



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

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

Raport

Opracowanie wektorowych map wielkości wybranych i istotnych usług ekosystemów zurbanizowanych w skali krajowej

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, 30.09.2021

1. Wstęp

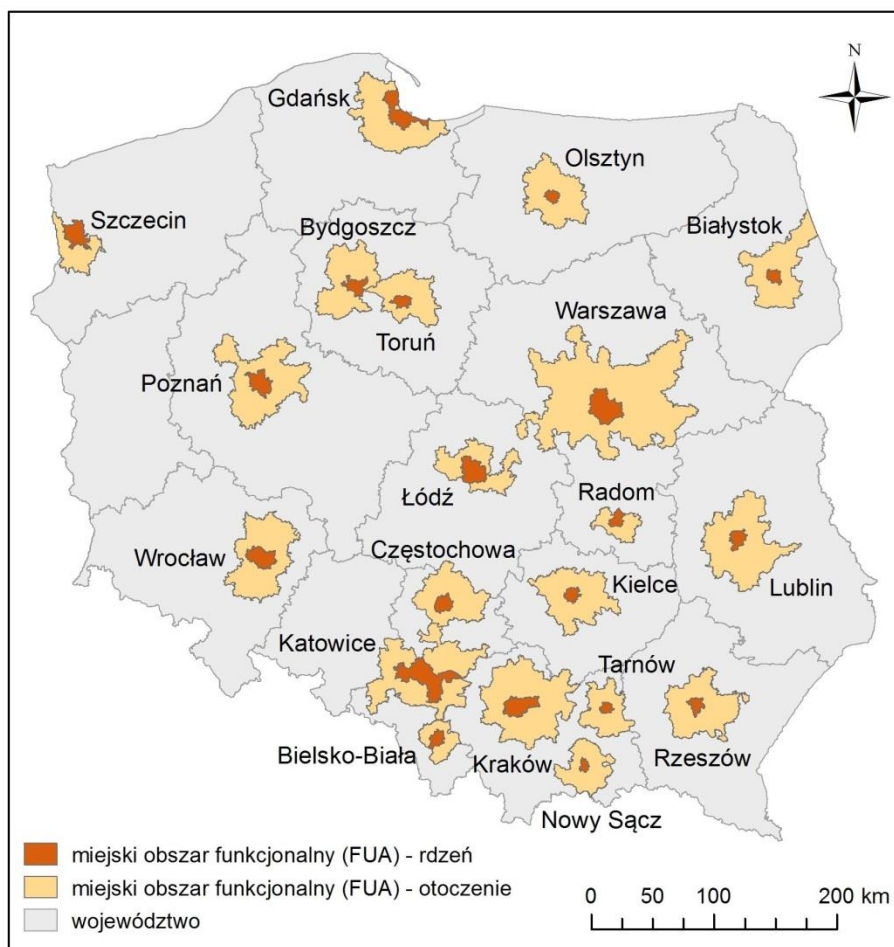
Istotę problemu jakości życia w obszarach silnie zurbanizowanych i prób jego poprawy poprzez wykorzystanie usług ekosystemowych podkreślają liczne prace badawcze, których wyniki są obecnie syntetyzowane w literaturze światowej (Arslan i in., 2021; Dell'Ovo i Oppio, 2021; Russo i Cirella, 2021). Również w Polsce w ostatniej dekadzie wzrosło zainteresowanie usługami ekosystemowymi w miastach (Kronenberg, 2012; Degórski, 2017; Zwierzchowska i Mizgajski, 2019), jakkolwiek prac z tego zakresu jest jeszcze stosunkowo niewiele w porównaniu z literaturą zagraniczną. Szczególnie istotne z punktu widzenia aplikacyjnego jest wykorzystywanie wyników przestrzennego zróżnicowania świadczeń ekosystemowych w obszarach metropolitalnych dla planowania przestrzennego i gospodarowania gruntami, których nadrzędnym efektem ma być osiąganie dobrostanu mieszkańców.

Celem drugiego etapu realizowanego zadania dotyczącego ekosystemów obszarów zurbanizowanych w ramach projektu „Usługi świadczone przez główne typy ekosystemów w Polsce – podejście systemowe”, którego dotyczy ten raport, było opracowanie wektorowych map wybranych i istotnych usług ekosystemów zurbanizowanych w skali krajowej. Wskaźniki usług ekosystemowych zostały wybrane z zaproponowanego przez Zespół zestawu 78 indykatorów opisanych w pierwszym etapie realizacyjnym projektu oraz uzupełnione nowymi propozycjami, których realizacja stała się możliwa z uwagi na aktualną dostępność danych. Stanowią one zatem oryginalne i nowatorskie podejście w ocenie świadczeń ekosystemów miejskich obszarów funkcjonalnych, jak również są rozszerzeniem zakresu opracowanych przez I. Zwierzchowską i A. Mizgajskiego (2019) wskaźników związanych z zasobnością i rozkładem przestrzennym zielonej infrastruktury w największych aglomeracjach naszego kraju, odnoszących się do świadczeń: regulacja klimatu lokalnego, wykorzystanie zielonej infrastruktury dla rekreacji, przechwytywanie wód opadowych, czy też przeciwdziałanie powodzi przez zdolność do retencji dolinowej.

Opracowane przez nas w tym etapie realizacji projektu wskaźniki (10) obejmują usługi zaopatrzeniowe (wykorzystanie przestrzeni rolniczej obszarów metropolitalnych do zaspokajania celów żywieniowych), regulacyjne (regulacja obiegu wody, w tym przeciwdziałanie powodzi; regulacja temperatury i wilgotności powietrza; oczyszczanie powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka; regulacja składu chemicznego atmosfery; utrzymywanie matecznych populacji organizmów żywych) i kulturowe (możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury). Wybór usług i opisujących je wskaźników opierał się na analizie istotności zjawisk i procesów zachodzących w przestrzeni zurbanizowanej z punktu widzenia dobrostanu mieszkańców. Wskaźniki odnoszą się do potencjału, wykorzystania lub niezaspokojonego zapotrzebowania. W przypadku kilku analizowanych usług, zaproponowane wskaźniki charakteryzują się wysoką koincydencją z innymi świadczeniami, tworząc tzw. „wiązki” ściśle ze sobą powiązanych świadczeń.

Wskaźniki zostały policzone dla wszystkich 20 miejskich obszarów funkcjonalnych (*functional urban area* – FUA) o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250) w Polsce, czyli takich, które charakteryzują się liczbą ludności powyżej 250 tys., zgodnie z klasyfikacją OECD (2021) (ryc. 1). Obliczenia prowadzono dla rdzenia FUA, czyli głównego ośrodka miejskiego lub ośrodków miejskich tworzących tzw. miejskie centrum (*urban centre*),

otoczenia, które wg OECD jest strefą dojazdów do pracy (*commuting zone*) oraz całego obszaru FUA (Dijkstrai i in., 2019; OECD, 2020).



Ryc. 1. Miejskie obszary funkcjonalne (*functional urban area* – FUA) o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250) w Polsce

Miejskie obszary funkcjonalne o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250) tworzą bardzo istotną strukturę krajowego systemu osadniczego. Łączna powierzchnia badanych obszarów wynosi 49,1 tys. km², co stanowi około 15,7% powierzchni Polski, zaś ludność mieszkająca w tych obszarach wynosiła w 2015 r., czyli w momencie, gdy wyznaczano zasięgi FUA, około 16,33 mln osób, co stanowi ponad 43,9% ludności naszego kraju. Biorąc pod uwagę tylko rdzenie to zajmują one 4,56 tys. km² czyli około 1,5% powierzchni Polski, a zamieszkuje je 9,58 mln osób, czyli ponad 26% ludności naszego kraju (tab. 1). Dane te podkreślają wagę problemu dotyczącego standardów życia mieszkańców tych obszarów. W kontekście jakości życia, czyli dobrostanu ogromną rolę do spełnienia mają ekosystemy i ich usługi. Wartość tych usług powinna znajdować odzwierciedlenie w regulacjach prawnych z zakresu planowania przestrzennego, prawa miejscowego oraz ochrony środowiska.

Tabela 1. Powierzchnia i liczba ludności miejskich obszarów funkcjonalnych o statusie obszaru metropolitalnego w 2015 r.

Kod FUA	Nazwa FUA	Powierzchnia [km ²]			Ludność [tys.]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem	Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	517,2	8097,4	8614,6	1744	1343	3087
PL002	Łódź	335,6	1359,7	1695,3	758	161	919
PL003	Kraków	326,8	3430,5	3757,3	761	627	1388
PL004	Wrocław	292,8	2355,3	2648,1	636	219	855
PL005	Poznań	261,8	2830,2	3092,0	542	433	975
PL006	Gdańsk	396,8	2232,9	2629,7	710	417	1127
PL007	Szczecin	300,5	828,4	1128,9	406	314	720
PL008	Bydgoszcz	176,0	1924,6	2100,6	356	148	504
PL009	Lublin	147,4	3074,7	3222,2	341	333	674
PL010	Katowice	745,5	3199,9	3945,3	1467	1086	2553
PL011	Białystok	102,1	2134,2	2236,3	296	128	424
PL012	Kielce	109,6	2133,6	2243,3	198	200	398
PL013	Toruń	115,7	1472,9	1588,6	203	120	323
PL014	Olsztyn	88,3	1935,2	2023,6	174	866	260
PL015	Rzeszów	116,4	2175,5	2291,8	186	317	503
PL020	Nowy Sącz	57,6	1246,3	1303,9	84	182	266
PL024	Częstochowa	159,7	1778,0	1937,7	228	174	402
PL025	Radom	111,8	568,7	680,5	216	67	285
PL506	Bielsko-Biała	124,5	609,7	734,2	172	188	361
PL514	Tarnów	72,4	1183,1	1255,5	111	196	307
Suma		4558,7	44570,7	49129,4	9587	6743	16331

Źródło: Bank Danych Lokalnych (GUS), <https://bdl.stat.gov.pl/BDL>

2. Świadczenia ekosystemowe

2.1. Świadczenia zaopatrzeniowe

2.1.1. Potencjalne wykorzystanie przestrzeni rolniczej obszarów metropolitalnych do zaspokajania celów żywieniowych

Usługa ta należy do sekcji Zaopatrzenie, działu Biomasa (tab. 2). Przedmiotem pomiaru jest zasób gleb obszarów metropolitalnych do ich potencjalnego wykorzystania dla upraw roślin lądowych w celu pozyskiwania żywności. Zaproponowano dwa wskaźniki pośrednie: zasoby gruntów dla lądowych upraw roślinnych w przeliczeniu na jednego mieszkańca oraz udział gruntów dla lądowych upraw roślinnych w ogólnej powierzchni jednostki (tab. 2).

Niezależnie od zaspokajania potrzeb żywieniowych, obszary rolnicze odgrywają również ważną rolę w regulacji obiegu wody w zlewniach miejskich, stanowią powierzchnię biologicznie czynną o właściwościach retencyjnych, szczególnie dużych na glebach organicznych i wysoce próchnicznych, wpływając na ograniczanie zagrożenia powodziowego. Roślinność uprawiana na obszarach rolniczych świadczy również usługi w zakresie produkcji tlenu, sekwestracji węgla, ograniczania erozji, głównie przez trwałe użytki zielone. Jednak niektóre z upraw przyczyniają się do zwiększania erozji powierzchniowej, a środki chemicznej ochrony roślin do zanieczyszczania wód i gleby, zaś nawozy do

eutrofizacji (*disservices*). W miastach, tereny rolnictwa miejskiego często są traktowane jako obszary rekreacji, ale także korzystnie wpływają na ograniczanie negatywnych skutków miejskiej wyspy ciepła, mogą wspomagać system wentylacji miasta, jak i tworzyć wartości krajobrazowe.

Tabela 2. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika zasoby gruntów dla upraw roślinnych na mieszkańca

Świadczenie ekosystemowe		Zaspokajanie potrzeb żywieniowych
CICES 5.1	Sekcja	Zaopatrzenie
	Dział	Biomasa
	Grupa	Rośliny lądowe i grzyby uprawiane dla pozyskania żywności, materiałów lub energii
	Klasa	Rośliny lądowe, grzyby i glony uprawiane dla pozyskania żywności
	Kod	1.1.1.1
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Potencjalne wykorzystanie przestrzeni rolniczej obszarów metropolitalnych do zaspokajania celów żywieniowych (określano zasób gleb obszarów metropolitalnych do ich potencjalnego wykorzystania dla upraw roślin lądowych w celu pozyskiwania żywności)
Wskaźnik		Zasoby gruntów dla lądowych upraw roślinnych na mieszkańca
Akronim		UR1
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		Iloraz sumy powierzchni gruntów ornych, sadów i użytków zielonych danej jednostki do liczby mieszkańców tej jednostki
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – ∞
Jednostka miary		Ar na osobę
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Regionalne, krajowe
Dane	Opis danych	Baza danych wg Ewidencji Gruntów i Budynków (EGiB) dla gmin, powiatów i województw

Dysponent danych	Dane dla użytków rolnych: Główny Urząd Geodezji i Kartografii (wg województw i powiatów), starostwa powiatowe oraz GUS (BDL tylko dla okresu 2012-2014) Dane dla ludności: GUS
Link do bazy danych	https://bdl.stat.gov.pl/BDL
Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Gmina
Format danych	Dane statystyczne
Pokrycie kraju	Gminy, powiaty, województwa
Aktualność danych	2014
Dostępność danych	EGiB dla lat 2002-2021 dostęp publiczny, po uprzednim złożeniu wniosku o udostępnienie materiałów Powiatowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego. Dla lat 2012-2014 dostęp otwarty przez BDL (GUS) Ludność: dostęp otwarty przez BDL (GUS)

Założenia teoretyczne

Tereny rolnicze w obrębie miejskich obszarów funkcjonalnych w Polsce i na świecie, zarówno w granicach rdzeni tych obszarów, jak i w ich otoczeniu, podlegają silnej presji urbanizacyjnej, co skutkuje „wypadaniem” gruntów rolnych z produkcji rolniczej. Za ten kierunek przemian odpowiada postępujący proces *urban sprawl*, skutkujący nadmiernym konsumpcjonizmem gruntów rolnych (Peiser, 2001). W wielu silnie zurbanizowanych regionach doprowadziło to do znacznego zmniejszenia areалу rolnego, co wykazano m.in. na przykładzie państw UE (Ziętara, 2017), a w konsekwencji także do częściowego uszczelnienia gleb, zmniejszając m.in. ich właściwości retencyjne oraz do ograniczenia szeregu innych usług ekosystemowych świadczonych przez tereny o funkcjach rolniczych.

Zrównoważone gospodarowanie gruntami rolnymi, w kontekście świadczeń zaopatrzeniowych, ma istotne znaczenie dla mieszkańców miejskich obszarów funkcjonalnych, a zwłaszcza ich rdzeni. Mimo otwartych rynków w sytuacjach kryzysowych na znaczeniu zyskuje polityka samowystarczalności żywnościowej¹, która wymaga utrzymania strategicznych zasobów gleb do produkcji rolnej. Jednym z ważnych celów rolnictwa miejskich obszarów funkcjonalnych jest zatem zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego (Andersson i in., 2007; Barthel i in., 2010). Potrzebę zabezpieczenia odpowiednich zasobów rolniczej przestrzeni produkcyjnej podkreślają także Buchmann (2009) oraz Barthel i Isendahl (2013). Obecne przesłanki polityki rolnej UE i polityki środowiskowej, jak i polityki miejskiej, mogą częściowo odbudować znaczenie rolnictwa miejskiego, a dodatkowo wpływać na eliminowanie zbędnego transportu dzięki krótkim łańcuchom dostaw do dużych ośrodków miejskich. Ponadto następuje zmiana modelu konsumpcyjnego prowadząc do wzrostu zapotrzebowania na zdrową żywność i lokalne produkty.

¹ Dziennik Urzędowy UE (2021/C 37/04) , Opinia Europejskiego Komitetu Regionów – Od producenta do konsumenta (od pola do stołu) – wymiar lokalny i regionalny (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020IR0594&from=FR>)

W Europie obszary zurbanizowane produkują tylko niewielką część żywności i są zależne od innych obszarów (Gómez-Baggethun, 2013). Jednak w Polsce sytuacja jest nieco odmienna (Sroka, 2016). Zachowanie znaczącego udziału użytków rolnych w strefach podmiejskich, zwłaszcza dużych miast, ma swoje zakorzenienie w tradycyjnej tożsamości kulturowej. W polskich uwarunkowaniach przez wieloletnia aż do okresu transformacji gospodarczej obszary te pełniły funkcje stref żywicielskich (Zgliński, 2002). Jednak otwarcie rynków, rosnące koszty produkcji rolnej, zwłaszcza warzyw, jak i lawinowo rosnący popyt na tereny budowlane sprawiły, że coraz większą część gruntów wyłączano z produkcji rolnej (Degórska, 2017). Jednak obecna polityka rolna UE (od pola do stołu) łącznie z promocją i wsparciem rozwoju rolnictwa ekologicznego, jak i przesłanki polityki miejskiej w Polsce częściowo mogą wpłynąć na odbudowę znaczenia rolnictwa miejskiego.

Metodyka uzyskania wyników

W celu zobrazowania świadczenia – zaspokajanie potrzeb żywieniowych – które postrzegać można jako wkład ekosystemu przestrzeni rolniczej do produkcji rolnej (wzrostu plonów), zastosowano dwa wskaźniki potencjałowe o charakterze pośrednim. Pierwszy z nich dotyczy zasobów gruntów dla lądowych upraw roślinnych na mieszkańca wyrażony w arach na osobę, drugi natomiast udziału gruntów dla lądowych upraw roślinnych w ogólnej powierzchni określonej jednostki. W literaturze przedmiotu powierzchnia użytków rolnych ogółem i w przeliczeniu na jednego mieszkańca jest traktowana jako jeden z najważniejszych elementów potencjału produkcyjnego polskiego rolnictwa (Ziętara, 2017).

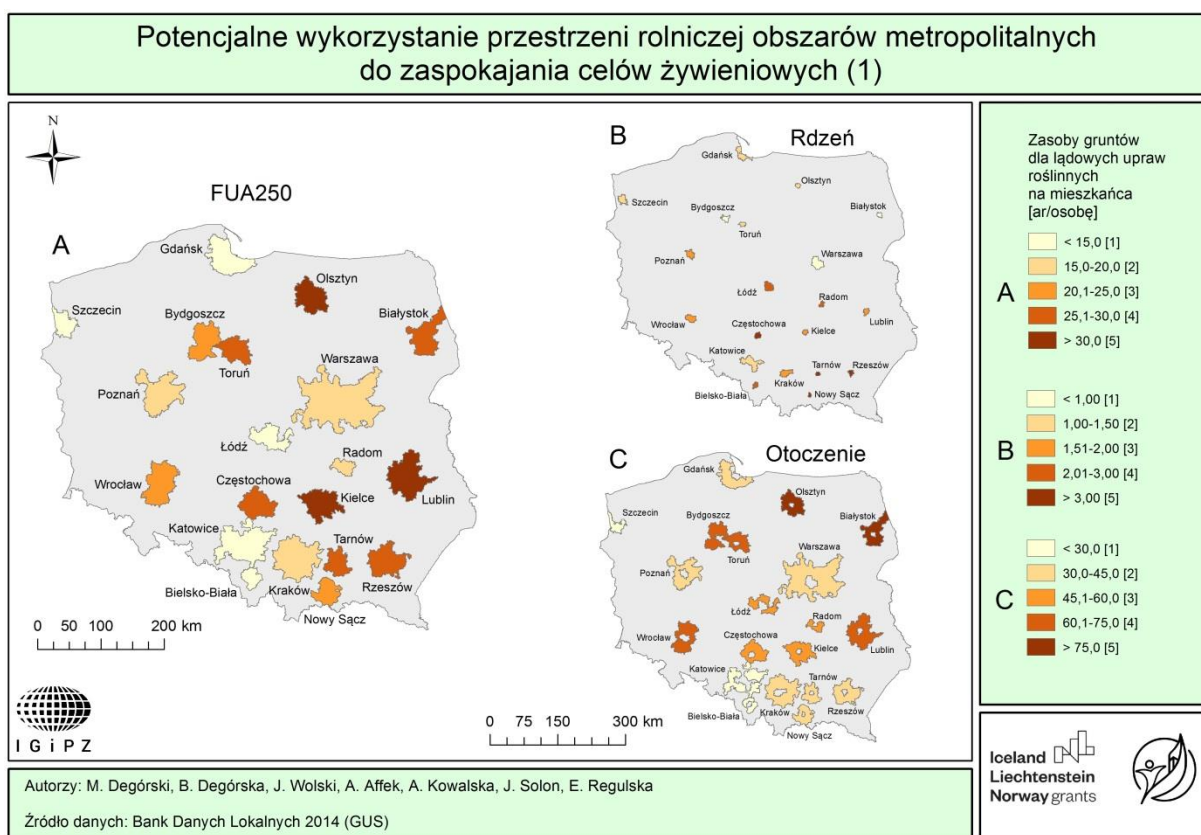
Wartości wskaźników

Wskaźnik zasobów gruntów obszarów metropolitalnych dla lądowych upraw roślinnych na mieszkańca pokazujący potencjalne wykorzystanie przestrzeni rolniczej do zaspokajania celów żywieniowych, przyjmuje wartości od 6,5 ara na mieszkańca (FUA Katowice) do 36,2 ara na mieszkańca (FUA Lublin). Rdzenie FUA przyjmują wartości od 0,6 ara na osobę (Warszawa) do 3,6 ara na osobę (Nowy Sącz). Jeśli chodzi o otoczenie rdzeni FUA, to najniższe wartości zasobów gruntów dla lądowych upraw roślinnych na mieszkańca odnotowano dla strefy otaczającej Szczecin (14,1 ara na osobę) najwyższą zaś dla strefy wokół Olsztyna (98,6 ara na osobę). Porównując otrzymane wyniki pomiędzy rdzeniem FUA, otoczeniem i całym obszarem metropolitalnym należy stwierdzić ogromne różnice pomiędzy rdzeniami FUA (średnio 1,6 ara na osobę) i ich otoczeniem (średnio 39,8 ara na osobę). Średnia wartość wskaźnika dla całych FUA wyniosła zaś 17,4 ara na osobę. Przyjmując dostępne dane², wskazujące że wielkość areалу dla produkcji roślinnej potrzebna do wyżywienia jednej osoby w warunkach tradycyjnego rolnictwa wynosi około 25-30 arów, to tylko dwa FUA (Lublin i Olsztyn) posiadają potencjał do zaspokojenia potrzeb żywieniowych swoich mieszkańców (tab. 3, ryc. 2).

² Hektar żywi coraz więcej osób (<https://www.farmer.pl>)

Tabela 3. Zasoby gruntów dla lądowych upraw roślinnych na mieszkańca jako wskaźnik potencjalnego wykorzystania przestrzeni rolniczej obszarów metropolitalnych do zaspokajania celów żywieniowych. W nawiasach wykorzystanie w skali od 1 do 5

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [ar na osobę]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	0,6 [1]	37,2 [2]	16,5 [2]
PL002	Łódź	3,0 [4]	49,9 [3]	11,2 [1]
PL003	Kraków	1,9 [3]	39,2 [2]	18,8 [2]
PL004	Wrocław	1,8 [3]	74,8 [4]	20,5 [3]
PL005	Poznań	1,5 [2]	40,2 [2]	18,7 [2]
PL006	Gdańsk	1,5 [2]	30,3 [2]	12,2 [1]
PL007	Szczecin	1,5 [2]	14,1 [1]	7,0 [1]
PL008	Bydgoszcz	0,8 [1]	71,5 [4]	21,6 [3]
PL009	Lublin	1,5 [2]	71,6 [4]	36,2 [5]
PL010	Katowice	1,2 [2]	13,6 [1]	6,5 [1]
PL011	Białystok	1,0 [1]	92,6 [5]	28,6 [4]
PL012	Kielce	1,9 [3]	58,6 [3]	30,4 [5]
PL013	Toruń	1,1 [2]	69,8 [4]	26,7 [4]
PL014	Olsztyn	1,1 [2]	98,6 [5]	33,6 [5]
PL015	Rzeszów	3,5 [5]	44,4 [2]	29,3 [4]
PL020	Nowy Sącz	3,6 [5]	33,2 [2]	23,9 [3]
PL024	Częstochowa	3,5 [5]	58,7 [3]	27,4 [4]
PL025	Radom	2,1 [4]	59,0 [3]	15,8 [2]
PL506	Bielsko-Biała	2,3 [4]	15,3 [1]	9,1 [1]
PL514	Tarnów	3,2 [5]	40,8 [2]	27,2 [4]



Ryc. 2. Potencjalne wykorzystanie przestrzeni rolniczej do zaspokajania celów żywieniowych w obszarach metropolitalnych (1)

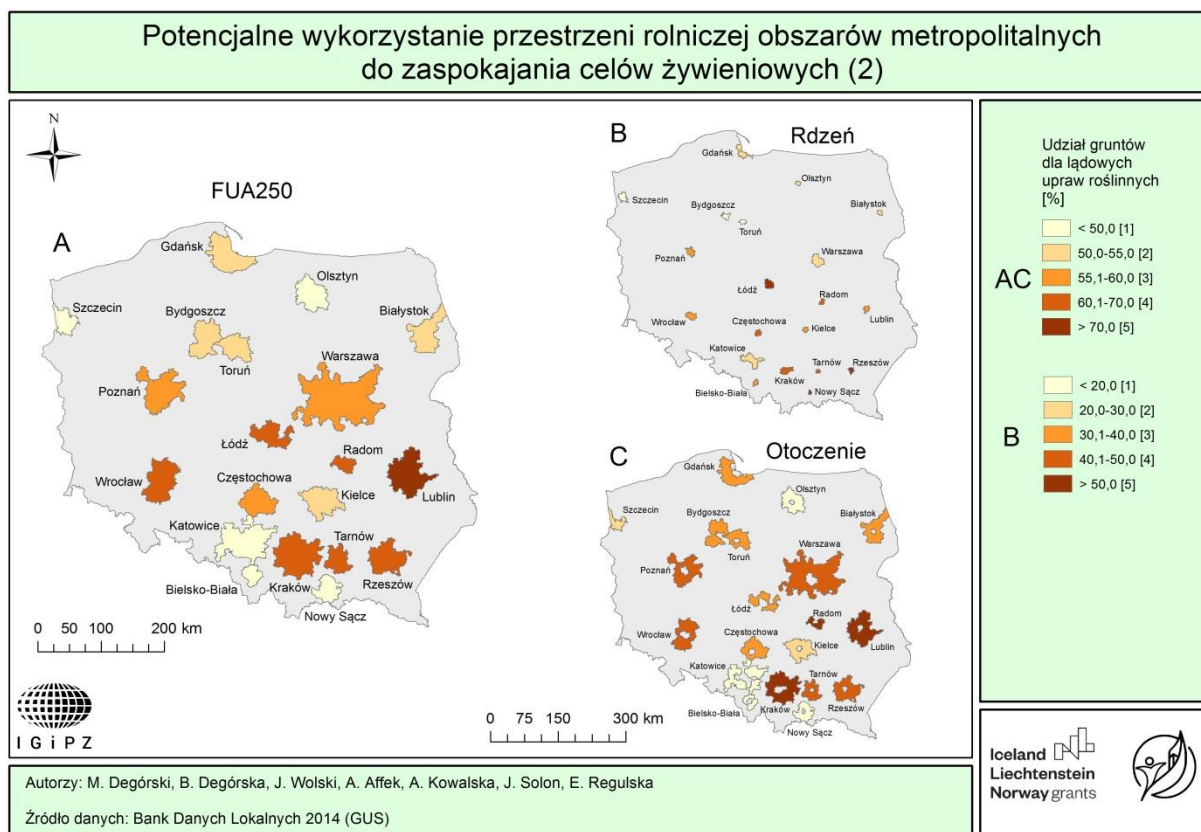
Tabela 4. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika udział gruntów dla lądowych upraw roślinnych

Świadczenie ekosystemowe		Zaspokajanie potrzeb żywieniowych
CICES 5.1	Sekcja	Zaopatrzenie
	Dział	Biomasa
	Grupa	Rośliny lądowe i grzyby uprawiane dla pozyskania żywności, materiałów lub energii
	Klasa	Rośliny lądowe, grzyby i glony uprawiane dla pozyskania żywności
	Kod	1.1.1.1
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Potencjalne wykorzystanie przestrzeni rolniczej obszarów metropolitalnych do zaspokajania celów żywieniowych (określono zasób gruntów rolnych obszarów metropolitalnych do ich potencjalnego wykorzystania dla upraw roślin lądowych w celu pozyskiwania żywności)
Wskaźnik		Udział gruntów dla lądowych upraw roślinnych
Akronim		UR2
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		Udział powierzchni gruntów ornych, sadów i trwałych użytków zielonych w powierzchni jednostek (FUA, rdzeń FUA i otoczenie FUA)
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – 100%
Jednostka miary		-
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Regionalne, krajowe
Dane źródłowe	Opis danych	Baza danych wg Ewidencji Gruntów i Budynków (EGIB) dla gmin, powiatów i województw
	Dysponent danych	Główny Urząd Geodezji i Kartografii (wg województw i powiatów), starostwa powiatowe (baza EGIB wg gmin i powiatów) oraz GUS (wg gmin tylko dla okresu 2012-2014)
	Link do bazy danych	https://bdl.stat.gov.pl/BDL
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Gmina
	Format danych	Dane statystyczne
	Pokrycie kraju	Gminy, powiaty, województwa
	Aktualność danych	2014
	Dostępność danych	Dla lat 2012-2014 dostęp otwarty - BDL (GUS) Dla lat 2002-2021 dostęp publiczny, po uprzednim złożeniu wniosku do starostwa powiatu o udostępnienie materiałów Powiatowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego

Wskaźnik udziału gruntów dla lądowych upraw roślinnych jako charakterystyka wykorzystania przestrzeni rolniczej obszarów metropolitalnych do zaspokajania celów żywieniowych mieszkańców przyjmuje wartości od 41,82% (FUA Katowice) do 75,69% (FUA Lublin). Rdzenie FUA przyjmują wartości od 16,23% (dla Bydgoszczy) do 66,77% (dla Łodzi). W kontekście otoczenia rdzeni FUA, najniższą wartość udziału gruntów dla lądowych upraw roślinnych odnotowano dla otoczenia Olsztyna (44,12%), najwyższą zaś wokół Lublina (77,64%). Porównując otrzymane wyniki pomiędzy rdzeniem FUA, otoczeniem i całym obszarem metropolitalnym należy stwierdzić znaczne różnice pomiędzy rdzeniami FUA (średnio 32,80%) i ich otoczeniem (średnio 60,22%), co jest następstwem coraz większego zagęszczania zabudowy w miastach i przekształcania gruntów rolniczych. Średnia wartość wskaźnika dla całych FUA wyniosła zaś 57,68%. (tab. 5, ryc. 3).

Tabela 5. Udział gruntów dla lądowych upraw roślinnych [%] jako wskaźnik potencjalnego wykorzystania przestrzeni rolniczej obszarów metropolitalnych do zaspokajania celów żywieniowych. W nawiasach wykorzystanie w skali od 1 do 5

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	21,66 [2]	61,60 [4]	59,21 [3]
PL002	Łódź	66,77 [5]	59,14 [3]	60,65 [4]
PL003	Kraków	44,35 [4]	71,66 [5]	69,28 [4]
PL004	Wrocław	39,30 [3]	69,60 [4]	66,25 [4]
PL005	Poznań	31,10 [3]	61,53 [4]	58,95 [3]
PL006	Gdańsk	26,05 [2]	56,69 [3]	52,07 [2]
PL007	Szczecin	19,76 [1]	53,54 [2]	44,55 [1]
PL008	Bydgoszcz	16,23 [1]	55,15 [3]	51,88 [2]
PL009	Lublin	35,00 [3]	77,64 [5]	75,69 [5]
PL010	Katowice	23,26 [2]	46,15 [1]	41,82 [1]
PL011	Białystok	27,59 [2]	55,53 [3]	54,25 [2]
PL012	Kielce	34,55 [3]	54,91 [2]	53,91 [2]
PL013	Toruń	18,78 [1]	57,00 [3]	54,22 [2]
PL014	Olsztyn	20,98 [2]	44,12 [1]	43,11 [1]
PL015	Rzeszów	55,64 [5]	64,68 [4]	64,22 [4]
PL020	Nowy Sącz	51,95 [5]	48,51 [1]	48,66 [1]
PL024	Częstochowa	49,80 [4]	57,38 [3]	56,75 [3]
PL025	Radom	40,13 [4]	71,39 [5]	66,25 [4]
PL506	Bielsko-Biała	32,44 [3]	47,18 [1]	44,68 [1]
PL514	Tarnów	48,51 [4]	67,68 [4]	66,58 [4]



Ryc. 3. Potencjalne wykorzystanie przestrzeni rolniczej do zaspokajania celów żywieniowych w obszarach metropolitalnych (2)

2.2. Świadczenia regulacyjne

2.2.1. Kluczowe usługi regulacyjne świadczone przez drzewa w obszarach metropolitalnych

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). Poniżej prezentujemy wskaźniki korzystania z trzech kluczowych dla ekosystemów miejskich usług regulacyjnych dostarczanych przez drzewa.

2.2.1.1. Regulacja obiegu wody, w tym przeciwdziałanie powodzi

Usługa ta należy do sekcji Regulacja i utrzymanie, działu Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych w CICES V5.1 (tab. 6). Polega ona na regulacji przepływów dzięki chemicznym i fizycznym właściwościom lub cechom ekosystemów, co w efekcie pomaga ludziom w zarządzaniu i korzystaniu z systemów hydrologicznych oraz łagodzi lub zapobiega potencjalnym szkodom dla zdrowia lub bezpieczeństwa ludzi. Przedmiotem pomiaru jest wykorzystanie drzew do regulacji obiegu wody, w tym do przeciwdziałania powodzi, w obszarach metropolitalnych, a wskaźnikiem korzystania z tej usługi jest udział procentowy powierzchni pokrytej drzewami.

Tabela 6. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika udział procentowy powierzchni pokrytej drzewami

Świadczenie ekosystemowe		Regulacja obiegu wody, w tym przeciwdziałanie powodzi
CICES 5.1	Sekcja	Regulacja i utrzymanie
	Dział	Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych
	Grupa	Regulacja przepływów bazowych (progowych) i zjawisk ekstremalnych
	Klasa	Regulacja cykli hydrologicznych i przepływów (w tym przeciwdziałanie powodzi i ochrona wybrzeża)
	Kod	2.2.1.3
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Wykorzystanie drzew do regulacji obiegu wody, w tym do przeciwdziałania powodzi, w obszarach metropolitalnych
Wskaźnik		Udział procentowy powierzchni pokrytej drzewami
Akronim		DRZEWA1
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźnika		Obliczenie średniego udziału procentowego powierzchni pokrytej drzewami (w rzucie pionowym) z pól podstawowych 10 × 10 m
Pośredni/bezpośredni		Bezpośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – 100%
Jednostka miary		-
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Regionalne, krajowe
Dane źródłowe	Opis danych	Wysokorozdzielcza warstwa „gęstość pokrywy drzew” (tree cover density) o komórce rastra 10 × 10 m z 2018 r., wektorowa mapa FUA w podziale na ośrodki miejskie i strefy dojazdów do pracy z 2019 r. (granice FUA wydzielone na podstawie danych demograficznych Eurostatu z 2011 r.)
	Dysponent danych	Europejska Agencja Środowiska (EEA), Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)
	Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018

	https://www.oecd.org/regional/regional-statistics/functional-urban-areas.htm
Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Komórka rastra 10 × 10 m
Format danych	Dane rastrowe (GeoTIFF) i wektorowe (Shapefile)
Pokrycie kraju	Cały kraj
Aktualność danych	2018, aktualizowane co 6 lat
Dostępność danych	Dane ogólnodostępne, darmowe

Założenia teoretyczne

Spływ powierzchniowy wody opadowej i gwałtowne powodzie występują w miastach przede wszystkim z powodu braku wsiąkania na rozległych terenach pokrytych warstwą nieprzepuszczalną (Walsh i in., 2012). Wraz z postępującą urbanizacją i wzrostem częstotliwości ekstremalnych opadów deszczu wynikającym ze zmian klimatycznych problem ten staje się coraz poważniejszy stanowiąc wyzwanie dla konwencjonalnego zarządzania miejskimi zasobami wodnymi (Livesley i in., 2016).

Wykazano, że drzewa mogą odgrywać ważną rolę w regulacji obiegu wody w zlewni miejskiej (Berland i in., 2017). Korony drzew przechwytyują wodę z opadu atmosferycznego (intercepcja) i w efekcie zmniejszają ilość wody, która dociera do przepuszczalnych lub nieprzepuszczalnych powierzchni poniżej (Livesley i in. 2016). Ograniczając odpływ, drzewa funkcjonują jak struktury retencyjne, ale także przyczyniają się do poprawy jakości wód opadowych (Bolund i Hunhammar, 1999; Brack, 2002; Berland i in., 2017; Turner-Skoff i Cavender, 2019). Wykazano bowiem, że przy mniejszym kontakcie z nieprzepuszczalnymi powierzchniami woda deszczowa jest chłodniejsza i zawiera mniej zanieczyszczeń (Turner-Skoff i Cavender, 2019).

Usługa regulacji obiegu wody przez drzewa tworzy wiązkę z kilkoma pokrewnymi usługami świadczonymi przez drzewa, przede wszystkim z usługą regulacji składu chemicznego atmosfery i oceanów, przeciwdziałania erozji, regulacji chemicznego stanu wód słodkich przez procesy biologiczne, ale także z usługami kulturowymi (cechy systemów biologicznych umożliwiające działania wspierające zdrowie, regenerację sił albo rozrywkę poprzez interakcje aktywne lub angażujące) i zaopatrzeniowymi (rośliny lądowe i grzyby uprawiane dla pozyskania żywności, materiałów lub energii). W związku z tym zaproponowany wskaźnik wykorzystania usługi regulacji obiegu wody przez drzewa może także z pewnym przybliżeniem indykować wykorzystanie (lub potencjał w przypadku części usług) drzew do świadczenia wymienionych powyżej usług.

Metodyka uzyskania wyników

Po przeanalizowaniu różnego typu materiałów źródłowych pokazujących powierzchnię pokrytą drzewami (dane satelitarne, kartograficzne i statystyczne) uznano, że najbardziej aktualnym, wiarygodnym i szczegółowym źródłem informacji będzie wysokorozdzielcza warstwa „gęstość pokrywy drzew” (*tree cover density*), opracowana na bazie zobrażeń satelitarnych satelity Sentinel-2 przez Europejską Agencję Środowiska. Dane dla wszystkich

krajów Unii Europejskiej są w formacie rastrowym o rozdzielczości 10×10 m, aktualne na rok 2018. Każda komórka rastra zawiera informację o procentowym pokryciu koronami drzew powierzchni Ziemi (w rzucie pionowym). Wartości procentowego pokrycia dla przestrzennych jednostek odniesienia (FUA, ich rdzeni i otoczenia) uzyskano obliczając średnią ze wszystkich komórek w danej jednostce stosując funkcję *Zonal Statistics as Table* w oprogramowaniu ArcGIS 10.2.

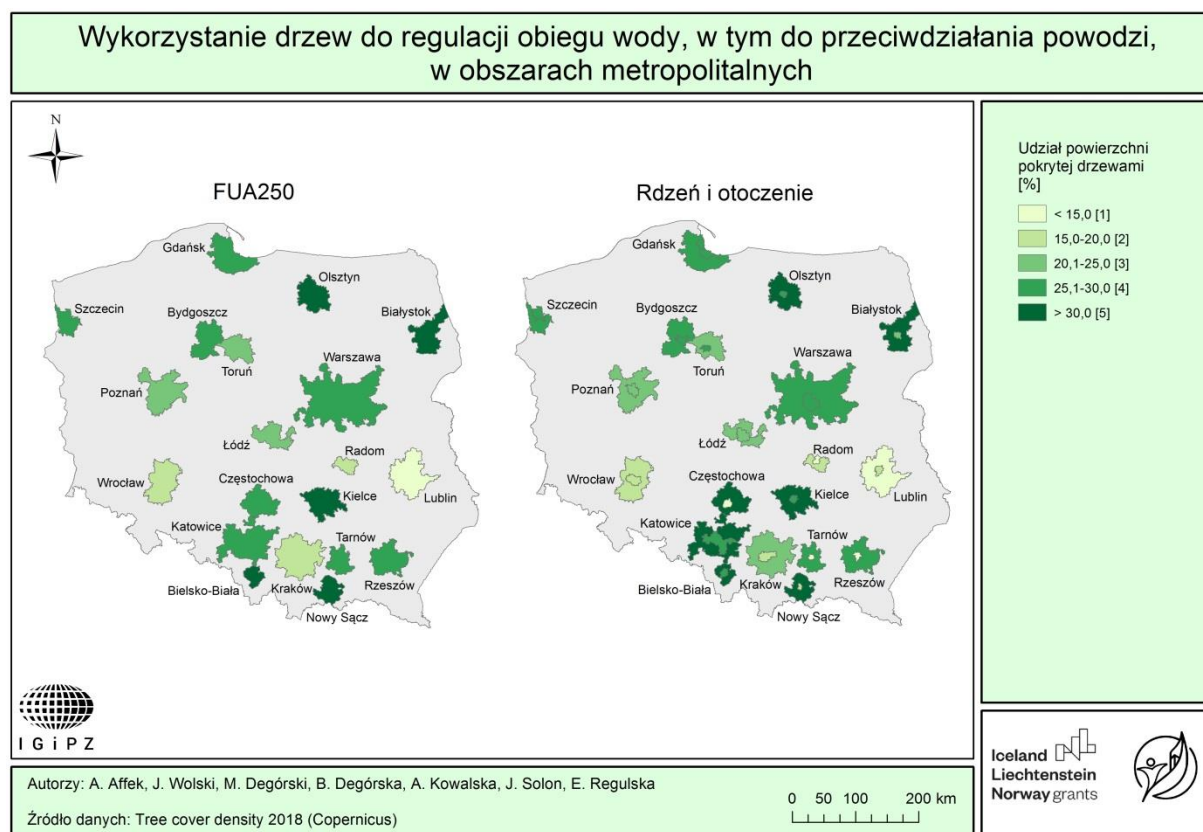
Wartości wskaźnika

Wskaźnik wykorzystania drzew do regulacji obiegu wody, w tym do przeciwdziałania powodzi, pokazujący udział procentowy powierzchni pokrytej drzewami, przyjmuje wartości od 13,7% (dla FUA Lublina) do 42,2% (dla FUA Nowego Sącza) dla całych obszarów metropolitalnych (tab. 7, ryc. 4). Dla rdzeni FUA przyjmuje wartości od 9,6% (dla Rzeszowa) do 29% (dla Bielska-Białej, Olsztyna i aglomeracji Gdańskiej). Jeśli chodzi o otoczenie FUA, to najniższe wartości pokrywy drzew odnotowano, podobnie jak dla całego obszaru metropolitalnego, dla FUA Lublina (13,6%), a najwyższe dla FUA Nowego Sącza (43,3%). Pokrywa drzew w rdzeniach jest istotnie niższa w porównaniu z pozostałą częścią FUA, średnio o 5,3% ($t = -3,11$; $p = 0,006$). Transformując wartości procentowe do pięciostopniowej skali wykorzystania tej usługi w obszarach metropolitalnych przyjęto następujące przedziały ($<15\% \rightarrow 1$; $15-20\% \rightarrow 2$; $20-25\% \rightarrow 3$; $25-30\% \rightarrow 4$; $>30\% \rightarrow 5$).

Tabela 7. Udział procentowy powierzchni pokrytej drzewami jako wskaźnik wykorzystania drzew do regulacji obiegu wody, w tym do przeciwdziałania powodzi, w obszarach metropolitalnych.

W nawiasach wykorzystanie w skali od 1 do 5

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	25,9 [4]	27,2 [4]	27,2 [4]
PL002	Łódź	22,9 [3]	22,4 [3]	22,5 [3]
PL003	Kraków	16,0 [2]	20,0 [3]	19,7 [2]
PL004	Wrocław	17,1 [2]	17,1 [2]	17,1 [2]
PL005	Poznań	22,3 [3]	22,7 [3]	22,7 [3]
PL006	Gdańsk	29,4 [4]	26,9 [4]	27,3 [4]
PL007	Szczecin	27,1 [4]	28,3 [4]	28,0 [4]
PL008	Bydgoszcz	28,4 [4]	26,2 [4]	26,4 [4]
PL009	Lublin	15,3 [2]	13,6 [1]	13,7 [1]
PL010	Katowice	28,0 [4]	30,2 [5]	29,8 [4]
PL011	Białystok	22,1 [3]	32,3 [5]	31,8 [5]
PL012	Kielce	27,0 [4]	36,2 [5]	35,7 [5]
PL013	Toruń	25,1 [4]	24,3 [3]	24,4 [3]
PL014	Olsztyn	29,2 [4]	38,3 [5]	37,9 [5]
PL015	Rzeszów	9,6 [1]	26,5 [4]	25,6 [4]
PL020	Nowy Sącz	18,8 [2]	43,3 [5]	42,2 [5]
PL024	Częstochowa	14,2 [1]	31,3 [5]	29,9 [4]
PL025	Radom	14,1 [1]	16,9 [2]	16,4 [2]
PL506	Bielsko-Biała	29,4 [4]	31,5 [5]	31,1 [5]
PL514	Tarnów	13,3 [1]	26,0 [4]	25,2 [4]



Ryc. 4. Wykorzystanie drzew do regulacji wody, w tym do przeciwdziałania powodzi w obszarach metropolitalnych

2.2.1.2. Regulacja temperatury i wilgotności powietrza

Usługa ta należy do sekcji Regulacja i utrzymanie, działu Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych w CICES V5.1 (tab. 8). Polega ona na modyfikacji warunków atmosferycznych otoczenia (w tym mikro- i mezoskalowych), w szczególności na obniżaniu temperatury latem i podnoszeniu wilgotności powietrza, poprzez obecność roślin, co w efekcie poprawia warunki życia ludzi. Przedmiotem pomiaru jest wykorzystanie drzew do regulacji temperatury i wilgotności powietrza na terenach mieszkaniowych w obszarach metropolitalnych, a wskaźnikiem korzystania z tej usługi jest udział procentowy terenów mieszkaniowych pokrytych drzewami.

Tabela 8. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika udział procentowy terenów mieszkaniowych pokrytych drzewami

Świadczenie ekosystemowe		Regulacja temperatury i wilgotności powietrza na terenach mieszkaniowych
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>)		Wykorzystanie drzew do regulacji temperatury i wilgotności powietrza

		na terenach mieszkaniowych w obszarach metropolitalnych
Wskaźnik		Udział procentowy terenów mieszkaniowych pokrytych drzewami
Akronim		DRZEWA2
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźnika		Obliczenie średniego udziału procentowego powierzchni pokrytej drzewami (w rzucie pionowym) z pól podstawowych 10 × 10 m w obrębie terenów mieszkaniowych
Pośredni/bezpośredni		Bezpośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – 100%
Jednostka miary		-
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Regionalne, krajowe
Dane źródłowe	Opis danych	Wysokorozdzielcza warstwa „gęstość pokrywy drzew” (<i>tree cover density</i>) o komórce rastra 10 × 10 m z 2018 r., mapa wektorowa pokrycia terenu CORINE Land Cover z 2018 r., wektorowa mapa FUA w podziale na ośrodki miejskie i strefy dojazdów do pracy z 2019 r. (granice FUA wydzielone na podstawie danych demograficznych Eurostatu z 2011 r.)
	Dysponent danych	Europejska Agencja Środowiska (EEA), Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)
	Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018 https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018 https://www.oecd.org/regional/regional-statistics/functional-urban-areas.htm
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Komórka rastra 10 × 10 m
	Format danych	Dane rastrowe (GeoTIFF) i wektorowe (GeoPackage i Shapefile)
	Pokrycie kraju	Cały kraj
	Aktualność danych	2018, aktualizowane co 6 lat
	Dostępność danych	Dane ogólnodostępne, darmowe

Założenia teoretyczne

Miejska wyspa ciepła 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. Poważnym wyzwaniem środowiskowym i zdrowotnym, przed którym stoją współczesne metropolie, jest związek między miejską wyspą ciepła, letnimi falami upałów i stopniowo ocieplającym się globalnym klimatem.

Roślinność może zmniejszyć intensywność wyspy ciepła. W szczególności, obecność drzew w przestrzeni miejskiej jest skutecznym i tanim sposobem łagodzenia tego efektu (Solecki i in., 2005; Norton i in. 2018). Zacienienie i ewapotranspiracja generowana przez drzewa mają bowiem fundamentalne znaczenie w miejskim bilansie cieplnym. Wykazano, że korzyści związane z efektem chłodzenia są znacznie większe w przypadku terenów zielonych porośniętych drzewami w porównaniu z terenami zielonymi bez drzew. Stwierdzono ponadto, że na efekt chłodzenia bardziej wpływa wielkość obszaru pokrytego drzewami niż jego kształt (Jaganmohan i in., 2016).

Usługa regulacji temperatury i wilgotności powietrza na terenach mieszkaniowych przez drzewa tworzy wiązkę z kilkoma pokrewnymi usługami świadczonymi przez drzewa, przede wszystkim z usługami kulturowymi (fizyczne i doświadczone interakcje ze środowiskiem przyrodniczym w wymiarze lokalnym), ale też i regulacyjnymi (regulacja chemicznego stanu wód słodkich przez procesy biologiczne, kształtowanie widoku, tłumienie hałasu). W związku z tym zaproponowany wskaźnik wykorzystania usługi regulacji temperatury i wilgotności powietrza na terenach mieszkaniowych przez drzewa może także z pewnym przybliżeniem indykować wykorzystanie (lub potencjał w przypadku części usług) drzew do świadczenia wymienionych powyżej usług.

Metodyka uzyskania wyników

Metoda uzyskania wyników jest analogiczna do tej zastosowanej w przypadku wskaźnika DRZEWA1. Różnica polega na tym, że średniego pokrycia drzew nie liczone ze wszystkich komórek w danej jednostce odniesienia (FUA, jego rdzeń i otoczenie), tylko z tych, które znajdowały się w obrębie klasy „Zabudowa miejska” (ang. *urban fabric*) wg klasyfikacji pokrycia terenu CORINE (kod 1.1). Faktycznie klasa ta nie obejmuje całej zabudowy miejskiej i wyłącznie jej, ale raczej tereny mieszkaniowe zdefiniowane w polskim prawie jako *grunty, niewykorzystywane do produkcji rolniczej i leśnej, zajęte pod budynki mieszkalne, urządzenia funkcjonalnie związane z budynkami mieszkalnymi (podwórza, dojazdy, przejścia, przydomowe place gier i zabaw itp.), a także ogródki przydomowe*³. W nazwie wskaźnika odnosimy się do terenów mieszkaniowych, bowiem dla tych terenów redukcja miejskiej wyspy ciepła wydaje się być najistotniejsza. Wykorzystane dane o pokryciu terenu CORINE pochodzą z 2018 r.

Wartości wskaźnika

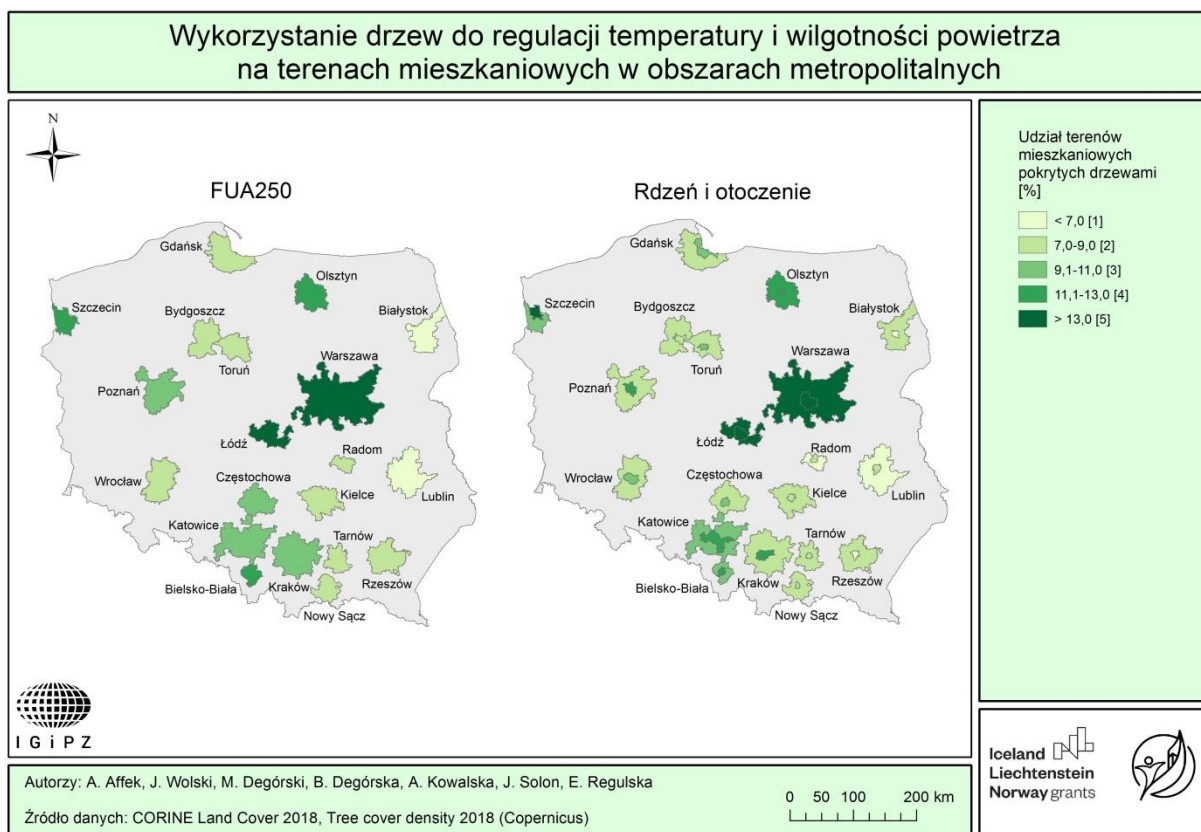
Wskaźnik wykorzystania drzew do regulacji temperatury i wilgotności powietrza na terenach mieszkaniowych, pokazujący udział procentowy powierzchni pokrytej drzewami, przyjmuje wartości od 5,7% (dla FUA Lublina) do 15,9% (dla FUA Warszawy) dla całych obszarów metropolitalnych (tab. 9, ryc. 5). Dla rdzeni FUA przyjmuje wartości od 5,7% (dla Białegostoku) do 15,3% (dla Warszawy). Jeśli chodzi o otoczenie FUA, to najniższe wartości pokrywy drzew na terenach mieszkaniowych odnotowano, podobnie jak dla całego obszaru metropolitalnego, dla FUA Lublina (5,2%), a najwyższe dla FUA Warszawy (16,1%). Stolica dla każdej jednostki odniesienia (FUA, rdzeń i otoczenie) osiągnęła maksymalne wartości

³ Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dn. 29 marca 2001 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (Dz. U. z 2016 r. poz. 1034 z późn. zm.), Załącznik 6, pkt 3.

wskaźnika. Co interesujące, pokrywa drzew na terenach mieszkaniowych w rdzeniach jest istotnie wyższa w porównaniu z terenami mieszkaniowymi w strefie dojazdów do pracy (otoczeniu), choć średnio jedynie o 1,1% ($t = 2,62$, $p = 0,017$). Relacja ta jest odwrotna niż zaobserwowana dla pokrywy drzew dla całości jednostek odniesienia, także poza terenami mieszkaniowymi. Transformując wartości procentowe do pięciostopniowej skali wykorzystania tej usługi w obszarach metropolitalnych przyjęto następujące przedziały ($<7\% \rightarrow 1$; $7-9\% \rightarrow 2$; $9-11\% \rightarrow 3$; $11-13\% \rightarrow 4$; $>13\% \rightarrow 5$).

Tabela 9. Udział procentowy terenów mieszkaniowych pokrytych drzewami w obszarach metropolitalnych jako wskaźnik wykorzystania drzew do regulacji temperatury i wilgotności terenów mieszkaniowych. W nawiasach wykorzystanie w skali od 1 do 5

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	15,3 [5]	16,1 [5]	15,9 [5]
PL002	Łódź	14,7 [5]	15,7 [5]	15,2 [5]
PL003	Kraków	12,2 [4]	8,9 [3]	9,8 [3]
PL004	Wrocław	10,7 [3]	7,0 [2]	8,3 [2]
PL005	Poznań	11,4 [4]	8,5 [2]	9,4 [3]
PL006	Gdańsk	9,0 [3]	8,5 [2]	8,7 [2]
PL007	Szczecin	14,2 [5]	9,4 [3]	12,1 [4]
PL008	Bydgoszcz	8,0 [2]	7,3 [2]	7,6 [2]
PL009	Lublin	7,5 [2]	5,2 [1]	5,7 [1]
PL010	Katowice	12,3 [4]	9,5 [3]	10,5 [3]
PL011	Białystok	5,7 [1]	7,3 [2]	6,8 [1]
PL012	Kielce	7,2 [2]	7,2 [2]	7,2 [2]
PL013	Toruń	9,3 [3]	7,8 [2]	8,4 [2]
PL014	Olsztyn	12,5 [4]	12,1 [4]	12,3 [4]
PL015	Rzeszów	5,9 [1]	8,0 [2]	7,6 [2]
PL020	Nowy Sącz	8,0 [2]	8,7 [2]	8,5 [2]
PL024	Częstochowa	9,9 [3]	8,6 [2]	9,0 [3]
PL025	Radom	8,9 [2]	6,8 [1]	7,8 [2]
PL506	Bielsko-Biała	12,5 [4]	10,5 [3]	11,1 [4]
PL514	Tarnów	7,5 [2]	7,4 [2]	7,4 [2]



Ryc. 5. Wykorzystanie drzew do regulacji temperatury i wilgotności powietrza na terenach mieszkaniowych w obszarach metropolitalnych

2.2.1.3. Oczyszczanie powietrza z pyłów

Usługa ta należy do sekcji Regulacja i utrzymanie, działu Przekształcanie biochemicznych lub fizycznych czynników wprowadzanych do ekosystemów w CICES V5.1 (tab. 10). Polega ona na przechwytywaniu i akumulacji aerozoli atmosferycznych (pyłu zawieszonego, w tym PM_{2.5} i PM₁₀) przez rośliny, co w efekcie łagodzi szkodliwe dla zdrowia skutki i zmniejsza koszty unieszkodliwiania pyłów innymi sposobami. Przedmiotem pomiaru jest wykorzystanie drzew do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka w obszarach metropolitalnych, a wskaźnikiem korzystania z tej usługi jest liczba drzew przypadająca na jedną osobę.

Tabela 10. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika liczba drzew na osobę

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 drzew do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka w obszarach metropolitalnych
Wskaźnik		Liczba drzew na osobę
Akronim		DRZEWA3
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźnika		Stosunek powierzchni pokrytej drzewami (w rzucie pionowym) z pól podstawowych 10×10 m dzielony przez przeciętną wielkość korony (powierzchnia w rzucie pionowym) do liczby ludności w obszarze metropolitalnym
Pośredni/bezpośredni		Bezpośredni
Prosty/złożony		Złożony
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		$0 - \infty$
Jednostka miary		-
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Regionalne, krajowe
Dane źródłowe	Opis danych	Wysokorozdzielcza warstwa „gęstość pokrywy drzew” (<i>tree cover density</i>) o komórce rastra 10×10 m z 2018 r., liczba ludności w gminach wg stanu na 31.12.2020 r., wektorowa mapa FUA w podziale na ośrodki miejskie i strefy dojazdów do pracy z 2019 r. (granice FUA wydzielone na podstawie danych demograficznych Eurostatu z 2011 r.)
	Dysponent danych	Europejska Agencja Środowiska (EEA), Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD), Główny Urząd Statystyczny
	Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018 https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/wymiary https://www.oecd.org/regional/regional-statistics/functional-urban-areas.htm
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Komórka rastra 10×10 m
	Format danych	Dane rastrowe (GeoTIFF), wektorowe (Shapefile) i tabelaryczne (Excel)
	Pokrycie kraju	Cały kraj
	Aktualność danych	Dane rastrowe z 2018, aktualizowane co 6 lat, dane ludnościowe z 2020, aktualizowane co pół roku
	Dostępność danych	Dane ogólnodostępne, darmowe

Założenia teoretyczne

Metropolie są obszarami, na których notuje się najwyższe wartości zanieczyszczeń atmosferycznych ze źródeł antropogenicznych, zarówno mobilnych jak i stacjonarnych (Livesley i in., 2016). Stężenie zanieczyszczeń, w tym pyłu zawieszonego, z reguły wzrasta wraz z gęstością zaludnienia (Borck i Schrauth, 2021). Zanieczyszczenie atmosfery stanowi poważny problem z perspektywy zdrowia ludzkiego.

Przechwytywanie zanieczyszczeń i w efekcie zmniejszanie ich stężenia w powietrzu jest od dawna uznawane za jedną z najważniejszych korzyści dla zdrowia ludzkiego, jakie mogą zapewnić drzewa (McDonald i in., 2016; Nowak i in., 2018). Dojrzałe drzewo może przechwycić do 23 kg cząstek stałych rocznie (Dwyer i in., 1992). Większa liczba drzew skuteczniej redukuje ilość pyłu zawieszonego w powietrzu, w efekcie zmniejszając zachorowalność i śmiertelność w wyniku chorób cywilizacyjnych, w szczególności chorób układu oddechowego (Turner-Skoff i Cavender, 2019).

Należy tutaj także wspomnieć, że oprócz usuwania zanieczyszczeń obecność drzew zapewnia dodatkowe bezpośrednie i pośrednie korzyści dla ludzi (Donovan, 2017). Obecność drzew i zieleni sprzyja dobremu samopoczuciu. Drzewa i inne zielone elementy środowiska wpływają na zmniejszenie negatywnych myśli, zmniejszenie objawów depresji, lepszy nastrój i zwiększoną satysfakcję z życia (Turner-Skoff i Cavender, 2019).

Usługa oczyszczania przez drzewa powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka tworzy wiązkę z kilkoma pokrewnymi usługami świadczonymi przez drzewa, przede wszystkim z usługą regulacji chemicznego stanu wód słodkich przez procesy biologiczne, ale także z usługami kulturowymi (cechy systemów biologicznych umożliwiające działania wspierające zdrowie, regenerację sił albo rozrywkę poprzez interakcje aktywne lub angażujące). W związku z tym zaproponowany wskaźnik wykorzystania drzew do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka może także z pewnym przybliżeniem indykować wykorzystanie drzew do świadczenia wymienionych powyżej usług.

Metodyka uzyskania wyników

Metoda uzyskania wyników jest zbliżona do tej zastosowanej w przypadku wskaźnika DRZEWA1 i DRZEWA2 w zakresie pozyskania i przetworzenia informacji o pokrywie drzew. Do transformacji powierzchni pokrytej drzewami na liczbę drzew wykorzystano dane z Mapy Koron Drzew dla Warszawy (<http://zzw.waw.pl/2021/02/26/miliony-warszawskich-drzew-na-jednej-mapie/>), wykonanej w 2021 r. Średnia wielkość korony (rzut pionowy) dla Warszawy wyniosła ok. 23,2 m² (165 km²/7 121 197 drzew). Ze względu na inne dane źródłowe i w efekcie odmienne wartości powierzchni pokrytej drzewami w Warszawie otrzymane z Mapy Koron Drzew i z wysokorozdzielczej warstwy „Gęstość pokrywy drzew” (32% vs 26%) z proporcji wyliczono uśrednioną wielkość korony równą 18,8 m², którą przyjęto do transformacji powierzchni pokrytej drzewami wygenerowanej z warstwy „Gęstość pokrywy drzew” na liczbę drzew. Następnie tak otrzymaną liczbę drzew w jednostce odniesienia podzielono przez liczbę ludności uzyskaną z Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego, aktualną na 31.12.2020 r. Liczbę ludności z gmin

zsumowano według ich przynależności do jednostek odniesienia (FUA, jego rdzenia i otoczenia).

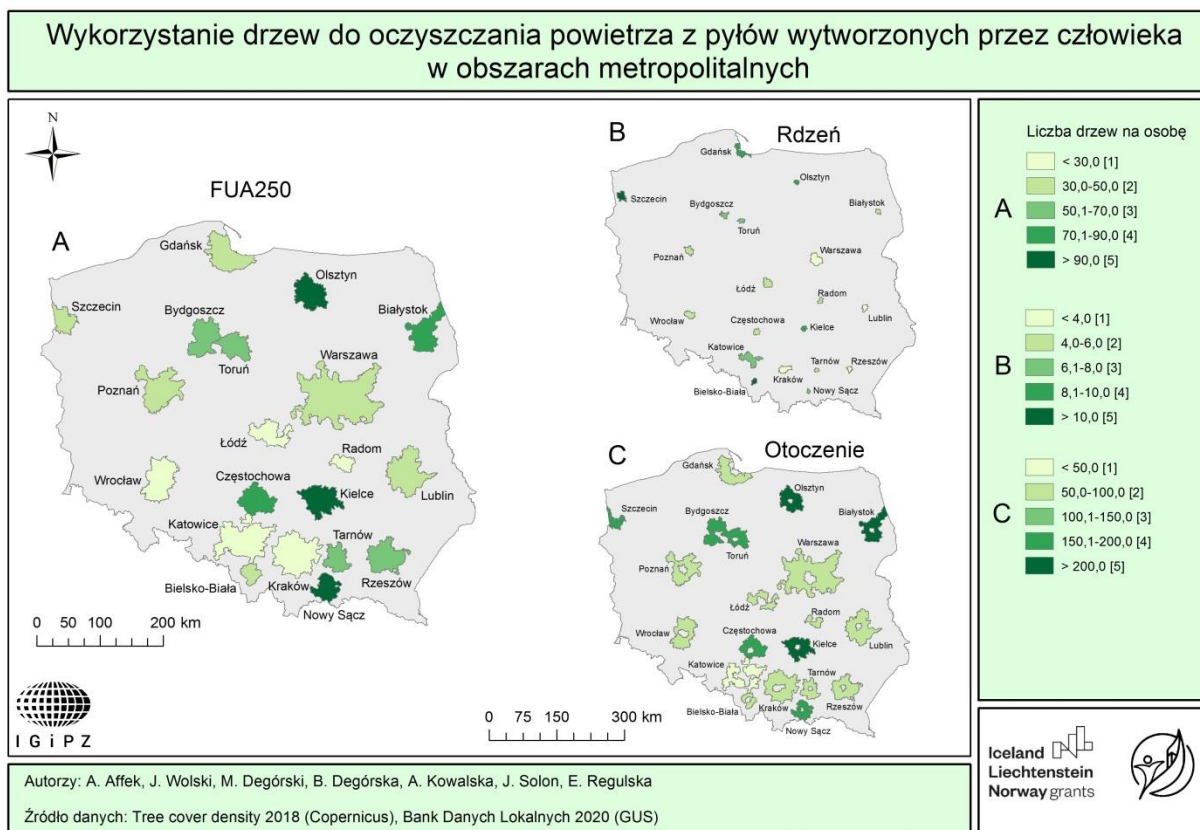
Wartości wskaźnika

Wskaźnik wykorzystania drzew do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka, pokazujący liczbę drzew na osobę, przyjmuje wartości od 21 (dla FUA Radomia) do 157 (dla FUA Olsztyna) dla całych obszarów metropolitalnych (tab. 11, ryc. 6). Dla rdzeni FUA przyjmuje wartości od 3 (dla Rzeszowa) do 11,5 (dla Bielska-Białej). Jeśli chodzi o otoczenie FUA, to najniższą liczbę drzew na osobę odnotowano dla FUA Katowic (48), a zdecydowanie najwyższą dla FUA Olsztyna (440). Liczba drzew na osobę jest zdecydowanie niższa w rdzeniach w porównaniu z pozostałą częścią FUA, średnio aż o 123 drzewa na osobę ($t = -5,89$, $p < 0,0001$). Transformując wartości procentowe do pięciostopniowej skali wykorzystania tej usługi przyjęto, ze względu na duże różnice wartości między całymi FUA, ich rdzeniami i otoczeniem, następujące 3 warianty przedziałów:

1. dla rdzeni FUA ($<4 \rightarrow 1$; $4-6 \rightarrow 2$; $6-8 \rightarrow 3$; $8-10 \rightarrow 4$; $>10 \rightarrow 5$);
2. dla otoczenia ($<50 \rightarrow 1$; $50-100 \rightarrow 2$; $100-150 \rightarrow 3$; $150-200 \rightarrow 4$; $>200 \rightarrow 5$);
3. dla całych FUA ($<30 \rightarrow 1$; $30-50 \rightarrow 2$; $50-70 \rightarrow 3$; $70-90 \rightarrow 4$; $>90 \rightarrow 5$);

Tabela 11. Liczba drzew na osobę jako wskaźnik wykorzystania drzew do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka w obszarach metropolitalnych. W nawiasach wykorzystanie w skali od 1 do 5

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	4,0 [1]	81,6 [2]	38,5 [2]
PL002	Łódź	5,6 [2]	96,7 [2]	22,7 [1]
PL003	Kraków	3,6 [1]	55,3 [2]	27,3 [1]
PL004	Wrocław	4,2 [2]	81,7 [2]	26,6 [1]
PL005	Poznań	5,8 [2]	71,8 [2]	37,0 [2]
PL006	Gdańsk	8,7 [4]	67,9 [2]	32,1 [2]
PL007	Szczecin	10,9 [5]	150,1 [4]	35,0 [2]
PL008	Bydgoszcz	7,7 [3]	176,0 [4]	59,3 [3]
PL009	Lublin	3,6 [1]	67,6 [2]	35,2 [2]
PL010	Katowice	7,8 [3]	47,8 [1]	25,0 [1]
PL011	Białystok	4,1 [2]	264,8 [5]	87,0 [4]
PL012	Kielce	8,2 [4]	202,7 [5]	107,7 [5]
PL013	Toruń	7,8 [3]	152,5 [4]	63,7 [3]
PL014	Olsztyn	8,0 [4]	440,1 [5]	156,5 [5]
PL015	Rzeszów	3,0 [1]	94,0 [2]	59,8 [3]
PL020	Nowy Sącz	6,9 [3]	156,8 [4]	109,8 [5]
PL024	Częstochowa	5,5 [2]	173,7 [4]	79,4 [4]
PL025	Radom	4,0 [2]	71,6 [2]	21,2 [1]
PL506	Bielsko-Biała	11,5 [5]	51,4 [2]	33,0 [2]
PL514	Tarnów	4,8 [2]	83,9 [2]	55,8 [3]



Ryc. 6. Wykorzystanie drzew do oczyszczania powietrza z pyłów wytworzonych przez człowieka w obszarach metropolitalnych

2.2.2. Regulacja składu chemicznego atmosfery

Usługa ta należy do sekcji Regulacja i utrzymanie, działu Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych w CICES V5.1 (tab. 12). Polega ona na regulacji stężeń gazów w atmosferze, w tym głównie dwutlenku węgla, które wpływają na globalny klimat. Przedmiotem pomiaru jest wykorzystanie roślinności w obszarach metropolitalnych do regulacji składu chemicznego atmosfery, a wskaźnikiem korzystania z tej usługi jest średnia produkcja pierwotna brutto w sezonie wegetacyjnym.

Tabela 12. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika średnia produkcja pierwotna brutto w sezonie wegetacyjnym

Świadczenie ekosystemowe		Regulacja składu chemicznego atmosfery
CICES 5.1	Sekcja	Regulacja i utrzymanie
	Dział	Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych
	Grupa	Skład atmosfery i warunki atmosferyczne
	Klasa	Regulacja składu chemicznego atmosfery i oceanów
	Kod	2.2.6.1
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Wykorzystanie roślinności w obszarach metropolitalnych do regulacji składu chemicznego atmosfery
Wskaźnik		Średnia produkcja pierwotna brutto w sezonie wegetacyjnym

Akronim		PROD1
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Wykorzystanie
Konstrukcja wskaźnika		Obliczenie średniej produkcji pierwotnej brutto dla zasadniczego sezonu wegetacyjnego z pól podstawowych 10 × 10 m
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – ∞
Jednostka miary		PPI (plant phenology index) × dzień
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Regionalne, krajowe
Dane źródłowe	Opis danych	Wysokorozdzielcza warstwa rastrowa przedstawiająca całkowitą produkcję pierwotną brutto w zasadniczym sezonie wegetacyjnym roku 2020 (Season 1 Total Productivity) o komórce rastra 10 × 10 m, wektorowa mapa FUA w podziale na ośrodki miejskie i strefy dojazdów do pracy z 2019 r. (granice FUA wydzielone na podstawie danych demograficznych Eurostatu z 2011 r.)
	Dysponent danych	Europejska Agencja Środowiska (EEA), Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)
	Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity/data-access-hr-vpp https://www.oecd.org/regional/regional-statistics/functional-urban-areas.htm
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	Komórka rastra 10 × 10 m
	Format danych	Dane rastrowe (GeoTIFF) i wektorowe (Shapefile)
	Pokrycie kraju	Cały kraj
	Aktualność danych	2020, aktualizowane co rok
	Dostępność danych	Dane ogólnodostępne, darmowe

Założenia teoretyczne

Atmosfera determinuje warunki życia na Ziemi. Chroni świat organizmów żywych przed wpływem szkodliwego promieniowania kosmicznego i pełni funkcję dwukierunkowego transmittera cząsteczek między oceanami a lądem, odpowiadając tym samym za przebieg cykli biogeochemicznych w obrębie całej ekosfery. Skład tej gazowej powłoki, ewoluując powoli przez miliardy lat wraz z kształtowaniem się naszej planety, zaczął się zmieniać gwałtownie dopiero w ostatnich 200 latach w wyniku działalności człowieka.

Obecnie największym środowiskowym zagrożeniem zdrowia w skali globalnej jest szeroko rozumiane zanieczyszczenie atmosfery (Gakidou i in., 2017). Szczególnie trudna sytuacja ma miejsce w miastach. Dość powiedzieć, że blisko 80% ludności miejskiej w krajach Unii Europejskiej narażona jest na co dzień na stężenia szkodliwych substancji przekraczające normy jakości powietrza określone przez Światową Organizację Zdrowia

(EEA, 2019). Coraz mniejsza ilość „powietrza w powietrzu” prowadzi m.in. do powstawania smogu i kwaśnych deszczów, ubożenia warstwy ozonowej w stratosferze, zmian bilansu promieniowania (tzw. dodatnie wymuszanie radiacyjne), a w konsekwencji przyczynia się do globalnego ocieplenia.

Najważniejszym składnikiem zabójczej dla ziemskiej ekosfery mieszanki antropogenicznych gazów cieplarnianych jest dwutlenek węgla (Garnaut 2008). Związana głównie z nim mitygacja zmian klimatycznych obejmuje zarówno przyczyny (np. rozwój niskoemisyjnych źródeł energii, dekarbonizację gospodarki), jak i skutki (wychwytywanie, transport i składowanie CO₂). Kosztochłonność i liczne bariery technologiczne, prawne i środowiskowe powodują jednak, że żadne z dotychczasowych rozwiązań z zakresu geoinżynierii klimatu nie weszło do powszechnego użycia, ani nie stało się ogólnosiwiatowym standardem.

Najtańszym, najmniej konfliktogennym i do tego niosącym liczne dodatkowe korzyści rozwiązaniem w ekosystemach zurbanizowanych jest biosekwestracja węgla, czyli wykorzystanie naturalnej zdolności wszelkich roślin lądowych do wiązania CO₂ z atmosfery w procesie fotosyntezy. Średnia produkcja pierwotna brutto w sezonie wegetacyjnym może być pośrednim wskaźnikiem zarówno wielkości biosekwestracji, jak i jej zróżnicowania między poszczególnymi obszarami metropolitalnymi.

Usługa regulacji składu chemicznego atmosfery tworzy wiązkę z innymi usługami regulacyjnymi (procesy rozkładu i wiązania oraz ich wpływ na jakość gleb oraz filtracja /sekwestracja /magazynowanie /akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta) oraz z usługami zaopatrzeniowymi z działu 1.1 CICES V5.1 (biomasa). Wskaźnik może mieć zastosowanie do pokazania korzystania z wymienionych usług regulacyjnych oraz do pokazania stopnia wykorzystania potencjału środowiska przyrodniczego do produkcji biomasy z możliwym przeznaczeniem na konsumpcję, wytworzenie materiałów lub energii.

Metodyka uzyskania wyników

Po przeanalizowaniu różnego typu materiałów źródłowych pokazujących przestrzenne zróżnicowanie produkcji pierwotnej roślin, a w szczególności wiązania dwutlenku węgla z atmosfery w procesie fotosyntezy, uznano, że najbardziej aktualnym, wiarygodnym i szczegółowym źródłem informacji będzie dopiero co upubliczniona (31.08.2021 r.) wysokorozdzielcza warstwa rastrowa przedstawiająca całkowitą produkcję pierwotną brutto w zasadniczym sezonie wegetacyjnym (*Season 1 Total Productivity*), opracowana przez Europejską Agencję Środowiska w ramach programu monitoringu Ziemi Copernicus na podstawie zobrażeń satelitarnych satelity Sentinel-2. Wykorzystana warstwa ma rozdzielczość 10 × 10 m i prezentuje dane z 2020 r. Każda komórka rastra zawiera informację o całkowitej produkcji pierwotnej brutto w ciągu zasadniczego sezonu wegetacyjnego, wyrażonej w bezwymiarowych jednostkach PPI × dzień, gdzie PPI oznacza wartość wskaźnika fenologii roślin (*plant phenology index*) (Jin i Eklundh, 2014). Średnie wartości produkcji pierwotnej brutto w sezonie wegetacyjnym dla przestrzennych jednostek odniesienia (FUA, ich rdzeni i otoczenia) uzyskano obliczając średnią ze wszystkich komórek w danej jednostce stosując funkcję *Zonal Statistics as Table* w oprogramowaniu ArcGIS 10.2.

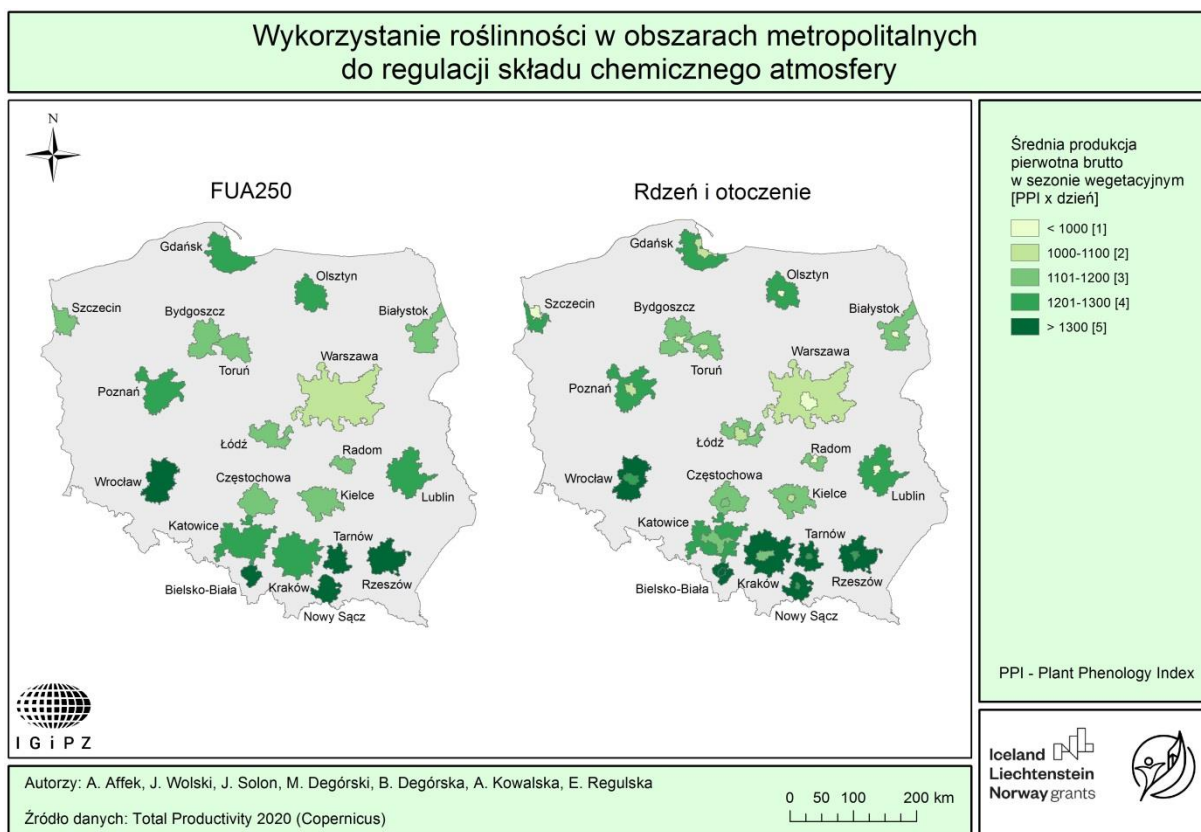
Wartości wskaźnika

Wskaźnik wykorzystania roślinności do regulacji składu chemicznego atmosfery, pokazujący średnią produkcję pierwotną brutto w sezonie wegetacyjnym, przyjmuje wartości od 1081 (dla FUA Warszawy) do ponad 1400 (dla FUA Nowego Sącza, Tarnowa i Wrocławia) dla całych obszarów metropolitalnych (tab. 13, ryc. 7). Dla rdzeni FUA przyjmuje wartości od 839 (dla Białegostoku) do 1340 (dla Bielska-Białej). Jeśli chodzi o otoczenie FUA, to najniższe wartości średniej produkcji pierwotnej odnotowano, podobnie jak dla całego obszaru metropolitalnego, dla FUA Warszawy (1092), a najwyższe dla FUA Wrocławia, Nowego Sącza i Tarnowa (>1440). Średnia produkcja pierwotna w rdzeniach jest zdecydowanie niższa w porównaniu z pozostałą częścią FUA, średnio o 187 $\text{PPI} \times \text{dzień}$, czyli 15% ($t = -8,82$; $p < 0,001$). Transformując wartości procentowe do pięciostopniowej skali wykorzystania tej usługi w obszarach metropolitalnych przyjęto następujące przedziały ($<1000 \rightarrow 1$; $1000-1100 \rightarrow 2$; $1100-1200 \rightarrow 3$; $1200-1300 \rightarrow 4$; $>1300 \rightarrow 5$).

Tabela 13. Średnia produkcja pierwotna brutto w sezonie wegetacyjnym jako wskaźnik wykorzystania roślinności w obszarach metropolitalnych do regulacji składu chemicznego atmosfery. W nawiasach wykorzystanie w skali od 1 do 5

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [$\text{PPI} \times \text{dzień}$]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	918 [1]	1092 [2]	1081 [2]
PL002	Łódź	1069 [2]	1160 [3]	1142 [3]
PL003	Kraków	1183 [3]	1307 [5]	1296 [4]
PL004	Wrocław	1208 [4]	1447 [5]	1420 [5]
PL005	Poznań	1029 [2]	1236 [4]	1219 [4]
PL006	Gdańsk	1070 [2]	1276 [4]	1245 [4]
PL007	Szczecin	857 [1]	1210 [4]	1116 [3]
PL008	Bydgoszcz	850 [1]	1160 [3]	1134 [3]
PL009	Lublin	990 [1]	1244 [4]	1233 [4]
PL010	Katowice	1190 [3]	1277 [4]	1260 [4]
PL011	Białystok	839 [1]	1177 [3]	1162 [3]
PL012	Kielce	1042 [2]	1136 [3]	1132 [3]
PL013	Toruń	893 [1]	1153 [3]	1134 [3]
PL014	Olsztyn	978 [1]	1235 [4]	1224 [4]
PL015	Rzeszów	1221 [4]	1378 [5]	1370 [5]
PL020	Nowy Sącz	1231 [4]	1446 [5]	1437 [5]
PL024	Częstochowa	1159 [3]	1175 [3]	1173 [3]
PL025	Radom	999 [1]	1161 [3]	1134 [3]
PL506	Bielsko-Biała	1340 [5]	1373 [5]	1367 [5]
PL514	Tarnów	1272 [4]	1440 [5]	1430 [5]

PPI – *Plant Phenology Index* (Jin i Eklundh, 2014)



Ryc. 7. Wykorzystania roślinności w obszarach metropolitalnych do regulacji składu chemicznego atmosfery

2.2.3. Utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej)

Jedną z najbardziej kontrowersyjnych klas świadczeń jest w ramach usług regulacyjnych Utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej) w klasyfikacji CICES. Głównym powodem licznych różnic w ujęciu i interpretacji tego świadczenia jest fakt, iż może być ono traktowane nie tylko jako samodzielne świadczenie, ale także jako uwarunkowanie dla różnych świadczeń zaopatrzeniowych. Świadczenia związane z obecnością gatunków i siedlisk są traktowane przez różnych autorów w bardzo odmienny sposób, co znajduje swoje odbicie w nazwach szczegółowych, np.: Siedliska dla gatunków; Utrzymanie siedlisk i populacji rozrodczych; Utrzymanie cykli życiowych; Utrzymanie siedlisk pochodzenia biologicznego; Utrzymanie obszarów rozrodczych; Ostoje i refugia. Należy przy tym zauważyć, że za różnicami w nazwach kryją się także różnice w zakresach pojęciowych, co zostało szczegółowo przeanalizowane m.in. w opracowaniach Solona i in. (2017) i Affeka i in. (2020). Rolę ekosystemów/krajobrazów w zapewnieniu możliwości rozwoju gatunków różni autorzy zaliczają do odmiennych grup świadczeń: (a) regulacyjnych, (b) wspomagających, (c) oddzielnej grupy świadczeń siedliskowych. Również odmiennie ujmuje się zakres przedmiotowy tych świadczeń, gdyż mogą one dotyczyć siedlisk niezbędnych: (a) dla wszystkich procesów życiowych wszystkich gatunków, (b) dla funkcji reprodukcyjnych i wychowywania młodych, ale tylko dla gatunków

dostarczających usług zaopatrzeniowych, (c) dla rozrodu i osto migracyjnych wszystkich gatunków (Solon i in., 2017; Affek i in., 2020).

Nie wchodząc w bardziej szczegółowe rozważania, omówione między innymi w cytowanych wyżej publikacjach, w niniejszym opracowaniu przedstawiono przykładowe wskaźniki, reprezentujące dwa różne podejścia do zagadnienia.

2.2.3.1. Utrzymanie matecznych populacji gatunków

Usługa ta należy do sekcji Regulacja i utrzymanie, działu Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych w CICES V5.1 (tab. 14). Polega ona na zapewnieniu warunków do trwałego występowania i rozrodu populacji gatunków, przy zachowaniu odpowiedniego poziomu ich różnicowania genetycznego. Przedmiotem pomiaru jest obecność potencjalnych miejsc występowania i rozmnażania rodzimych gatunków w dobrze wykształconych ekosystemach o wysokiej różnorodności biologicznej, a wskaźnikiem potencjału tej usługi jest udział powierzchniowy określonych kategorii obszarów chronionych.

Tabela 14. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźników (1) łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych i rezerwatów przyrody w powierzchni odniesienia i (2) łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody oraz obszarów NATURA2000 (ptasich i siedliskowych) w powierzchni odniesienia

Świadczenie ekosystemowe		Utrzymanie matecznych populacji gatunków
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>)		Potencjalne miejsca występowania i rozmnażania rodzimych gatunków w dobrze wykształconych ekosystemach o wysokiej różnorodności biologicznej
Wskaźniki (warianty)		A. Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych i rezerwatów przyrody w powierzchni odniesienia B. Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody oraz obszarów NATURA2000 (ptasich i siedliskowych) w powierzchni odniesienia
Akronim		A. OCHRONA1 B. OCHRONA2
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		Geometryczna suma powierzchni obszarów chronionych podzielona przez powierzchnię odniesienia i wyrażona w procentach
Pośredni/bezpośredni		Pośredni

Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – 100%
Jednostka miary		-
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Krajowe
Dane źródłowe	Opis danych	Centralny rejestr form ochrony przyrody
	Dysponent danych	Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
	Link do bazy danych	https://www.gov.pl/web/gdos/dostep-do-danych-geoprzestrzennych
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	-
	Format danych	Dane wektorowe (Shapefile)
	Pokrycie kraju	Cały kraj
	Aktualność danych	Aktualizowane na bieżąco
	Dostępność danych	Dane ogólnodostępne, darmowe

Założenia teoretyczne

Uwzględnione w opracowaniu kategorie obszarów chronionych ze swojej definicji i prawnych kryteriów tworzenia, obejmują obszary o zidentyfikowanych walorach przyrodniczych. Zgodnie z obowiązującą ustawą z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2021 poz. 1098) park narodowy obejmuje obszar wyróżniający się szczególnymi wartościami przyrodniczymi i tworzy się go m.in. w celu zachowania różnorodności biologicznej, zasobów, tworów i składników przyrody nieożywionej i walorów krajobrazowych, przywrócenia właściwego stanu zasobów i składników przyrody oraz odtworzenia zniekształconych siedlisk przyrodniczych, siedlisk roślin, siedlisk zwierząt lub siedlisk grzybów (art. 8). Zgodnie z art. 13 tej ustawy rezerwat przyrody obejmuje obszary zachowane w stanie naturalnym lub mało zmienionym, ekosystemy, ostoje i siedliska przyrodnicze, a także siedliska roślin, siedliska zwierząt i siedliska grzybów wyróżniające się szczególnymi wartościami przyrodniczymi. Park krajobrazowy obejmuje obszar chroniony ze względu na wartości przyrodnicze, historyczne i kulturowe oraz walory krajobrazowe (art. 16). Obszary Natura 2000 obejmują obszary specjalnej ochrony ptaków oraz specjalne obszary ochrony siedlisk, służące do ochrony siedlisk przyrodniczych i gatunków będących przedmiotem zainteresowania Wspólnoty Europejskiej (art. 25). Łączne wykorzystanie tych obszarów jako bezpośredniego wskaźnika potencjału usługi Utrzymywanie siedlisk i populacji gatunków wynika z wielokrotnie wykazanego faktu, iż w parkach narodowych występuje najwyższe regionalnie bogactwo gatunkowe większości taksonów rodzimych, natomiast rezerваты i obszary Natura 2000 są ukierunkowane na niewielką, określoną grupę gatunków i ekosystemów – wybitnie rzadkich, na granicy zasięgu lub zagrożonych zanikiem. Parki krajobrazowe uzupełniają ten system. Dzięki tym uwarunkowaniom tak przyjęty system

obszarów chronionych tworzy dobrze zdefiniowane i najłatwiej mierzalne potencjalne miejsca występowania rodzimych gatunków i ekosystemów.

Obszary chronione, poza swoją podstawową funkcją związaną z ochroną przyrody, mają także znaczenie z punktu widzenia szeroko pojętych świadczeń kulturowych na rzecz społeczeństwa. Funkcje te wynikają bezpośrednio z zapisów ustawowych. Zgodnie z obowiązującą ustawą z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody park narodowy – poza walorami przyrodniczymi – wyróżnia się szczególnymi walorami kulturowymi i edukacyjnymi, a do jego zadań należy m.in. udostępnianie obszaru parku na ustalonych odpowiednio zasadach oraz prowadzenie działań związanych z edukacją przyrodniczą (art. 8 i 8b). W art. 13 podkreśla się natomiast, że rezerwat przyrody obejmuje obszary wyróżniające się m.in. szczególnymi wartościami naukowymi. W art. 16 stwierdza się, że park krajobrazowy tworzy się w celu zachowania i popularyzacji wartości przyrodniczych, historycznych, kulturowych i krajobrazowych.

Rolę obszarów chronionych w dostarczaniu świadczeń kulturowych dostrzegli m.in. Maes i in. (2015), którzy zaproponowali traktowanie obecności obszarów chronionych jako wskaźnika ogólnego dla świadczeń z działu Interakcje fizyczne i intelektualne w obrębie sekcji Kultura (interakcje z przyrodą), bez podziału na wężiej ujęte kategorie usług, oraz Mononen i in. (2016), którzy dla odmiany wskazali dwie usługi ekosystemowe: Turystyka przyrodnicza oraz Nauka i edukacja – dla których wskaźnikiem potencjału w perspektywie przestrzennej są obszary chronione o różnym statusie (porównaj Solon i in. 2017; Affek i in. 2020).

Biorąc powyższe pod uwagę można przyjąć, że wskaźniki bazujące na udziale obszarów chronionych są również wskaźnikami potencjału do świadczenia usług kulturowych, a w szczególności świadczenia Cechy przyrody ożywionej, które umożliwiają działania promujące zdrowie lub dostarczające przyjemności poprzez aktywną interakcję (3.1.1.1) oraz Cechy przyrody ożywionej, które umożliwiają badania naukowe lub tworzenie tradycyjnej wiedzy ekologicznej (3.1.2.1). Wydaje się jednocześnie, że wskaźnik OCHRONA1 jest bardziej związany ze świadczeniem 3.1.1.1, natomiast wskaźnik OCHRONA2 lepiej charakteryzuje świadczenie 3.1.2.1. Zależności te przedstawiono w tab. 15.

Tabela 15. Miejsce usług kulturowych, bazujących na obecności obszarów ochrony przyrody w systemie CICES V5.1

Świadczenie ekosystemowe		Umożliwianie turystyki i rekreacji na łonie przyrody	Umożliwianie badań naukowych ekosystemów i krajobrazów
CICES 5.1	Sekcja	Kultura (interakcje z przyrodą)	
	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	Cechy systemów biologicznych umożliwiające prowadzenie badań naukowych lub kreowanie tradycyjnej wiedzy ekologicznej

	Kod	3.1.1.1.	3.1.2.1.
Przedmiot pomiaru (<i>Indicatum</i>)		Potencjał dla turystyki i rekreacji na łonie natury w obszarach metropolitalnych	Potencjał przyrody do badań naukowych w obszarach metropolitalnych
Wskaźniki		Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych i rezerwatów przyrody w powierzchni odniesienia	Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody oraz obszarów NATURA2000 (ptasich i siedliskowych) w powierzchni odniesienia
Akronim		a) OCHRONA1	b) OCHRONA2
Potencjał/wykorzystanie/ zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał	

Metodyka uzyskania wyników

Informacje pierwotne niezbędne dla określenia wskaźnika obejmują dane przestrzenne dotyczące rozmieszczenia, nazw i typu obszarów chronionych następujących kategorii: parki narodowe, rezerваты, obszary specjalnej ochrony ptaków (OSO), specjalne obszary ochrony siedlisk (SOO), parki krajobrazowe. Pochodzą one z oficjalnych zbiorów danych Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska i zostały pobrane w formacie shp.

Na podstawie pobranych danych przestrzennych obliczono dwa wskaźniki:

- a) Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych i rezerwatów przyrody w powierzchni odniesienia (OCHRONA1)
- b) Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody oraz obszarów NATURA2000 (ptasich i siedliskowych) w powierzchni odniesienia (OCHRONA2)

Z definicji wartość wskaźnika OCHRONA2 jest nie niższa (a najczęściej wyższa) niż wartość wskaźnika OCHRONA1. Wartości obu wskaźników zostały obliczone dla trzech typów powierzchni odniesienia, a mianowicie dla rdzenia FUA, dla otoczenia FUA oraz dla całości FUA łącznie.

Wartości wskaźników

Wskaźnik OCHRONA1 przyjmuje wartości od 0,16% (dla FUA Torunia) do 29,55% (dla FUA Bielsko-Białej). Dla dziewięciu FUA wartości wskaźnika są niższe od 10%, a jedynie w przypadku trzech jednostek przekraczają 20%. Dla rdzeni FUA najniższe wartości wynoszą zero (Radom, Nowy Sącz), a łącznie w przypadku 10 jednostek nie osiągają jednego procenta. Natomiast najwyższe wartości, przekraczające 20%, występują w przypadku dwóch rdzeni FUA (Gdańsk, Bielsko-Biała). Jeśli chodzi o otoczenie, to najniższe wartości wynoszą 0,14% (Toruń), a najwyższe osiągają prawie 31% (Bielsko-Biała), przy czym w trzech obszarach przekraczają 20% (tab. 16, ryc. 8).

Transformując wartości procentowe do pięciostopniowej skali wykorzystania tej usługi w obszarach metropolitalnych przyjęto dla obu wskaźników (OCHRONA1 i OCHRONA2) następujące przedziały (<5% → 1; 5-10% → 2; 10-15% → 3; 15-20% → 4; >20% → 5).

Tabela 16. Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych i rezerwatów przyrody w powierzchni odniesienia (OCHRONA1) jako wskaźnik utrzymywania siedlisk i populacji gatunków

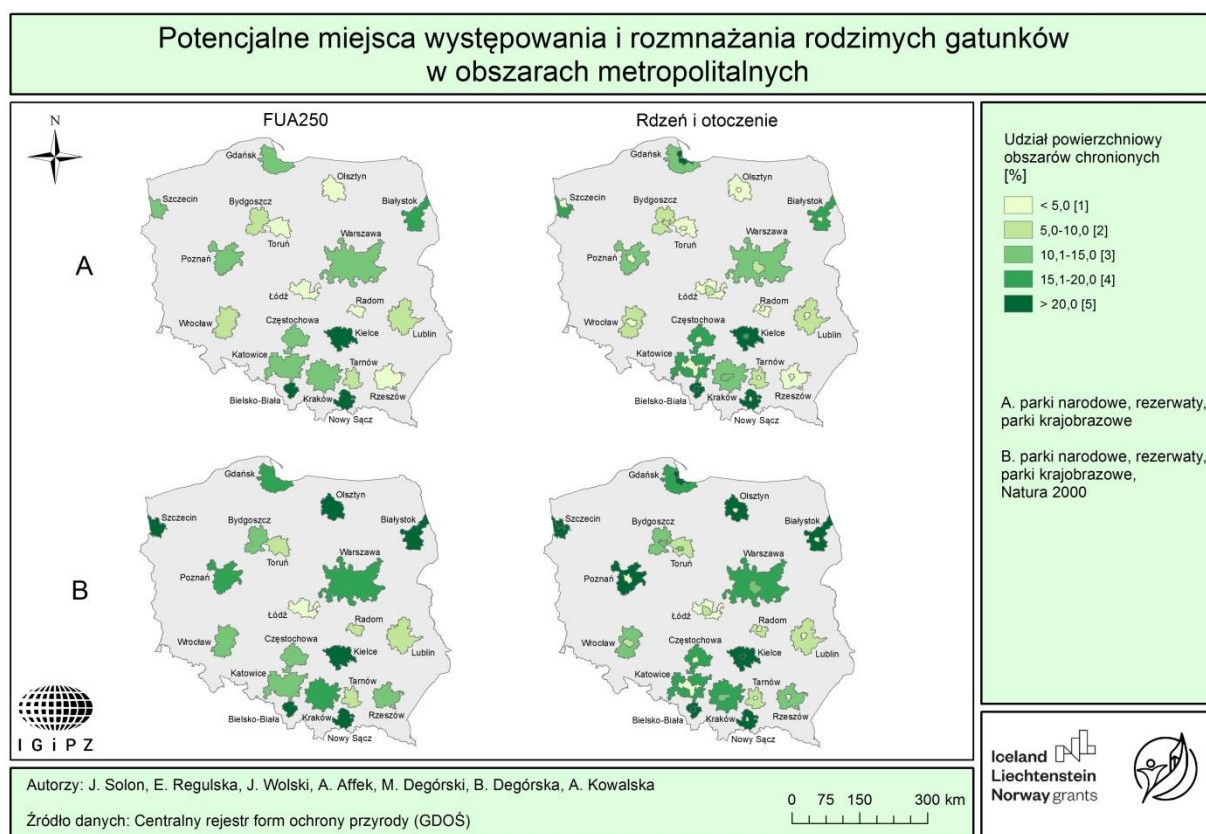
Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	8,14 [2]	12,81 [3]	12,53 [3]
PL002	Łódź	5,22 [2]	4,24 [1]	4,44 [1]
PL003	Kraków	14,53 [3]	13,06 [3]	13,19 [3]
PL004	Wrocław	1,94 [1]	5,93 [2]	5,49 [2]
PL005	Poznań	0,22 [1]	14,08 [3]	12,91 [3]
PL006	Gdańsk	20,27 [5]	11,21 [3]	12,57 [3]
PL007	Szczecin	1,37 [1]	15,17 [4]	11,49 [3]
PL008	Bydgoszcz	6,95 [2]	7,2 [2]	7,18 [2]
PL009	Lublin	0,17 [1]	6,67 [2]	6,37 [2]
PL010	Katowice	0,28 [1]	15,14 [4]	12,33 [3]
PL011	Białystok	1,02 [1]	19,61 [4]	18,76 [4]
PL012	Kielce	19,56 [4]	24,74 [5]	24,49 [5]
PL013	Toruń	0,4 [1]	0,14 [1]	0,16 [1]
PL014	Olsztyn	0,17 [1]	2,46 [1]	2,36 [1]
PL015	Rzeszów	0,07 [1]	4,76 [1]	4,52 [1]
PL020	Nowy Sącz	0 [1]	21,32 [5]	20,38 [5]
PL024	Częstochowa	0,78 [1]	15,29 [4]	14,09 [3]
PL025	Radom	0 [1]	0,64 [1]	0,53 [1]
PL506	Bielsko-Biała	22,57 [5]	30,98 [5]	29,55 [5]
PL514	Tarnów	0,13 [1]	8,04 [2]	7,58 [2]

Wskaźnik OCHRONA2 przyjmuje wartości od 4,53% (dla FUA Łódź) do 41% (dla FUA Bielsko-Biała). Dla pięciu FUA wartości wskaźnika są niższe od 10%, a w przypadku sześciu jednostek przekraczają 20%. Dla rdzeni FUA najniższe wartości wynoszą 0,17% (Olsztyn), a łącznie w przypadku czterech jednostek nie osiągają jednego procenta. Natomiast najwyższe wartości, przekraczające 20%, występują w przypadku czterech rdzeni FUA (Gdańsk, Bielsko-Biała, Kielce, Szczecin). Jeśli chodzi o otoczenie, to najniższe wartości wynoszą 4,36% (Łódź), a najwyższe osiągają prawie 45% (Bielsko-Biała), przy czym w siedmiu obszarach przekraczają 20% (tab. 17, ryc. 8).

Tabela 17. Łączny udział powierzchniowy parków narodowych, parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody i obszarów NATURA2000 (ptasich i siedliskowych) w powierzchni odniesienia (OCHRONA2) jako wskaźnik utrzymywania siedlisk i populacji gatunków

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	12,3 [3]	18,0 [4]	17,6 [4]
PL002	Łódź	5,2 [2]	4,4 [1]	4,5 [1]
PL003	Kraków	14,8 [3]	17,0 [4]	16,8 [4]
PL004	Wrocław	8,4 [2]	11,6 [3]	11,2 [3]

PL005	Poznań	1,6 [1]	20,8 [5]	19,2 [4]
PL006	Gdańsk	21,6 [5]	15,1 [4]	16,1 [4]
PL007	Szczecin	38,6 [5]	35,5 [5]	36,3 [5]
PL008	Bydgoszcz	12,5 [3]	10,8 [3]	10,9 [3]
PL009	Lublin	0,2 [1]	7,8 [2]	7,0 [2]
PL010	Katowice	1,38 [1]	16,4 [4]	13,5 [3]
PL011	Białystok	1,02 [1]	36,5 [5]	34,9 [5]
PL012	Kielce	20,8 [5]	30,9 [5]	30,4 [5]
PL013	Toruń	13,4 [3]	7,5 [2]	7,9 [2]
PL014	Olsztyn	0,2 [1]	22,1 [5]	21,2 [5]
PL015	Rzeszów	1,2 [1]	10,6 [3]	10,1 [3]
PL020	Nowy Sącz	2,2 [1]	31,1 [5]	29,8 [5]
PL024	Częstochowa	0,9 [1]	15,4 [4]	14,2 [3]
PL025	Radom	1,1 [1]	6,2 [2]	5,4 [2]
PL506	Bielsko-Biała	23,4 [5]	44,6 [5]	41 [5]
PL514	Tarnów	0,4 [1]	9,4 [2]	8,9 [2]



Ryc. 8. Potencjalne miejsca występowania i rozmnażania rodzimych gatunków w obszarach metropolitalnych

2.2.3.2. Zachowanie łączności ekologicznej między populacjami i siedliskami

Usługa ta należy do sekcji Regulacja i utrzymanie, działu Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych w CICES V5.1 (tab. 18). Polega ona na zapewnieniu warunków do przemieszczania się osobników poszczególnych gatunków między miejscami odpowiednimi dla rozmnażania i bezpiecznego żerowania. Przedmiotem pomiaru jest potencjalna możliwość przemieszczania się i wymiany puli genowej między populacjami

dużych ssaków leśnych w obszarach metropolitalnych, a wskaźnikiem jest obliczona charakterystyka liczbowa najkrótszej ścieżki między najbardziej odległymi płatami leśnymi w obrębie FUA.

Tabela 18. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźników (1) względny opór najkrótszej ścieżki i (2) względna liczba kroków najkrótszej ścieżki

Świadczenie ekosystemowe		Zachowanie 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>)		Możliwość przemieszczania się i wymiany puli genowej między populacjami dużych ssaków leśnych w obszarach metropolitalnych
Wskaźniki (powiązane)		A. Względny opór najkrótszej ścieżki B. Względna liczba kroków najkrótszej ścieżki
Akronim		A. ŚCIEŻKA1 B. ŚCIEŻKA2
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		Wyliczenia na podstawie modelu najkrótszej ścieżki, wykonane w programie GraphScape. Każda ścieżka jest scharakteryzowana dwoma parametrami liczbowymi: sumaryczny opór i liczba przekroczonych granic. Za wskaźniki przyjęto miary pochodne, odniesione do odległości w linii prostej między krańcowymi punktami ścieżki, a mianowicie: wartość oporu na 10 km odległości w linii prostej oraz liczba przekroczonych granic na 10 km odległości w linii prostej
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Złożony
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – ∞
Jednostka miary		A. opór na 10 km B. liczba granic na 10 km
Jednostka odniesienia	przestrzenna	Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie planowania	do poziomu	Krajowe
Dane źródłowe	Opis danych	CORINE Land Cover 2018
	Dysponent danych	Europejska Agencja Środowiska (EEA), Generalna Inspekcja Ochrony Środowiska
	Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018 https://clc.gios.gov.pl/index.php/clc-2018/udostepnianie

	link do programu GraphScape: https://www.igipz.pan.pl/GraphScape.html
Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	25 ha
Format danych	Dane wektorowe (Shapefile)
Pokrycie kraju	Cały kraj
Aktualność danych	2018, aktualizowane co 6 lat
Dostępność danych	Dane ogólnodostępne, darmowe

Założenia teoretyczne

Utrzymanie żywotnych populacji gatunków, o zróżnicowanej strukturze genetycznej, szczególnie dużych zwierząt leśnych, zależy nie tylko od istnienia odpowiednio dużych płatów ekosystemów właściwych dla danego gatunku, ale także od możliwości przemieszczania się między poszczególnymi płatami. Innymi słowy, zależy od struktury przestrzennej (konfiguracji) krajobrazu, a dokładniej – od istnienia połączeń między odpowiednimi ekosystemami (*connectivity*), lub – innymi słowy – od stopnia przepuszczalności danego krajobrazu. Bogata literatura wskazuje na zależności między konfiguracją krajobrazu oraz kondycją i utrzymywaniem siedlisk i populacji gatunków oraz przedstawia różne narzędzia do określenia stopnia łączności/oporu krajobrazu (por. Pomianowski i Solon, 2020). Wymodelowana najkrótsza ścieżka i jej parametry jest pośrednią miarą ogólnej przydatności krajobrazu dla zapewnienia realizacji usług z klasy Utrzymywanie macecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej).

Metodyka uzyskania wyników

Materiałem podstawowym jest zróżnicowanie pokrycia terenu, wyrażone w kategoriach CORINE Land Cover. Przyjmuje się, że zróżnicowanie pokrycia terenu odpowiada – w uproszczeniu – zróżnicowaniu ekosystemów. W pierwszym kroku postępowania wybiera się w obrębie każdego obszaru metropolitalnego (FUA) dwa płaty lasu położone możliwie najdalej od siebie (najdalsi sąsiedzi), ale w obrębie jednostki odniesienia. Następnie z mapy określa się odległość w linii prostej (w km) od granicy do granicy płatów. Wartość tej odległości zostanie wykorzystana dla utworzenia względnych wartości wskaźników. W kolejnym kroku w programie GraphScape definiuje się ścieżkę najmniejszego oporu.

Program GraphScape do analiz wykorzystuje mapę wektorową, reprezentującą dyskretne jednostki przestrzenne. Podstawą analiz jest pełny graf połączeń (granic) między wszystkimi płatami. Podstawowym zadaniem programu jest zdefiniowanie takiej ścieżki między dwoma płatami (określonej jako kolejność granic płatów, które należy przekroczyć i mierzonej liczbą tych granic), która charakteryzuje się najmniejszym oporem. Opór ścieżki definiuje się jako sumę oporów przejścia, pobytu i wyjścia.

Opór pobytu w płacie (*patch class resistance*) jest określony poprzez przydatność płatu dla danego gatunku, procesu lub zjawiska, które jest analizowane. W praktyce przydatności nie określa się dla poszczególnych płatów oddzielnie, lecz dla klas płatów.

Odpowiednie dane są wprowadzane w postaci odrębnej tabeli (tab. 19). Opór pobytu nie jest wartością własną mapy, lecz zależy od analizowanego zagadnienia.

Opór przejścia do płatu (*transfer resistance*) zależy od podobieństwa strukturalnego, siedliskowego i funkcjonalnego między sąsiadującymi płatami (im bardziej podobne płaty tym opór przejścia jest mniejszy). Dane są wprowadzane w postaci dodatkowej tabeli krzyżowej (macierzy), w której użytkownik sam definiuje wartości podobieństwa/oporu (tab. 20). Opór przejścia jest charakterystyką typów płatów przedstawionych na mapie i nie zależy od szczegółowego zadania analizowanego w programie (Solon i Pomianowski, 2014; Pomianowski i Solon, 2020).

W maksymalnie rozbudowanej wersji analizy określa się dodatkowo tak zwany opór wyjścia, natomiast dla potrzeb określenia wskaźników zastosowano procedurę uwzględniającą jedynie zróżnicowanie oporu pobytu i oporu przejścia.

Tabela 19. Umowne wartości oporu pobytu w płatach poszczególnych klas CORINE Land Cover 2018, przyjęte do modelowania w programie GraphScape

CODE	111	112	121	122	123	124	131	132	133	141	142	211	222	231	242
Opór	-10	-10	-10	1	-10	-10	1	1	1	0,9	0,9	0,6	0,4	0,2	0,2

CODE	243	311	312	313	321	322	324	331	333	411	412	511	512	523
Opór	0,2	0,01	0,01	0,01	0,2	0,2	0,1	0,8	0,8	0,5	0,5	1	-10	-10

Tabela 20. Umownie przyjęte wartości oporu przejścia między płatami z poszczególnych klas CORINE Land Cover 2018

CODE	111	112	121	122	123	124	131	132	133	141	142	211	222	231	242	243	311	312	313	321	322	324	331	333	411	412	511	512	523
111		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
112			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
121				0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
122					0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
123						0,1	0,1	0,2	0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
124							0,1	0,2	0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
131								0,2	0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
132									0,2	0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
133										0,8	0,5	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,5	1	1	1	1	1
141											0,2	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	0,9	1	1	1
142												0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9	0,9	1	1	1
211													0,3	0,1	0,2	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,9	0,9	1	1	1
222														0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,9	0,9	1	1	1
231															0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,6	0,4	0,3	0,6	0,6	1	1	1
242																	0,3	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,9	0,9	1	1
243																		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	1	1	1
311																			0,1	0,1	0,5	0,5	0,2	0,8	0,8	0,6	0,6	1	1
312																				0,1	0,5	0,5	0,2	0,8	0,8	0,6	0,6	1	1
313																					0,5	0,5	0,2	0,8	0,8	0,6	0,6	1	1
321																						0,2	0,4	0,3	0,4	0,7	0,6	1	1
322																							0,4	0,3	0,4	0,7	0,6	1	1

324	0,3	0,4	0,7	0,6	1	1	1
331	0,2	0,9	0,9	1	1	1	
333	0,9	0,9	1	1	1		
411	0,1	0,5	0,5	0,9			
412	0,5	0,5	0,9				
511	0,1	0,3					
512	0,3						
523							

Otrzymane ścieżki (przedstawione w postaci wektorowych polilinii, łączących centroidy płatów, przez które przechodzą) są scharakteryzowane dwoma wartościami liczbowymi. Pierwsza z nich to sumaryczny opór ścieżki, a druga to liczba przekroczonych granic płatów. Ze względu na różną wielkość FUA i ich rozciągłość, bezpośrednie porównywanie wartości dla różnych FUA może być mylące. Dlatego też dla celów porównawczych zastosowano wskaźniki względne, odniesione do 10 km bezpośredniej odległości między płatami (a nie do długości ścieżki).

Wartości wskaźników

Względny opór najkrótszej ścieżki (wskaźnik ŚCIEŻKA1) jest najniższy w FUA Olsztyn (0,357), natomiast najwyższy w FUA Radom (1,61). Należy jednak podkreślić, że przy przyjętych parametrach modelowania i zakresie terytorialnym w rzeczywistości najwyższy jest dla FUA Bielsko-Biała, dla której nie można wymodelować odpowiedniej ścieżki, w całości zawartej na obszarze FUA. Do FUA o bardzo wysokich oporach ścieżki (powyżej 0,9), zasadniczo uniemożliwiających swobodne przejście poprzez obszar, należą także Katowice, Tarnów i Łódź (tab. 21, ryc. 9).

Względna liczba kroków najkrótszej ścieżki (wskaźnik ŚCIEŻKA2) jest najniższa dla FUA Lublin (2,375), a najwyższa dla FUA Rzeszów (7,357). Do FUA o stosunkowo niskiej względnej liczbie kroków (poniżej 3) poza Lublinem należą także Bydgoszcz, Toruń i Wrocław, natomiast do FUA o wysokiej względnej liczbie kroków (powyżej 5) poza Rzeszowem należą także Olsztyn, Gdańsk, Radom, Łódź, Tarnów, Nowy Sącz i Katowice (tab. 21, ryc. 9).

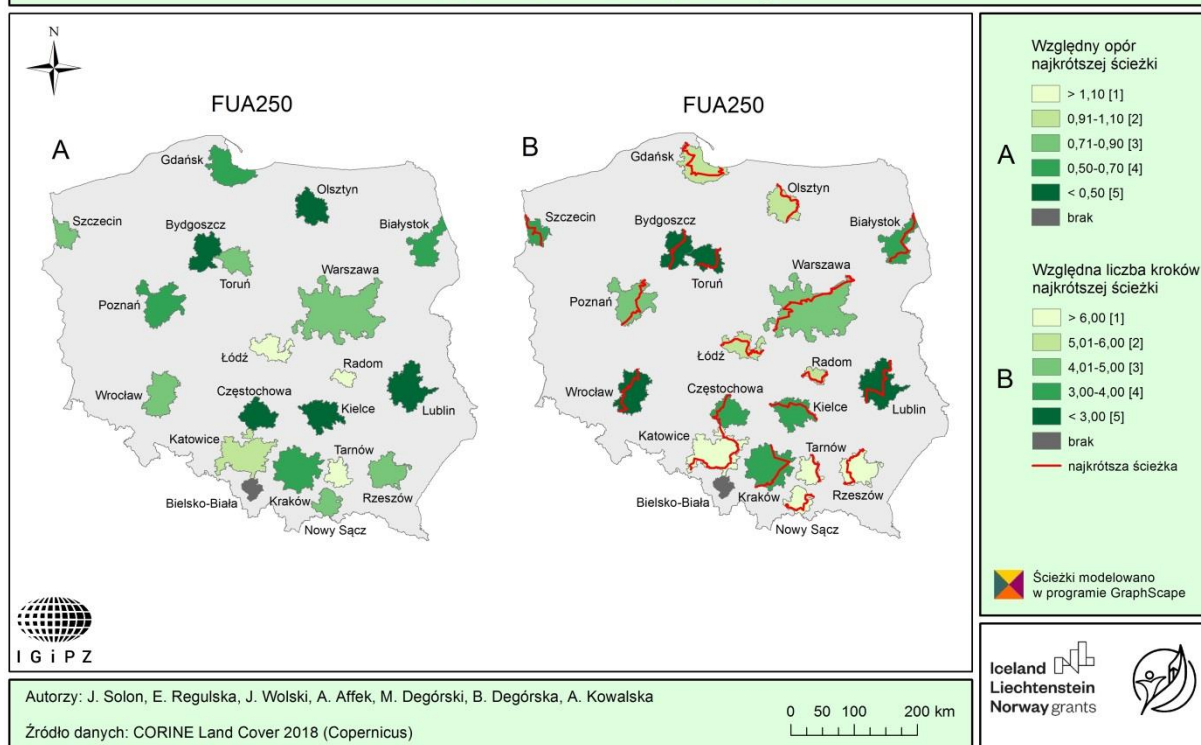
Transformując wartości procentowe do pięciostopniowej skali wykorzystania tej usługi w obszarach metropolitalnych przyjęto dla wskaźnika ŚCIEŻKA1 następujące przedziały ($>1,1 \rightarrow 1$; $0,91-1,10 \rightarrow 2$; $0,71-0,90 \rightarrow 3$; $0,50-0,70 \rightarrow 4$; $<0,50 \rightarrow 5$), natomiast dla wskaźnika ŚCIEŻKA2 - przedziały ($>6 \rightarrow 1$; $5,01-6,00 \rightarrow 2$; $4,01-5,00 \rightarrow 3$; $3,00-4,00 \rightarrow 4$; $<3,00 \rightarrow 5$).

Tabela 21. Względny opór najkrótszej ścieżki (ŚCIEŻKA1) oraz względna liczba kroków najkrótszej ścieżki (ŚCIEŻKA2) jako wskaźniki utrzymywania siedlisk i populacji gatunków

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika dla FUA w całości	
		ŚCIEŻKA1	ŚCIEŻKA2
PL001	Warszawa	0,861 [3]	4,563 [3]
PL002	Łódź	1,152 [1]	5,535 [2]
PL003	Kraków	0,502 [4]	3,355 [4]

PL004	Wrocław	0,759 [3]	2,727 [5]
PL005	Poznań	0,576 [4]	4,315 [3]
PL006	Gdańsk	0,685 [4]	5,292 [2]
PL007	Szczecin	0,883 [3]	3,025 [4]
PL008	Bydgoszcz	0,430 [5]	2,477 [5]
PL009	Lublin	0,458 [5]	2,375 [5]
PL010	Katowice	1,005 [2]	6,743 [1]
PL011	Białystok	0,566 [4]	3,892 [4]
PL012	Kielce	0,462 [5]	3,960 [4]
PL013	Toruń	0,724 [3]	2,642 [5]
PL014	Olsztyn	0,357 [5]	5,141 [2]
PL015	Rzeszów	0,721 [3]	7,357 [1]
PL020	Nowy Sącz	0,733 [3]	6,639 [1]
PL024	Częstochowa	0,429 [5]	3,473 [4]
PL025	Radom	1,610 [1]	5,384 [2]
PL506	Bielsko-Biała	brak	brak
PL514	Tarnów	1,123 [1]	6,058 [1]

Możliwość przemieszczania się i wymiany puli genowej między populacjami dużych ssaków w obszarach metropolitalnych



Ryc. 9. Możliwość przemieszczania się i wymiany puli genowej między populacjami dużych ssaków w obszarach metropolitalnych.

2.3. Świadczenia kulturowe

2.3.1. Możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury

Usługa ta należy do sekcji Kulturowe, działu Bezpośrednie interakcje, in situ i w terenie, z systemami biologicznymi, zależne od ich obecności w warunkach naturalnych w CICES

V5.1. Polega ona na fizycznych i doświadczalnych interakcjach ze środowiskiem przyrodniczym, które prowadzą do poprawy stanu zdrowia, regeneracji sił i umożliwiają rozrywkę na łonie przyrody. Przedmiotem pomiaru są: potencjał obszarów metropolitalnych do rekreacji na łonie przyrody oraz niezaspokojone zapotrzebowanie na rekreację na łonie przyrody w obszarach metropolitalnych, a wskaźnikami są odpowiednio: udział obszarów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych w powierzchni miasta lub miejskiego obszaru funkcjonalnego oraz udział zabudowy poza buforem 300/1000 m od obszarów dedykowanych do rekreacji na łonie przyrody w całej powierzchni zabudowy (tab. 22, 23).

Tabela 22. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika udział obszarów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych w powierzchni miasta lub miejskiego obszaru funkcjonalnego

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 (Indicatum)		Potencjał obszarów metropolitalnych do rekreacji na łonie przyrody
Wskaźnik		Udział obszarów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych w powierzchni miasta lub miejskiego obszaru funkcjonalnego
Akronim		REKREACJA_P
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Potencjał
Konstrukcja wskaźnika		Udział procentowy powierzchni terenów BZI* (tereny zieleni miejskiej, obiekty sportowe i rekreacyjne, lasy, roślinność zielna, mokradła i wody) w powierzchni miasta/miejskiego obszaru funkcjonalnego
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – 100%
Jednostka miary		-
Jednostka odniesienia	przestrzenna	Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu planowania		Regionalne, krajowe
Źródło	Opis danych	Urban Atlas 2018

Dysponent danych	European Environment Agency
Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas
Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	0,25 ha
Format danych	Dane GIS
Pokrycie kraju	26% powierzchni Polski
Aktualność danych	2017-2019
Dostępność danych	Otwarty dostęp

* BZI – błękitno-zielona infrastruktura

Tabela 23. Usługa ekosystemowa w CICES V5.1 i metadane wskaźnika udział zabudowy poza buforem 300/1000 m od obszarów dedykowanych do rekreacji na łonie przyrody w całej powierzchni zabudowy

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 (Indicatum)		Niezaspokojone zapotrzebowanie na rekreację na łonie przyrody w obszarach metropolitalnych
Wskaźnik		Udział zabudowy poza buforem 300/1000 m od obszarów dedykowanych do rekreacji na łonie przyrody w całej powierzchni zabudowy
Akronim		REKREACJA_NZ
Potencjał/wykorzystanie/zapotrzebowanie/niezaspokojone zapotrzebowanie		Niezaspokojone zapotrzebowanie
Konstrukcja wskaźnika		Udział procentowy zabudowy (zwartej i rozproszonej) poza buforem (300/1000 m) od BZI* (tereny zieleni miejskiej, obiekty sportowe i rekreacyjne, lasy, roślinność zielna, mokradła i wody) w całej powierzchni zabudowy miasta/miejskiego obszaru funkcjonalnego
Pośredni/bezpośredni		Pośredni
Prosty/złożony		Prosty
Wyliczony/oszacowany		Wyliczony
Skala pomiaru		Ilorazowa
Teoretyczny zakres wartości		0 – 100%
Jednostka miary		-
Jednostka przestrzenna odniesienia		Miejski obszar funkcjonalny o statusie obszaru metropolitalnego (FUA250), rdzeń FUA250, otoczenie FUA250
Odniesienie do poziomu		Regionalne, krajowe

planowania		
Dane źródłowe	Opis danych	Urban Atlas 2018
	Dysponent danych	European Environment Agency
	Link do bazy danych	https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas
	Minimalna jednostka mapowania/rozdzielczość	0,25 ha
	Format danych	Dane GIS
	Pokrycie kraju	26% powierzchni Polski
	Aktualność danych	2017-2019
	Dostępność danych	Otwarty dostęp

* BZI – błękitno-zielona infrastruktura

Założenia teoretyczne

Możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury ma ogromną wartość dla fizycznego dobrostanu i zdrowia psychicznego mieszkańców miast (Geary i in., 2021). Zapewniają ją zielone przestrzenie miejskie, które są coraz bardziej cenione (zwiększają atrakcyjność miejsca zamieszkania) i chronione, ale często przegrywają konkurencję z innymi typami użytkowania ziemi, ponieważ stale rośnie odsetek ludności mieszkającej na terenach miejskich. Poza funkcją rekreacyjną tereny zieleni dostarczają równolegle wiele innych korzyści dla mieszkańców: ograniczają zanieczyszczenie powietrza i wody oraz hałas, poprawiają warunki klimatyczne, chronią przed powodzią, suszami i falami upałów. Istotne znaczenie ma nie tylko udział powierzchniowy terenów zieleni, ale również równomierne rozmieszczenie w mieście warunkujące ich dostępność dla wszystkich mieszkańców. Świadczenie – możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury – przedstawiono za pomocą dwóch wskaźników: 1) udział obszarów dedykowanych do świadczenia ekosystemowych usług rekreacyjnych w powierzchni miasta (rdzenia FUA) lub miejskiego obszaru funkcjonalnego (FUA) pokazujący potencjał do rekreacji na łonie przyrody oraz 2) udział zabudowy poza buforem 300/1000 m od obszarów dedykowanych do rekreacji na łonie przyrody w całej powierzchni zabudowy, mierzący niezaspokojone zapotrzebowanie na rekreację na łonie przyrody.

Metodyka uzyskania wyników

Po szczegółowej analizie bazy danych z Urban Atlas 2018 wytypowano sześć klas (14100 – tereny zieleni miejskiej, 14200 – obiekty sportowe i rekreacyjne, 31000 – lasy, 32000 – roślinność zielna, 40000 – mokradła i 50000 – wody), które uznano za priorytetowe jeśli chodzi o dostarczanie warunków do interakcji ze środowiskiem przyrodniczym i oferujące możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury w miastach. Obliczono udział powierzchniowy ekosystemów z tych klas w powierzchni miast (rdzeni FUA) i miejskich obszarów funkcjonalnych (FUA) jako miarę potencjału tych obszarów do rekreacji na łonie przyrody.

Dostępność do ekosystemów oferujących możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie natury określano w dwóch skalach: lokalnej i ponadlokalnej. Dla skali lokalnej przyjęto odległość 300 m, mierzoną w linii prostej od terenów zieleni i odpowiadającą 5-6 min. marszu, zaś dla skali ponadlokalnej odległość 1000 m i minimalną powierzchnię = 2 ha (por. Zwierzchowska i Mizgajski, 2019; *Studium uwarunkowań ...*, 2020). Zapotrzebowanie na świadczenia rekreacyjne powiązano z obszarami zabudowy odpowiadającej pięciu kategoriom z Urban Atlas 2018: 11100 – zabudowa zwarta, >80% powierzchni nieprzepuszczalnej, 11210 – zabudowa o dużym zagęszczeniu, 50-80% powierzchni nieprzepuszczalnej, 11220 – zabudowa o średnim zagęszczeniu, 30-50% powierzchni nieprzepuszczalnej, 11230 – zabudowa o małym zagęszczeniu, 10-30% powierzchni nieprzepuszczalnej, 11240 – zabudowa o bardzo małym zagęszczeniu, <10% powierzchni nieprzepuszczalnej. Po wyodrębnieniu zabudowy znajdującej się w zasięgu buforów 300 i 1000 m od terenów zieleni obliczono udział procentowy powierzchni zabudowy leżącej poza tymi buforami w powierzchni całej zabudowy w granicach miast (rdzeni FUA) i miejskich obszarów funkcjonalnych (FUA) jako miarę niezaspokojonego zapotrzebowania na rekreację na łonie przyrody.

Wartości wskaźników

Wskaźnik udziału obszarów dedykowanych do świadczenia ekosystemowych usług rekreacyjnych w powierzchni miasta, dla 20 wybranych miast (rdzeni FUA), przyjmuje wartości w przedziale 12-58% (tab. 24). Największy udział terenów zieleni odnotowano w Szczecinie, Olsztynie i Toruniu (wartości wskaźnika wynoszą odpowiednio 58, 46, 46%), najmniejszy w Rzeszowie, Radomiu i Częstochowie (odpowiednio 12, 13, 13%). W miastach o największym udziale obszarów zieleni przypada 0,02-0,03 ha BZI na mieszkańca, a w tych z najmniejszym udziałem 0,005-0,008 ha BZI na mieszkańca (liczba mieszkańców według stanu na 2015 r.). W miastach o największej liczbie ludności (Katowice, Warszawa) będących centrami dużych obszarów metropolitalnych wskaźnik przyjmuje wartości odpowiednio 38% i 30%, co w przeliczeniu na mieszkańca daje 0,03 ha i 0,008 ha BZI. Biorąc pod uwagę udział terenów zieleni w otoczeniu FUA najwyższe wartości odnotowano dla Olsztyna, Nowego Sącza i Bielsko-Białej (odpowiednio 50, 50, 43%), natomiast najniższe dla Radomia, Lublina i Krakowa (odpowiednio 15, 16, 20%). Warto zauważyć, że wśród miejskich obszarów funkcjonalnych z największym udziałem BZI ponownie znalazł się Olsztyn, natomiast z najniższym Radom. W granicach obszarów funkcjonalnych wokół największych polskich metropolii wskaźnik przyjmował zbliżone wartości do tych odnotowanych w samych centrach miejskich – rdzeniach FUA (Katowice 42%, Warszawa 29%) – ryc. 10.

Wskaźnik - udział zabudowy poza buforem 300 m od obszarów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych, w 20 wybranych miastach (rdzeniach FUA) przyjmuje wartości w przedziale 6-42 % (tab. 25). Najniższe wartości (6-8%) odnotowano w Olsztynie, Toruniu, Szczecinie, zaś najwyższe (42%) w Częstochowie i Rzeszowie. W tym przypadku, wysokie wartości wskaźnika pokazują wysoki poziom niezaspokojonego zapotrzebowania na kontakt z przyrodą związany z niskim udziałem obszarów zieleni w areale miast i ich małą dostępność w odległości 300 m od miejsc zamieszkania. Wszystkie wartości powyżej 0

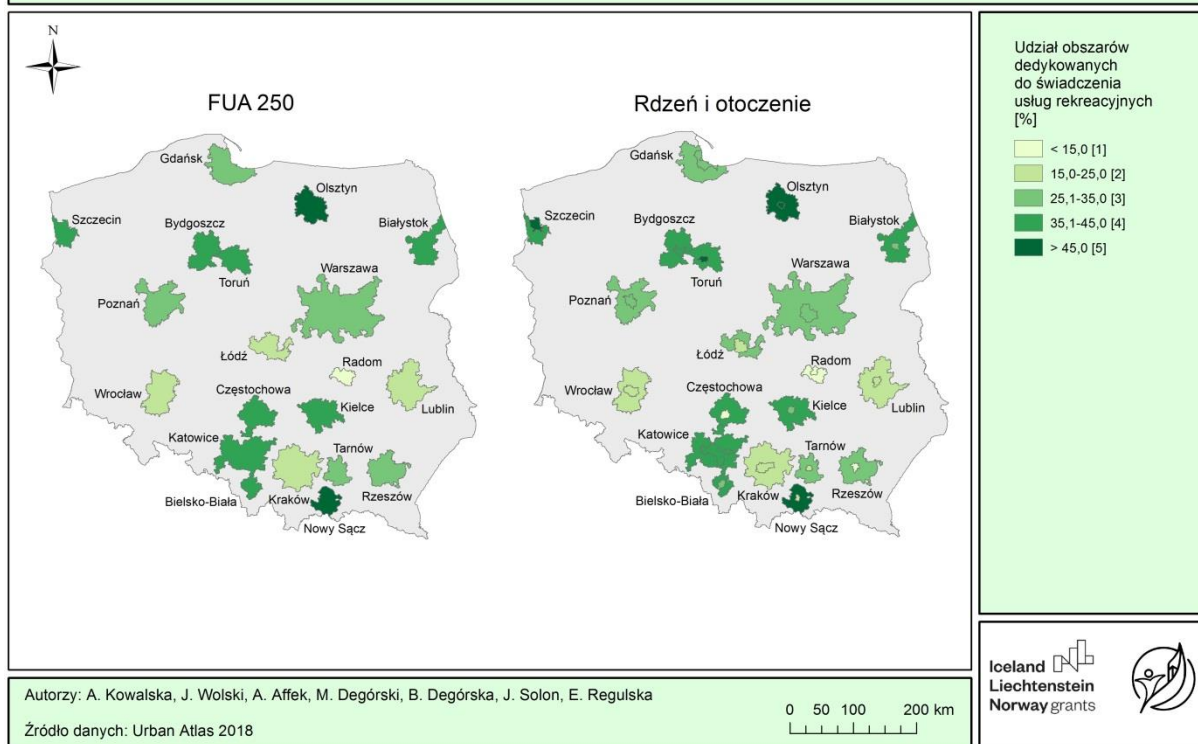
oznaczają stan niekorzystny, bowiem świadczą o niezaspokojonych potrzebach nawet niewielkiej grupy mieszkańców. Poza centrami miejskimi (rdzeniami FUA) wskaźnik przyjmuje wyższe wartości (18-55%). Należy jednak pamiętać, że w otoczeniu miast przeważa zabudowa rozproszona, z większym udziałem powierzchni biologicznie czynnej (tab. 25, ryc. 11).

Korzystniejsze warunki dotyczące dostępności terenów zieleni obserwowane są w przypadku skali ponadlokalnej (bufor 1000 m). Na terenie miast (rdzeni FUA) wskaźnik przyjmuje wartości w przedziale 0-12%. Wysoki poziom niezaspokojonego zapotrzebowania na rekreację na łonie przyrody wystąpił w Rzeszowie (wartość wskaźnika 12%). W kilku miastach (Bielsko-Biała, Bydgoszcz, Gdańsk, Szczecin, Tarnów, Toruń) cała analizowana zabudowa znajduje się w zasięgu 1000 m od obszarów zieleni, można więc sądzić, że udział powierzchniowy i rozmieszczenie przestrzenne BZI zaspokaja potrzeby rekreacyjne mieszkańców. W większości miejskich obszarów funkcjonalnych (otoczenia FUA) dostępność terenów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych w odległości 1000 m od zabudowy jest mniejsza w porównaniu do centrów miejskich (rdzeni FUA). Największą różnicę zaobserwowano dla Warszawy, wokół której (otoczenie FUA) znaczny procent zabudowy (51%) znajduje się w odległości ponad 1000 m od najbliższego obszaru zieleni odpowiadającego potrzebom rekreacyjnym mieszkańców (tab. 26, ryc. 11).

Tabela 24. Udział obszarów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych jako wskaźnik potencjału do kontaktu z przyrodą w obszarach metropolitalnych. W nawiasach potencjał w skali od 1 do 5

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	30 [3]	29 [3]	29 [3]
PL002	Łódź	21 [2]	25 [2]	25 [2]
PL003	Kraków	16 [2]	20 [2]	20 [2]
PL004	Wrocław	24 [2]	21 [2]	22 [2]
PL005	Poznań	30 [3]	28 [3]	28 [3]
PL006	Gdańsk	34 [3]	34 [3]	34 [3]
PL007	Szczecin	58 [5]	38 [4]	43 [4]
PL008	Bydgoszcz	43 [4]	37 [4]	38 [4]
PL009	Lublin	23 [2]	16 [2]	16 [2]
PL010	Katowice	38 [4]	42 [4]	40 [4]
PL011	Białystok	30 [3]	40 [4]	40 [4]
PL012	Kielce	30 [3]	39 [4]	39 [4]
PL013	Toruń	46 [5]	36 [4]	37 [4]
PL014	Olsztyn	46 [5]	50 [5]	50 [5]
PL015	Rzeszów	12 [1]	29 [3]	28 [3]
PL020	Nowy Sącz	23 [2]	50 [5]	49 [5]
PL024	Częstochowa	13 [1]	38 [4]	36 [4]
PL025	Radom	13 [1]	15 [1]	15 [1]
PL506	Bielsko-Biała	35 [3]	43 [4]	42 [4]
PL514	Tarnów	19 [2]	32 [3]	31 [3]

Potencjał obszarów metropolitalnych do rekreacji na łonie przyrody



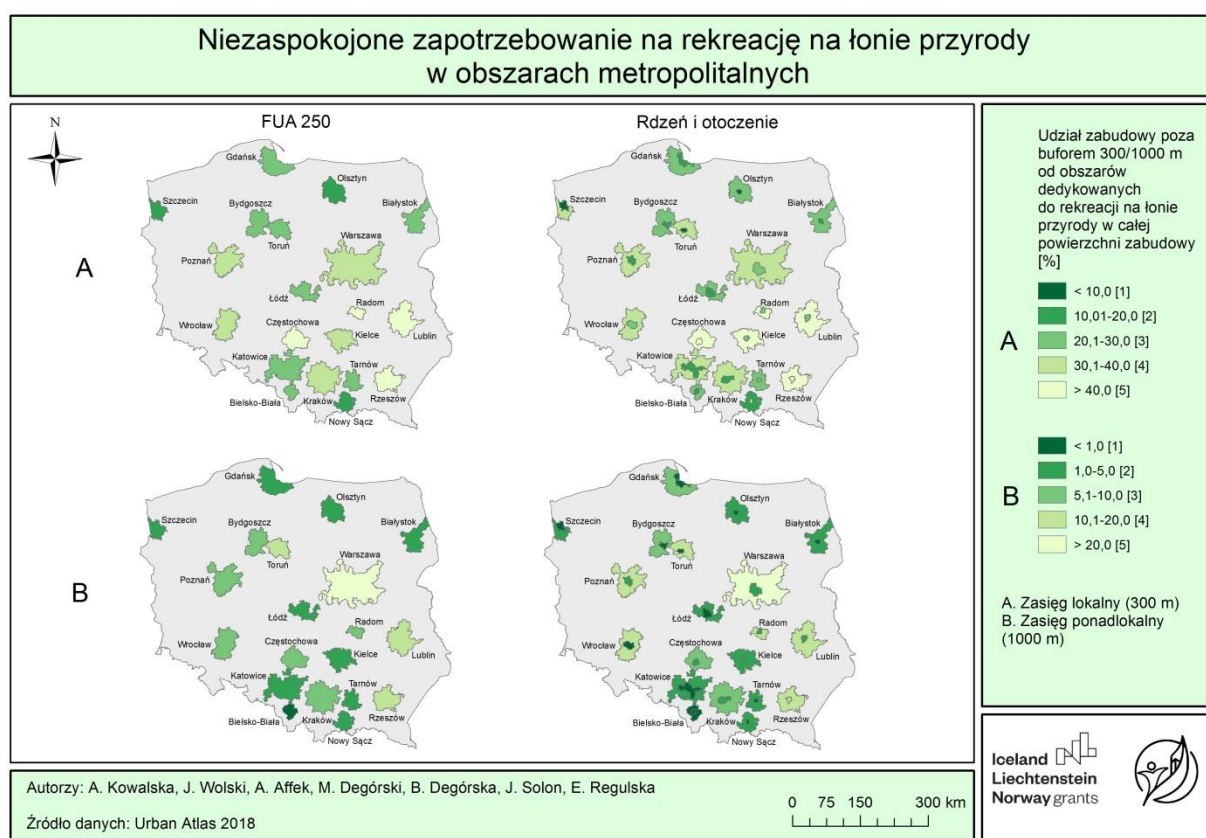
Ryc. 10. Potencjał obszarów metropolitalnych do rekreacji na łonie przyrody

Tabela 25. Udział zabudowy poza buforem 300 m od obszarów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych w powierzchni całej zabudowy jako wskaźnik niezaspokojonego zapotrzebowania na rekreację na łonie przyrody w skali lokalnej. W nawiasach niezaspokojone zapotrzebowanie w skali od 1 do 5.

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	24 [3]	33 [4]	31 [4]
PL002	Łódź	20 [2]	29 [3]	25 [3]
PL003	Kraków	19 [2]	38 [4]	35 [4]
PL004	Wrocław	22 [3]	40 [4]	34 [4]
PL005	Poznań	17 [2]	35 [4]	31 [4]
PL006	Gdańsk	14 [2]	26 [3]	24 [3]
PL007	Szczecin	8 [1]	31 [4]	19 [2]
PL008	Bydgoszcz	11 [2]	29 [3]	23 [3]
PL009	Lublin	22 [3]	54 [5]	49 [5]
PL010	Katowice	14 [2]	34 [4]	24 [3]
PL011	Białystok	14 [2]	29 [3]	25 [3]
PL012	Kielce	29 [3]	41 [5]	38 [4]
PL013	Toruń	6 [1]	39 [4]	29 [3]
PL014	Olsztyn	6 [1]	25 [3]	19 [2]
PL015	Rzeszów	42 [5]	41 [5]	41 [5]
PL020	Nowy Sącz	31 [4]	18 [2]	20 [2]
PL024	Częstochowa	42 [5]	44 [5]	43 [5]
PL025	Radom	28 [3]	55 [5]	44 [5]
PL506	Bielsko-Biała	20 [2]	26 [3]	24 [3]
PL514	Tarnów	23 [3]	25 [3]	25 [3]

Tabela 26. Udział zabudowy poza buforem 1000 m od obszarów dedykowanych do świadczenia usług rekreacyjnych w powierzchni całej zabudowy jako wskaźnik niezaspokojonego zapotrzebowania na rekreację na łonie przyrody w skali ponadlokalnej

Kod FUA	Nazwa FUA	Wartość wskaźnika [%]		
		Rdzeń	Otoczenie	Ogółem
PL001	Warszawa	3 [2]	51 [5]	40 [5]
PL002	Łódź	1 [2]	5 [2]	3 [2]
PL003	Kraków	4 [2]	8 [3]	8 [3]
PL004	Wrocław	1 [2]	13 [4]	9 [3]
PL005	Poznań	5 [2]	11 [4]	9 [3]
PL006	Gdańsk	0 [1]	6 [3]	5 [2]
PL007	Szczecin	0 [1]	5 [2]	2 [2]
PL008	Bydgoszcz	0 [1]	10 [3]	7 [3]
PL009	Lublin	3 [2]	15 [4]	13 [4]
PL010	Katowice	1 [2]	4 [2]	3 [2]
PL011	Białystok	1 [2]	1 [2]	1 [2]
PL012	Kielce	5 [2]	4 [2]	4 [2]
PL013	Toruń	0 [1]	16 [4]	11 [4]
PL014	Olsztyn	1 [2]	1 [2]	1 [2]
PL015	Rzeszów	12 [4]	11 [4]	11 [4]
PL020	Nowy Sącz	1 [2]	1 [2]	1 [2]
PL024	Częstochowa	5 [2]	9 [3]	8 [3]
PL025	Radom	3 [2]	11 [4]	7 [3]
PL506	Bielsko-Biała	0 [1]	0 [1]	0 [1]
PL514	Tarnów	0 [1]	2 [2]	2 [2]



Ryc. 11. Niezaspokojone zapotrzebowanie na rekreację na łonie przyrody w obszarach metropolitalnych

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.
- Arslan, E., Nordström, P., Ijäs, A., Hietala, R., Fagerholm, N., 2021. *Perceptions of Cultural Ecosystem Services: spatial differences in urban and rural areas of Kokemäenjoki, Finland*. *Landscape Research*, 46: 828-844.
- Barthel, S., Folke, C., Colding, J., 2010. *Social–ecological memory in urban gardens: Retaining the capacity for management of ecosystem services*. *Global Environmental Change*, 20: 255-265.
- Barthel, S., Isendahl, C., 2013. *Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities*. *Ecological Economics*, 86: 224-234.
- Berland, A., Shiflett, S.A., Shuster, W.D., Garmestani, A.S., Goddard, H.C., Herrmann, D.L., Hopton, M.E., 2017. *The role of trees in urban stormwater management*. *Landscape and Urban Planning*, 162: 167-177.
- Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. *Ecosystem services in urban areas*. *Ecological Economics*, 29: 293-301.
- Borck, R., Schrauth, P., 2021. *Population density and urban air quality*. *Regional Science and Urban Economics*, 86: 103596.
- Brack, C.L., 2002. *Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest*. *Environmental Pollution*, 116: 195-200.
- Buchmann, C., 2009. *Cuban home gardens and their role in social–ecological resilience*. *Human Ecology*, 37: 705-721.
- Degórska, B., 2017. *Urbanizacja przestrzenna terenów wiejskich na obszarze metropolitalnym Warszawy. Kontekst ekologiczno-krajobrazowy*. *Prace Geograficzne*, 262, Warszawa: IGiPZ PAN.
- Degórski, M., 2017. Jakość życia a potencjał środowiska i świadczenia ekosystemów. W: W. Okrasa (red.), *Jakość Życia i Spójność Przestrzenna – interakcje rozwoju i dobrostanu w kontekście lokalnym* (s. 225-240), Warszawa: Wydawnictwo UKSW.
- Dell'Ovo, M., Oppio, A., 2021, The role of the evaluation in designing ecosystem services. a literature review. W: C. Bevilacqua, F. Calabrò, L. Della Spina, Lucia (red.), *New Metropolitan Perspectives Knowledge Dynamics and Innovation-driven Policies Towards Urban and Regional Transition*, 2, (s. 1359-1368), Italy.
- Dijkstrai L., Poelmani H., Veneri P., 2019, *The EU-OECD definition of a functional urban area, OECD Regional Development Working Papers*, 11: 1-18.
- Donovan, G.H., 2017. *Including public-health benefits of trees in urban-forestry decision making*. *Urban Forestry and Urban Greening*, 22: 120-123.
- Dwyer, J.F., McPherson, E.G., Schroeder, H.W., Rowntree, R.A., 1992. *Assessing the benefits and costs of the urban forest*. *Journal of Arboriculture*, 18: 227-234.
- 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.
- EEA, 2019. *Air quality in Europe - 2019 report*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Escobedo, F.J., Nowak, D.J., 2009. *Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest*. *Landscape and Urban Planning*, 90: 102-110.
- Gakidou, E., Afshin, A., Abajobir, A.A., et al., 2017. *Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016*. *Lancet*, 390: 1345-1422.
- Garnaut, R., 2008. *The Garnaut Climate Change Review. Final Report*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- 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.
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'Farrell, P., Andersson, E., Hamstead, Z., Kremer, P., 2013. Urban Ecosystem Services. W: T. Elmqvist et al. (red.), *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment* (s. 175-252), Dordrecht: Springer.
- Jaganmohan, M., Knapp, S., Buchmann, C.M., Schwarz, N., 2016. *The Bigger, the Better? The Influence of Urban Green Space Design on Cooling Effects for Residential Areas*. Journal of Environmental Quality, 45, 134-145.
- Jin, H., Eklundh, L., 2014. *A physically based vegetation index for improved monitoring of plant phenology*. Remote Sensing of Environment, 152: 512-525.
- Kronenberg, J., 2012, *Usługi ekosystemów w miastach, Zrównoważony Rozwój, Zastosowania*, 3:14-28.
- Livesley, S.J., McPherson, E.G., 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, 45:119-24.
- Maes, J., Fabrega, N., Zulian, G., Barbosa, A., Vizcaino, P., Ivits, E., Polce, C., Vandecasteele, I., Rivero, I.M., Guerra, C., Castillo, C.P., Vallecillo, S., Baranzelli, C., Barranco, R., Batista, e Silva F., Jacobs-Crisoni, C., Trombetti, M., Lavalle, C., 2015, *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010*, JRC Science and Policy report.
- McDonald, R., Kroeger, T., Boucher, T., Longzhu, W., Salem, R., 2016. *Planting healthy air: a global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat*. The Nature Conservancy.
- Mononen, L., Auvinen, A.-P., Ahokumpu, A.-L., Rönkä, M., Aarras, N., Tolvanen, H., Kamppinen, M., Viirret, E., Kumpula, T., Vihervaara, P., 2016, *National ecosystem service indicators: Measures of social-ecological sustainability*, Ecological Indicators, 61: 27-37.
- Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G., 2018. *Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes*. W: E.M. Hamin Infield, Y. Abunnasr, R.L. Ryan (red.), *Planning for Climate Change: A Reader in Green Infrastructure and Sustainable Design for Resilient Cities*. New York: Routledge.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., Pasher, J., 2018. *Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health*. Urban Forestry and Urban Greening, 29: 40-48.
- OECD, 2021. *Functional urban areas by country*. Pobrane z <https://www.oecd.org/regional/regional-statistics/functional-urban-areas.htm> (20.09.2021)
- Peiser, R., 2001. *Decomposing urban sprawl*, Town Planning Review, 72: 275-298.
- Pomianowski, W., Solon, J., 2020. *Modelling patch mosaic connectivity and ecological corridors with GraphScape*. Environmental Modelling & Software, 134: 104757.
- Russo, A., Cirella, G., 2021. *Urban Ecosystem Services: Current knowledge, gaps, and future research*, Land, 10: 1-4.
- Solon, J., Pomianowski, W., 2014. *Program GraphScape – nowe narzędzie do analizy struktury przestrzennej i stopnia łączności w obrębie krajobrazu*. Problemy Ekologii Krajobrazu, 38:15-32.
- Solon, J., Roo-Zielińska, E., Affek, A., Kowalska, A., Kruczkowska, B., Wolski, J., Degórski, M., Grabińska, B., Kołaczowska, E., Regulaska, E., Zawiska, I., 2017. *Świadczenia ekosystemowe w krajobrazie młodogłacjalnym. Ocena potencjału i wykorzystania*. Warszawa: Wydawnictwo Akademickie SEDNO i IGiPZ PAN.
- Sroka, W., 2017. *Potencjał produkcyjny rolnictwa w miastach i obszarach podmiejskich. Stowarzyszenie Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, Roczniki Naukowe, 8: 249-255.

- Solecki, W.D., Rosenzweig, C., Parshall, L., Pope, G., Clark, M., Cox, J., Wiencke, M., 2005. *Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey*. Environmental Hazards, 6: 39-49
- Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego m.st. Warszawy. Uwarunkowania. Miejska Pracownia Planowania Przestrzennego i Strategii Rozwoju. Warszawa, 2020, maszynopis.
- Turner-Skoff, J.B., Cavender, N., 2019. *The benefits of trees for livable and sustainable communities*. Plants People Planet, 1: 323-335.
- Walsh, C.J., Fletcher, T.D., Burns, M.J., 2012. *Urban Stormwater Runoff: A New Class of Environmental Flow Problem*. PLoS ONE, 7: 45814.
- Zgliński, W., 2002. Historyczne i współczesne uwarunkowania rozwoju strefy żywicielskiej Warszawy, W: G. Węclawowicz (red.), *Warszawa jako przedmiot badań w geografii społeczno-ekonomicznej* (s. 161-180), Prace Geograficzne, 184, Warszawa: IGiPZ PAN.
- Ziętara, W., 2017. Polskie gospodarstwa rolne na tle tendencji w Unii Europejskiej, Materiały konferencyjne, Przysiek 12 grudnia 2017: 2-13. Pobrane z: https://www.kpodr.pl/wp-content/uploads/2017/12/materiały_konferencyjne.pdf (15.09.2021).
- Zwierzchowska, I., Mizgajski, A., 2019. *Potencjał zielonej infrastruktury w dużych polskich miastach do świadczenia usług ekosystemowych*. Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna, 47: 21-37.