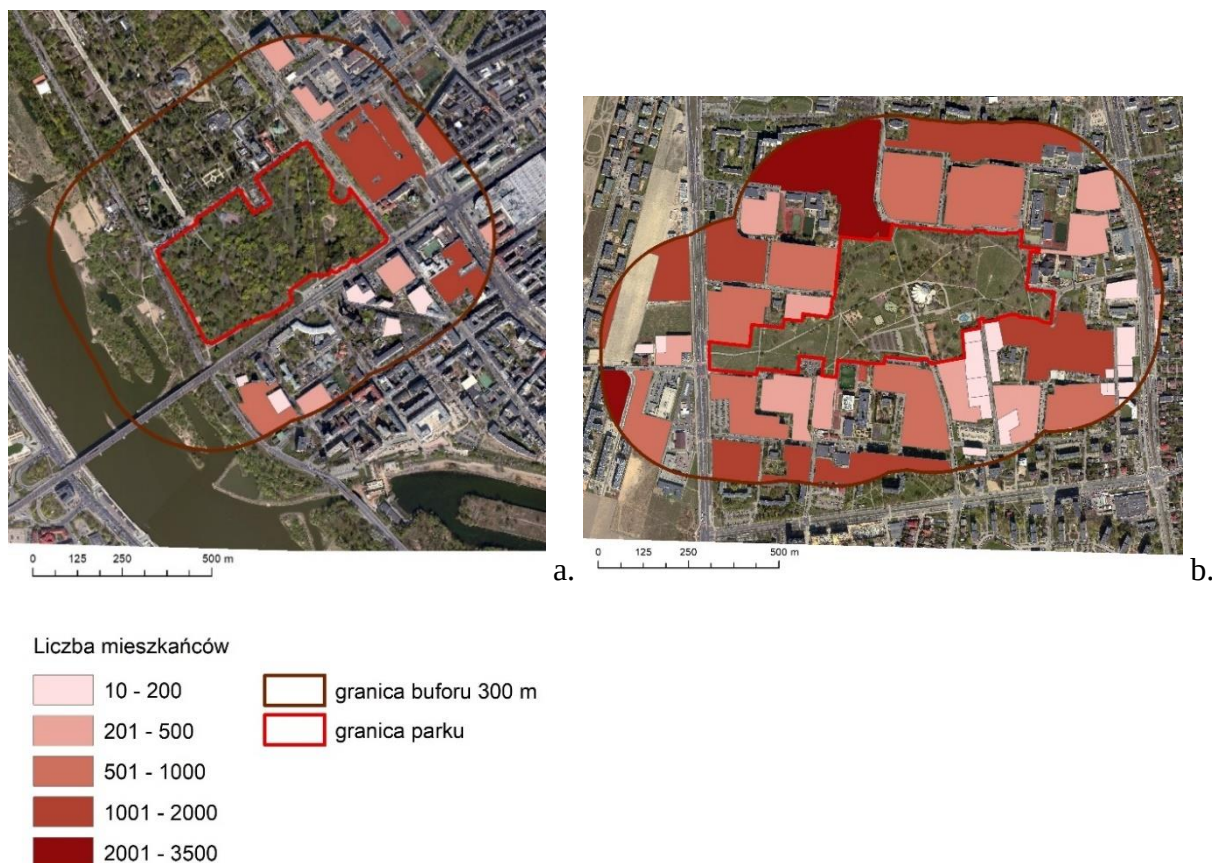
O odmiennym charakterze parków świadczą również odpowiedzi, które można powiązać z innymi świadczeniami kulturowymi (podpatrywanie okolicznej przyrody, praca twórcza inspirowana naturą) czy regulacyjnymi (modyfikowanie temperatury i nasłonecznienia). Wszystkie wskazują na większą możliwość realizacji tych usług przez Park Praski.

Komentarze z niską punktacją (komentarze niepozytywne) dotyczące zieleni są szczególnie zarysowane w przypadku Parku Górczewska, zarówno jeśli chodzi o ich liczbę jak i zawarty stosunek emocjonalny. Wskazują na dużą potrzebę przearanżowania przestrzeni parku w zakresie zieleni, tak by zaspokajała również potrzeby związane z wypoczynkiem na łonie natury w biernym lub umiarkowanym zakresie. Duża liczba osób wskazuje na brak drzew, a przez to niedostatek miejsc tworzących enklawy do odpoczynku biernego i relaksu, schronienia w cieniu.



Ryc. 32. Analiza SWOT potencjału do rekreacji i odpoczynku związanego z zielenią dla dwóch parków miejskich.

W otoczeniu Parku Praskiego mieszka ponad trzy razy mniej osób niż w zabudowie sąsiadującej z Parkiem Górczewska (odpowiednio 8645 i 29 054 osób w buforze 300 m od granic parków – ryc. 33). Dla Parku Praskiego (pow. 17,6 ha) uzyskano wartość wskaźnika 496 osób ha⁻¹, a dla Parku Górczewska (pow. 21,4 ha) 1360 osób ha⁻¹. Jednak sąsiedztwo Parku Praskiego z Miejskim Ogrodem Zoologicznym sprawia, że wykorzystanie tego parku, zwłaszcza w weekendy i dni wolne, może być znacznie większe niż pokazuje wskaźnik, który dotyczy jedynie wykorzystania parków przez osoby mieszkające w najbliższym sąsiedztwie.



Ryc. 33. Liczba osób mieszkających w zabudowie znajdującej się w buforze 300 m od granic parków: a. Park Praski, b. Park Górczewska

Wskaźnik potencjału zieleni miejskiej towarzyszącej różnym typom zabudowy do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody przyjmuje najwyższą wartość 4, a najniższą 1 (tab. 18). Do tej pierwszej kategorii należy osiedle modernistyczne Chomiczówka. Drugie osiedle reprezentujące ten sam typ morfologiczny Bemowo-Lotnisko uzyskało znacznie niższą wartość wskaźnika (2) co związane jest z niskim udziałem drzew oraz ograniczonym dostępem do zieleni towarzyszącej zabudowie. Najniższy potencjał do odpoczynku i rekreacji wykazała zabudowa kamienicowa w Śródmieściu Północnym – tylko w przypadku jednej składowej – wskaźnika różnorodności możliwe było przyznanie 1 punktu. Znacznie wyższy potencjał (3) ma zabudowa kamienicowa na Nowej Pradze. W tym przypadku tylko udział drzew nie spełniał przyjętych kryteriów i nie mógł być oceniony pozytywnie. Osiedla reprezentujące zabudowę jednorodzinną uzyskały jednakową wartość wskaźnika (2). W obu przypadkach dostęp do zieleni jest ograniczony, ale występują różnice w zakresie udziału drzew oraz wskaźnika różnorodności.

Tabela 18. Wskaźnik potencjału zieleni miejskiej towarzyszącej różnym typom zabudowy do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody oraz jego składowe

Obiekt	Dzielnica	Typ morfologiczny	Powierzchnia [ha]	Powierzchnia nieprzepuszczalna [%]	Liczba mieszkańców	Stopień zwarcia koron drzew [%]	PBC [m ² ·os ⁻¹]	Dostęp*	Wskaźnik różnorodności	Wskaźnik potencjału
Nowa Praga	Praga Północ	zabudowa kamienicowa	6,1	56,6	2411	5,9 [0]	11,1 [1]	d [1]	4,03 [1]	3
Śródmieście Północne	Śródmieście	zabudowa kamienicowa	11,0	90,6	1766	0,4 [0]	5,8 [0]	bd [0]	3,84 [1]	1
Chomiczówka	Bielany	osiedle modernistyczne	22,0	22,3	4009	27,6 [1]	42,6 [1]	d [1]	4,02 [1]	4
Bemowo-Lotnisko	Bemowo	osiedle modernistyczne	17,9	50,0	8095	6,7 [0]	11,1 [1]	bd [0]	3,98 [1]	2
Zacisze	Targówek	zabudowa jednorodzinna	30,4	44,8	2497	7,7 [0]	67,0 [1]	bd [0]	4,03 [1]	2
Anin	Wawer	zabudowa jednorodzinna	21,5	9,5	377	51,5 [1]	516,8 [1]	bd [0]	2,44 [0]	2

* d/bd – dostęp/brak dostępu

LITERATURA

- Affek, A.N., Degórski, M., Wolski, J., Solon, J., Kowalska, A., Roo-Zielińska, E., Grabińska, B., Kruczkowska, B., 2020. *Ecosystem service potentials and their indicators in postglacial landscapes: Assessment and mapping*. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier.
- Armson, D., Stringr, P., Ennos, A.R., 2012. *The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area*. Urban Forestry and Urban Greening, 11: 245-255.
- Atlas Ekofizjograficzny Warszawy, 2018. *Atlas ekofizjograficzny miasta stołecznego Warszawy*. Warszawa. <https://architektura.um.warszawa.pl/-/atlas-ekofizjograficzny-warszawy>.
- Belaire, J.A., Westphal, L.M., Whelan, C.J., Minor, E.S., 2015. *Urban residents' perceptions of birds in the neighborhood: Biodiversity, cultural ecosystem services, and disservices*. The Condor, 117:192-202.
- Berry, B., 1990. Urbanization. W: B. Turner II (red.), *The Earth as transformed by human action* (s. 103-119). Cambridge: Cambridge University Press.
- Błazejczyk, K., 2002. *Znaczenie czynników cyrkulacyjnych i lokalnych w kształtowaniu klimatu i bioklimatu aglomeracji warszawskiej*. Dokumentacja Geograficzna, 26, Warszawa: IGiPZ PAN.
- Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. *Ecosystem services in urban areas*. Ecological Economics, 29: 293-301.
- Brack, C.L., 2002. *Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest*. Environmental Pollution, 116: 195-200.
- Brunzel, S., Kellermann, J., Nachev, M., Sures, B., Hering, D., 2018. *Energy crop production in an urban area: a comparison of habitat types and land use forms targeting economic benefits and impact on species diversity*. Urban Ecosystems, 21: 615-623.
- Brown, G., Fagerholm, N., 2015. *Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: A review and evaluation*. Ecosystem Services, 13: 119-133.
- Brown, G., Montag, J.M., Lyon K., 2012. *Public participation GIS: a method for identifying ecosystem services*. Society and Natural Resources, 25: 633-651.
- Brown, G., Schebella, M.F., Weber, D., 2014. *Using participatory GIS to measure physical activity and urban park benefits*. Landscape and Urban Planning, 121: 34-44.
- Cheng, X., Van Damme, S., Li, L., Uyttenhove, P., 2019. *Evaluation of cultural ecosystem services: A review of methods*. Ecosystem Services, 37: 100925.
- Cohen, D.A., Marsh, T., Williamson, S., Derose, K.P., Martinez, H., Setodji, C., McKenzie, T.L., 2010. *Parks and physical activity: why are some parks used more than others?* Preventive Medicine, 50: 9-12.
- Crouzeilles, R., Prevedello, J.A., Figueiredo, M.S.L., Lorini, M.L., Grelle, C.E.V., 2014. *The effects of the number, size and isolation of patches along a gradient of native vegetation cover: how can we increment habitat availability?* Landscape Ecology, 29: 479-489.
- Degórska, B., 2017. *Urbanizacja Przestrzenia terenów wiejskich na obszarze metropolitalnym Warszawy, kontekst ekologiczno-krajobrazowy*. Prace Geograficzne, 262, Warszawa: IGiPZ PAN.
- Degórski, M., Wolski, J., Affek, A., Degórska, B., Kowalska, A., Regulska, E., Solon, J., 2021b. *Opracowanie studium przypadku istotnych usług ekosystemów zurbanizowanych w skali regionalnej oraz lokalnej*. Warszawa: IGIPZ PAN.
- Degórski, M., Affek, A., Degórska, B., Kowalska, A., Wolski, J., Solon, J., Regulska, E., 2022. *Identyfikacja znaczących interakcji (wspierających i osłabiających) między usługami ekosystemowymi oraz istotnych zestawów usług na przykładzie Warszawy*. Warszawa: IGIPZ PAN.
- Depietri, Y., Renaud, F.G., Kallis, G., 2012. *Heat waves and floods in urban areas: a policy-oriented review of ecosystem services*. Sustainability Science, 7: 95-107.
- Encyklopedia Warszawy, 1994. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

- Dwyer, J.F., Schroeder, H.W., Gobster, P.H., 1991. *The significance of urban trees and forests: toward a deeper understanding of values*. Journal of Arboriculture, 17:276-284.
- Estornell, J., Ruiz, L.A., Velázquez-Martí, B., Hermosilla, T., 2012. *Estimation of biomass and volume of shrub vegetation using LiDAR and spectral data in a Mediterranean environment*. Biomass and Bioenergy, 46: 710-721.
- EEA, 2022. *Copernicus Land Monitoring Service; High Resolution Vegetation Phenology And Productivity (HR-VPP), Daily Raw Vegetation Indices. User Manual. Issue 2.2*. European Environment Agency. <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/product-user-manual-of-vegetation-indices>
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P.J., McDonald, R.I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K.C., 2013. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Springer.
- Elmqvist, T., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., 2016. *Ecosystem Services Provided by Urban Green Infrastructure*. W: R. Haines-Young, R. Fish, R. Turner (red.), *Routledge Handbook of Ecosystem Services*. Abingdon: Routledge.
- Escobedo, F.J., Nowak, D.J., 2009. *Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest*. Landscape and Urban Planning, 90: 102-110.
- Fang, C.F., Ling, D.L., 2005. *Guidance for noise reduction provided by tree belts*. Landscape and Urban Planning, 71: 29-34.
- FAO, 1998. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper, 56. Rome: FAO.
- Geary, R.S., Wheeler, B., Lovell, R., Jepson, R., Hunter, R., Rodgers, S., 2021. *A call to action: Improving urban green spaces to reduce health inequalities exacerbated by COVID-19*. Preventive Medicine, 145: 106425.
- Główka, M., Kleczkowski, H., 2004. *Optymalizacja produkcji energii przez Elektrociepłownię Warszawskie*. Rzeczpospolita: 03-16.
- Grahn, P., Stigsdotter, U.A., 2003. *Landscape planning and stress*. Urban Forestry and Urban Greening, 2: 1-18.
- Ha, J., Kim, H.J., With, K.A., 2022. *Urban green space alone is not enough: A landscape analysis linking the spatial distribution of urban green space to mental health in the city of Chicago*. Landscape and Urban Planning, 218: 104309.
- Hartig, T., Mitchell, R., Vries, S., Frumkin, H., 2014. *Nature and health*. The Annual Review of Public Health, 35: 207-228.
- Hewitt, C.N., Ashworth, K., MacKenzie, A.R., 2019. *Using green infrastructure to improve urban air quality (GI4AQ)*. Ambio, 49: 62-73.
- Kamble, B., Irmak, A., Hubbard, K., 2013. *Estimating Crop Coefficients Using Remote Sensing-Based Vegetation Index*. Remote Sensing, 5: 1588-1602.
- Kaplan, R., 2001. *The nature of the view from home: psychological benefits*. Environment and Behavior, 33: 507-42.
- Kasperska-Wołowicz, W., Łabędzki, L., 2004. *Porównanie ewapotranspiracji wskaźnikowej według Penmana i Penmana-Monteitha w różnych regionach Polski*. Woda-Środowisko-Obszary wiejskie, 4: 123-136.
- Konijnendijk van den Bosch, C.C., 2021. *Promoting health and wellbeing through urban forests – Introducing the 3-30-300 rule*. LinkedIn [https://www.linkedin.com/pulse/promoting-health-wellbeing-through-urban-forests-rule-cecil/?trackingId=]
- Konijnendijk van den Bosch, C.C., 2022. *Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3–30–300 rule*. Journal of Forest Research.

- Kosmala, M., Błaszczyk, M., 2012. *Spoleczny wymiar zieleni i jej wpływ na jakość życia mieszkańców miast*. Przegląd Komunalny, 8: 251.
- Kothencz, G., Kolcsár, R., Cabrera-Barona, P., Szilassi, P., 2017. *Urban Green Space Perception and Its Contribution to Well-being*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14: 766.
- Kuo, F.E., Sullivan, W.C., 2001. *Environment and crime in the inner city: does vegetation reduce crime?* Environment and Behavior, 33: 343-367.
- Lin, X.J., Barrington, S., Nicell, J., Choiniere, D., 2007. *Effect of natural windbreaks on maximum odour dispersion distance (MODD)*. Canadian Biosystems Engineering, 49: 21-32.
- Livesley, S.J., McPherson, G.M., Calfapietra, C., 2016. *The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale*. Journal of Environmental Quality, 45: 119-124.
- Luniak, M., Kozłowski, P., Nowicki, W., Plit, J., 2001. *Ptaki Warszawy 1962-2000*. Atlas Warszawy, 8. Warszawa: IGIPZ PAN.
- Maes, J., Zulian, G., Thijssen, M., Castell, C., Baró, F., et al., 2016. *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Urban Ecosystems*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Manes, F., Silli, V., Salvatori, E., Incerti, G., Galante, G., Fusaro, L., Perrino, C., 2014. *Urban ecosystem services: tree diversity and stability of PM10 removal in the metropolitan area of Rome*. Annali di Botanica, 4: 19-26.
- Manes, F., Marando, F., Capotorti, G., Blasi, C., Salvatori, E., Fusaro, L., Ciancarella, L., Mircea, M., Marchetti, M., Chirici, G., Munafò, M., 2016. *Regulating Ecosystem Services of forests in ten Italian Metropolitan Cities: Air quality improvement by PM10 and O3 removal*. Ecological Indicators, 67: 425-440.
- Nielsen, A.B., Bosch, V.D.M., Maruthaveeran, S., Bosch, V.D.K.C., 2014. *Species richness in urban parks and its drivers: a review of empirical evidence*. Urban Ecosystems, 17: 305-327.
- Nielsen, T.S., Hansen, K.B., 2007. *Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators*. Health & Place, 13: 839-850.
- Nowak, D.J., 1994. Air pollution removal by Chicago's urban forest. W: E.G. McPherson, D.J. Nowak, R.A. Rowntree (red.), *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186* (s. 63-81). Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Odum, E.P., 1982. *Podstawy ekologii*. Warszawa: PWRiL.
- Parker, D.B., Malone, W., Walter, D., 2012. *Vegetative environmental buffers and exhaust fan deflectors for reducing downwind odor and VOCs from tunnel ventilated swine barns*. Trans. ASABE 55:227-240.
- Paul, M.J., Meyer, J.L., 2001. *Streams in the urban landscape*. Annual Review of Ecology and Systematics, 32: 333-365.
- Popek, R., Gawrońska, H., Gawroński, S.W., 2015. *The level of particulate matter on foliage depends on the distance from the source of emission*. International Journal of Phytoremediation, 17: 1262-1268.
- Przybysz, A., Wińska-Krysiak, M., Małecka-Przybysz, M., Stankiewicz-Kosyl, M., Skwara, M., Kłos, A., Kowalczyk, S., Jarocka, K., Sikorski, P., 2020. *Urban wastelands: On the frontline between air pollution sources and residential areas*. Science of the Total Environment, 721: 137695.
- Richling, A., Solon, J., 2011. *Ekologia krajobrazu*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Rocha, S.M., Zulian, G., Maes, J., Thijssen, M., 2015. *Mapping and assessment of urban ecosystems and their services*. EUR 27706 EN.

- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H., Gawronski, S.W., 2012. *Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces*. Science of the Total Environment, 427-428: 347-354.
- Schoonover, J.E., Lockaby, B.G., Helms, B.S., 2006. *Impacts of land cover on stream hydrology in the west Georgia piedmont, USA*. Journal of Environmental Quality, 35: 2123-2131.
- Schwarz, N., Bauer, A., Haase, D., 2011. *Assessing climate impacts of planning policies – An estimation for the urban region of Leipzig (Germany)*. Environmental Impact Assessment Review 31: 97-111.
- Sikorska, D., Macegoniuk, S., Łaszkiewicz, E., Sikorski, P., 2020. *Energy crops in urban parks as a promising alternative to traditional lawns – Perceptions and a cost-benefit analysis*. Urban Forestry and Urban Greening, 49: 126579.
- Skelhorn, C., Lindley, S., Levermore, G., 2014. *The impact of vegetation types on air and surface temperature in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK*. Landscape and Urban Planning, 121: 129-140.
- Solon, J., Roo-Zielińska, E., Affek, A., Kowalska, A., Kruczkowska, B., Wolski, J., Degórski, M., Grabińska, B., Kołaczkowska, E., Regulska, E., Zawiska, I., 2017. *Świadczenia ekosystemowe w krajobrazie młodogłacjalnym. Ocena potencjału i wykorzystania*. Warszawa: Wydawnictwo Akademickie SEDNO i IGiPZ PAN.
- Strategia #Warszawa2030, 2018. <https://um.warszawa.pl/waw/strategia/strategia-rozwoju-miasta>
- Ulmer, J.M., Wolf, K.L., Backman, D.R., Tretheway, R.L., Blain, C.J., O'Neil-Dunne, J.P., Lawrence, D.F., 2016. *Multiple health benefits of urban tree canopy: the mounting evidence for a green prescription*, Health & Place, 42: 54-62.
- Ulrich, R.S., 1984. *View through a window may influence recovery from surgery*. Science, 224: 420-1.
- Tyagi, V., Kumar, K., Jain, V.K., 2013. *Road Traffic Noise Attenuation by Vegetation Belts at Some Sites in the Tarai Region of India*. Archives of Acoustics, 38: 389-395.
- Tyndall, J.C., Colletti, J.P., 2007. *Mitigating Swine Odor with Strategically Designed Shelterbelt Systems: A Review*. Agroforestry Systems, 69:45-65.
- Tyrväinen, L., Pauleit, S., Seeland, K., de Vries, S., 2005. *Benefits and Uses of Urban Forests and Trees*. W: C.C. Konijnendijk van den Bosch, K. Nilsson, T.B. Randrup, J. Schipperijn (red.), *Urban Forest and Trees* (s. 81-114). Berlin, Heidelberg: Springer.
- USDA, 2008. *Conservation Buffers. Design Guidelines for Buffers, Corridors, and Greenways*. General Technical Report SRS-109 September 2008. United States Department of Agriculture; Forest Service Southern Research Station.
- Wang, D., Brown, G., Liu, Y., 2015. *The physical and non-physical factors that influence perceived access to urban parks*. Landscape and Urban Planning, 133: 53-66.
- Weinbrenner, H., Breithut, J., Hebermehl, W., Kaufmann, A., Klinger, T., Palm, T., Wirth, K., 2021. *“The Forest Has Become Our New Living Room” – The Critical Importance of Urban Forests During the COVID-19 Pandemic*. Frontiers in Forests and Global Change, 4: 672909.
- WHO, 2017. *Urban green spaces: A brief for action*. World Health Organization, Regional Office for Europe. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/344116>
- Xu, C., Han, B., Lu, F., Wu, T., 2022. *Assessing the Traffic Noise Reduction Effect of Roadside Green Space Using LiDAR Point Cloud Data in Shenzhen, China*. Forests 13: 13050765.
- Yang, J., McBride, J., Zhou, J., Sun, Z., 2005. *The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction*. Urban Forestry and Urban Greening, 3: 65-78.
- Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M., Vejre, H., 2020. *Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold size perspective*. Urban Forestry and Urban Greening, 49: 126630.

- Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., Van Eupen, M., 2017. *Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning*. Ecosystem Services, 26: 225-235.
- Zhao, N., Prieur, J.F., Liu, Y., Kneeshaw, D., Lapointe, E.M., Paquette, A., Zinszer, K., Dupras, J., Villeneuve, P.J., Rainham, D.G., Lavigne, E., Chen, H., van den Bosch, M., Oiamo, T., Smargiassi, A., 2021. *Tree characteristics and environmental noise in complex urban settings – A case study from Montreal, Canada*. Environmental Research 202:111887.
- Ziter, C.D., Pedersen, E.J., Kucharik, Ch.J., Turner, M.G., 2019. *Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 116 (15): 7575-7580.