



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

Identyfikacja znaczących interakcji (wspierających i osłabiających) między usługami ekosystemowymi oraz istotnych zestawów usług na przykładzie Warszawy

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



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

Warszawa, 30.06.2022

1. WSTĘP	3
2. PODSTAWY TEORETYCZNE I METODYCZNE	4
2.1. POTENCJAŁY EKOSYSTEMÓW	4
2.2. SYNERGIE I KOMPROMISY MIĘDZY USŁUGAMI EKOSYSTEMOWYMI	4
2.3. WIĄZKI ŚWIADCZEŃ EKOSYSTEMOWYCH	7
2.4. „GORĄCE MIEJSCA” (HOTSPOTS)	7
2.5. OCENA ŚWIADCZEŃ EKOSYSTEMOWYCH	8
2.6. ZALECENIA I WYZWANIA ZWIĄZANE Z OCENĄ ES	9
3. WARSZAWA JAKO OBSZAR BADAŃ SZCZEGÓŁOWYCH	11
3.1. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ	11
4. OCENA POTENCJAŁU USŁUG EKOSYSTEMOWYCH ISTOTNYCH DLA EKOSYSTEMÓW MIEJSKICH	20
4.1. DZIKO ROSNĄCE ROŚLINY (LĄDOWE I WODNE) I GRZYBY JAKO ŹRÓDŁO POŻYWIENIA, MATERIAŁÓW LUB ENERGII	20
4.2. PRZECIWDZIAŁANIE EROZJI	21
4.3. REGULACJA CYKLU HYDROLOGICZNEGO I PRZEPŁYWU WODY (WRAZ Z OCHRONĄ PRZECIWPOWODZIOWĄ I OCHRONĄ WYBRZEŻY)	22
4.4. REGULACJA TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI POWIETRZA	23
4.5. FILTRACJA/SEKWESTRACJA/MAGAZYNOWANIE/AKUMULACJA PRZEZ MIKROORGANIZMY, GLONY, ROŚLINY I ZWIERZĘTA	25
4.6. FIZYCZNE I DOŚWIADCZALNE INTERAKCJE ZE ŚRODOWISKIEM PRZYRODNICZYM	26
4.7. INTELEKTUALNE I TOŻSAMOŚCIOWE INTERAKCJE ZE ŚRODOWISKIEM PRZYRODNICZYM	28
5. ZBIORCZA MACIERZ OCENY POTENCJAŁU	29
6. POTENCJAŁ ZAGREGOWANY	31
7. HOTSPOTY I ICH CHARAKTERYSTYKA	33
8. WIĄZKI ŚWIADCZEŃ	35
9. LITERATURA	37

1. WSTĘP

W szybko urbanizującym się świecie miasta stały się głównymi ośrodkami popytu na usługi ekosystemowe, jak również miejscami dużego wpływu na środowisko. Presja wywierana przez miasta na ekosystemy będzie dalej rosła w przyszłości, tak jak będzie następował ich rozwój przestrzenny i demograficzny. Urbanizacja stanowi zatem fundamentalne wyzwania dla zrównoważonego rozwoju, ale stwarza również bezprecedensowe możliwości dla nowatorskich form projektowania i zarządzania ekosystemami miejskimi, aby zabezpieczyć ich zdolność do utrzymania usług ekosystemowych i ich odporność na radzenie sobie ze zmianami jakie zachodzą w megasystemie środowiska geograficznego. W dokumentach planistycznych i strategicznych coraz częściej podkreśla się olbrzymią rolę zielonej i niebieskiej infrastruktury, która postrzegana jest jako komponent przestrzeni miejskiej odgrywający kluczową rolę w budowaniu zdolności adaptacyjnych do radzenia sobie ze zmianami klimatycznymi i innymi globalnymi zmianami (Depietri i in., 2012). Strategie oparte na inwestycjach w zieloną infrastrukturę miejską i adaptację do zmian klimatu w oparciu o ekosystemy zyskują coraz większe zainteresowanie na całym świecie, zwłaszcza, że takie inwestycje jednocześnie generują wiele usług ekosystemowych, poprawiając dobrostan człowieka (Elmqvist i in. 2013, 2016).

Istnieje wiele badań modelujących i mapujących usługi ekosystemowe, mimo to integracja wyników ocen usług ekosystemowych w celu dostarczenia zaleceń dotyczących planowania przestrzennego opartego na potencjale przyrody pozostaje bardzo ważnym wyzwaniem. W literaturze przedmiotu podkreśla się ważną rolę w procesach planistycznych i na etapie przygotowywania strategii rozwoju, identyfikacji synergii i kompromisów między usługami oraz współwystępowania usług i wskazania *hotspotów* (Cueva i in., 2022; Lourdes i in., 2022).

Celem czwartego etapu realizowanego zadania dotyczącego ekosystemów obszarów zurbanizowanych w ramach projektu „Usługi świadczone przez główne typy ekosystemów w Polsce – podejście stosowane”, była identyfikacja znaczących (wspierających i osłabiających) interakcji między usługami ekosystemowymi, istotnych zestawów usług (*bundles*) i *hotspotów*. Nasze badania skoncentrowały się na siedmiu usługach ekosystemowych obliczonych dla Warszawy, wybranej jako studium przypadku. Wybór świadczeń był podyktowany wskazaniem przedstawicieli Urzędu m. st. Warszawy (Studium ..., 2020) oraz dostępnością danych potrzebnych do obliczeń poszczególnych wskaźników. Należy jednak podkreślić, że w raporcie szczególną uwagę skierowano na prezentację metodyki i procedury analitycznej, które mogą być implementowane w wielu miastach Polski na poziomie planowania lokalnego. Uzyskane wyniki mogą być bardzo przydatne przy określaniu kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy (miasta) wyrażanych w „Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego”. Znając wzajemne relacje pomiędzy poszczególnymi usługami ekosystemów możliwe jest optymalizowanie rozwiązań w zagospodarowaniu przestrzeni miasta pod kątem poprawy warunków życia mieszkańców i ich dobrostanu.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE I METODYCZNE¹

2.1. Potencjały ekosystemów

Współczesna koncepcja usług ekosystemowych rozróżnia funkcje ekosystemowe, podstawowe procesy i struktury ekologiczne, które są zależne od różnorodności biologicznej (Maes i in., 2013). W tym rozumieniu funkcje tworzone są przez różne kombinacje procesów i struktur, i stanowią potencjał ekosystemów do świadczenia usług, niezależnie od tego, czy są one aktualnie wykorzystywane przez ludzi, czy nie (TEEB, 2010). Zgodnie z tym podejściem wartość dowolnego ekosystemu można określić w odniesieniu do potencjalnej lub rzeczywistej ilości dostarczanych dóbr i usług (Maes i in., 2013; Burkhard i in., 2014). Z perspektywy zarządzania środowiskiem priorytetem powinna być ocena zdolności ekosystemów do dostarczania usług (potencjału), który w tzw. modelu kaskadowym znajduje się pomiędzy procesami biologiczno-fizycznymi a rzeczywistymi usługami (Bastian i in., 2013; Burkhard i in., 2014; Spangenberg i in., 2014). Rozpoznanie potencjału przyrody wyrażonego w kategoriach możliwych do wykorzystania usług ekosystemowych ma istotne znaczenie dla realizacji zasad zrównoważonego rozwoju (Mizgajski i Stępniewska, 2009), w tym do planowania bardziej zrównoważonej eksploatacji zasobów naturalnych i optymalizacji użytkowania gruntów (Bastian i in., 2012). Współcześnie, największym wyzwaniem jest zaproponowanie wiarygodnych narzędzi do oceny potencjału systemów przyrodniczych do świadczenia usług na rzecz człowieka (Affek i in., 2020).

2.2. Synergie i kompromisy między usługami ekosystemowymi

Pojęcia kompromisu (*trade-off*) i wzajemnego wspomagania (*synergy*) należą do jednych z ważniejszych terminów w analizie świadczeń ekosystemowych. W ujęciu ogólnym kompromis to sytuacja, w której korzystanie z jednej usługi ekosystemowej bezpośrednio zmniejsza korzyści uzyskiwane z innej usługi (Turkelboom i in., 2016). Sytuacja odwrotna, kiedy korzystanie z jednej usługi powoduje wzrost korzyści płynącej z innej - nazywana jest synergią usług (Turkelboom i in., 2016). Należy jednak podkreślić, że w wielu opracowaniach stosuje się jedynie termin *trade-off* dla określenia wszystkich typów powiązań między świadczeniami, a nawet szerzej – powiązań między dawcą i biorcą świadczeń. Powstaje przez to pewien chaos terminologiczny, który starano się przezwyciężyć wprowadzając różne schematy wąsko zdefiniowanych powiązań.

¹ W rozdziale wykorzystano fragmenty opracowań: (a) Solon i in., 2017. *Świadczenia ekosystemowe w krajobrazie młodogłacjalnym. Ocena potencjału i wykorzystania*. Wydawnictwo Akademickie SEDNO; (b) Affek i in., 2020. *Ecosystem service potentials and their indicators in postglacial landscapes: Assessment and mapping*, Elsevier, Amsterdam - Oxford – Cambridge; (c) Považan R., Kadlečík J. (red), Affek i in., 2021. *Pakiet narzędzi Carpathian Ecosystem Services Toolkit. Interreg CENTRAL EUROPE projekt Centralparks „Budowanie zdolności zarządzania obszarami chronionymi w Karpatach w celu integracji i harmonizacji ochrony różnorodności biologicznej i lokalnego rozwoju społeczno-gospodarczego”*, Produkt D.T3.1.3, Państwowa Służba Ochrony Przyrody Republiki Słowackiej, Banská Bystrica.

Duża presja inwestycyjna na tereny zielone w miastach jest przyczyną ograniczania lub utraty wielu usług ekosystemowych, a także kształtowania niekorzystnych z punktu widzenia rozwoju zrównoważonego relacji pomiędzy usługami. Kwestia wyboru sposobu zagospodarowania miast powinna uwzględniać zarówno kompromisy, jak i możliwości wzmacniania usług świadczonych przez ekosystemy miejskie, a zwłaszcza przez ekosystemy rdzeni obszarów metropolitalnych, z uwagi na ograniczony areal gruntów przepuszczalnych, jak i ograniczone zasoby ekosystemów tworzących zieloną i błękitną infrastrukturę miejską. Obecna polityka miejska, która wskazuje na potrzebę zahamowania żywiołowej suburbanizacji oraz rozwój miast kompaktowych, przy obecnym słabym systemie planowania przestrzennego i niedopasowaniu uregulowań prawnych zintegrowanego planowania rozwoju obszarów miejskich, nie zapewnia optymalnego wykorzystania korzyści jakie stwarzają usługi świadczone przez ekosystemy tworzące zieloną i błękitną infrastrukturę miast. Zagrożenie dla jakości życia w miastach stanowi zatem uszczuplanie zakresu i korzyści jakie niosą dla człowieka żyjącego w przestrzeni silnie zurbanizowanej świadczenia ekosystemów miejskich. Jest ono generowane głównie przez dalszy rozwój zabudowy, przede wszystkim mieszkaniowej, rozwój infrastruktury, a głównie infrastruktury drogowej oraz związane z tymi procesami dalsze uszczelnianie gruntów przepuszczalnych. Jako główny czynnik odpowiedzialny za jakość środowiska miejskiego, można przede wszystkim wskazać wybory sposobu zagospodarowania – dobre lub złe. W procesie podejmowania decyzji w tym zakresie decydującą rolę powinna odgrywać analiza świadczeń ekosystemów miejskich, zwłaszcza w zakresie kompromisów i synergii.

Mouchet i in. (2014) przytaczają dwa powszechnie stosowane podejścia do typologii powiązań. Pierwszy z nich został opracowany w ramach projektu *Millennium Ecosystem Assessment*. Wprowadził on podział na cztery kategorie powiązań: (1) przestrzenne (*spatial trade-off*), określające lukę (rozstęp – *lag*) przestrzenną między miejscem produkcji świadczenia a miejscem jego dostarczenia (np. gospodarka leśna w górnych odcinkach zlewni i jej wpływ na zaopatrzenie w wodę w dolnych odcinkach zlewni); (2) czasowe (*temporal trade-off*) określające opóźnienie w dostawie wyprodukowanych świadczeń, wynikające z decyzji ludzkich lub z naturalnych procesów; (3) odwracalne (*reversible trade-off*), określające zdolność do powrotu do początkowych możliwości dostarczania świadczeń po zakłóceniach w produkcji; (4) powiązania między świadczeniami, czyli pozytywny lub negatywny wpływ dostawy jednego świadczenia na możliwości dostawy innego świadczenia.

W projekcie TEEB (2010) zaproponowano klasyfikację z podobną terminologią, ale nieco odmienną definicją kategorii: (1) przestrzenne, oznaczające przestrzenny rozstęp między zyskami i kosztami związanymi z określonym świadczeniem; (2) czasowe, oznaczające opóźnienie między korzyścią a przyszłym kosztem związanym z określoną usługą (dobrym przykładem jest związek między dzisiejszym pozyskaniem ryb a przyszłymi kosztami braku ryb i koniecznością sztucznego zarybiania lub znalezienia dobrego zastępczego); (3) powiązania między beneficjentami, czyli tymi którzy „zyskują” i tymi którzy „tracą” w zależności od tego kto uzyskuje korzyści i kto ponosi koszty związane z produkcją i dostawą świadczeń (przykładem mogą być relacje między różnymi grupami mieszkańców na obszarach chronionych: jedni zyskują w wyniku rozwoju bazy turystycznej inni tracą w wyniku ograniczenia możliwości zmian w użytkowaniu ziemi); (4) powiązania między

poszczególnymi świadczeniami dotyczące zarządzania jednym świadczeniem kosztem innego świadczenia.

Jak podkreślają Mouchet i in. (2014) pierwsza z klasyfikacji jest bardziej ukierunkowana na konsekwencje ekologicznych powiązań między świadczeniami, natomiast druga dotyczy przede wszystkim relacji między ekonomicznymi kosztami i korzyściami związanymi z zapotrzebowaniem na świadczenia.

Pojęcie powiązań przestrzennych zostało rozwinięte w koncepcji obszarów zaopatrujących w usługi i obszarów korzystających z usług (Fisher i in., 2009; Syrbe i Walz, 2012). Zgodnie z tą koncepcją obszary zaopatrujące w usługi (*service providing areas* – SPAs) to miejsca (ekosystemy, krajobrazy), w których następuje rzeczywista produkcja świadczeń, obszary korzystające z usług (*service benefiting areas* – SBAs) to obszary, w których następuje wykorzystanie świadczeń. W przypadku wyraźnego rozdziału przestrzennego między SPA i SBA można jeszcze wyróżnić obszary łączące (*service connecting areas* – SCAs), umożliwiające przemieszczanie materii, energii i organizmów między SPA i SBA. Na bazie tego aparatu pojęciowego Fisher i in. (2009) wyróżnili cztery główne typy powiązań przestrzennych, odpowiadające ogólnie pierwszej kategorii powiązań w schemacie Millennium Ecosystem Assessment: (1) SPA i SBA są identyczne, co oznacza, że produkcja świadczenia i jego wykorzystanie następuje dokładnie na tym samym obszarze; (2) SPA jest częścią znacznie większego obszaru SBA, a wykorzystanie świadczenia nie wymaga żadnego specjalnego kanału przepływu; (3) SPA i SBA są rozdzielone przestrzennie, a między nimi występuje obszar łączący (SCA). Warunkiem istnienia SCA i przepływu jest gradient (w sensie fizycznym) między SPA i SBA. Najczęściej dotyczy to procesów grawitacyjnych (zimne powietrze, woda, ruchy masowe ziemi, itd.); (4) SPA i SBA są rozdzielone przestrzennie, a między nimi występuje obszar łączący (SCA), natomiast nie ma powiązania gradientowo-potencjałowego. W takim przypadku jakość SCA (a zatem także możliwości przepływu świadczeń) zależy od innych uwarunkowań, często nieprzestrzennych (np. uwarunkowania prawne). Oczywiście, taki podział jest poprawny i sensowny tak długo jak wszystkie obszary i powiązania są rozpatrywane w tej samej skali przestrzennej. W innym przypadku występują tzw. powiązania międzyskalowe (*scale trade-offs*), oznaczające m.in. iż produkcja świadczenia ma charakter lokalny a korzyści są ponadregionalne lub odwrotnie (co zdarza się znacznie rzadziej) – Syrbe i Walz, 2012.

Wielokrotnie wskazywano na rolę skali przestrzennej we wszystkich typach powiązań między usługami. Na przykład na podstawie badań w Kraju Basków Rodríguez-Loinaz i in. (2015) wyraźnie stwierdzili, że synergie i kompromisy między usługami mają różny charakter, gdy są identyfikowane w skalach szczegółowych i ponadregionalnych.

Skład i konfiguracja krajobrazu są również ważnym aspektem rozważań dotyczących skali przestrzennej. Mitchell i in. (2015) sugerują, że synergie i kompromisy między usługami mogą być kształtowane w zupełnie inny sposób w zależności od stopnia fragmentacji krajobrazu, co oczywiście wiąże się z występowaniem różnych asocjacji przestrzennych (kompromisy pierwszego typu MEA) oraz wpływem fragmentacji na podaż usług w obrębie ekosystemów wraz ze zmianą przepływów między ekosystemami.

Prace poświęcone wyłącznie asocjacom między usługami nie są zbyt liczne, a dostępne wyniki pochodzą z ogólnych prac poświęconych identyfikacji, kwantyfikacji i mapowaniu usług w konkretnych obszarach. Brakuje więc w tym obszarze badawczym

wiarygodnych danych o charakterze uniwersalnym. Kilkakrotnie wykazano jednak wyraźną negatywną zależność między usługami zaopatrzeniowymi (głównie z obszarów rolniczych) a usługami regulacyjnymi, na którą, oprócz pokrycia terenu, może wpływać także wielkość i rodzaj antropogenicznych subwencji energetycznych, uznawanych za jedną ze zmiennych sterujących podażą usług zaopatrzeniowych (Balvanera i in., 2014; Maes i in., 2014).

Cechy interakcji mogą być silnie kształtowane zarówno przez siły społeczne, jak i ekologiczne (Raudsepp-Hearne i in., 2010). W miastach siły społeczne będą jednak czynnikiem (sterownikiem) wiodącym.

2.3. Wiązki świadczeń ekosystemowych

W przypadku jednoczesnego rozpatrywania wielu różnych usług często stosuje się termin "wiązka świadczeń ekosystemowych (*ES bundle*)". Berry i in. (2016) stwierdzili, że zgodnie z większością definicji termin "wiązka świadczeń" dotyczy (w sposób wyraźny lub dorozumiany) przestrzennej koincydencji świadczenia szeregu usług. Autorzy przywołują również bardziej złożone definicje wiązki ES, na przykład zestaw usług ekosystemów, które wielokrotnie występują razem w przestrzeni lub czasie (Raudsepp-Hearne i in., 2010) oraz pomysł, aby oddzielnie rozpatrywać wiązki ES po stronie podaży i popytu (García-Nieto i in., 2013). Berry i in. (2016) byli tymi, którzy zaproponowali definicje dla wiązek podaży/popytu ES: (a) wiązka podaży ES – zestaw powiązanych usług ekosystemów, które są związane z danym ekosystemem i które zwykle występują razem wielokrotnie w czasie i/lub przestrzeni, oraz (b) wiązka popytu na ES – zestaw powiązanych usług ekosystemów, na które ludzie zgłaszają zapotrzebowanie w ekosystemie (ekosystemach). Warto podkreślić, że w tym samym krajobrazie (z tymi samymi wiązkami podaży ES) różne wiązki popytu na ES mogą być pożądane przez różne grupy interesariuszy. Pojęcie wiązki ES ma duże znaczenie przy rozpatrywaniu obszarów wielofunkcyjnych (ekosystemów, krajobrazów), czyli takich, które mają zdolność do pełnienia wielu różnych funkcji w tym samym czasie, a tym samym mogą dostarczać wielu różnych usług tworzących wiązkę lub wiązki (Turkelboom i in., 2016). Chociaż z formalnego punktu widzenia istnieje wymóg, aby istniały interakcje między usługami w wiązce, termin ten jest coraz częściej używany (nadużywany) do oznaczania prostego współlistnienia przestrzennego usług. Podejście oparte na wiązkach usług ekosystemów umożliwia zarówno analizę w zależności od ich zróżnicowanej wielofunkcyjności, jak i wskazanie kompromisów, synergii lub niedopasowania między usługami ekosystemów (Saidi i Spray, 2018).

2.4. „Gorące miejsca” (hotspots)

Hotspot ES jest definiowany jako obszar, dla którego potencjał świadczenia danej usługi został oceniony wysoko lub bardzo wysoko (4 lub 5 stopień). Z kolei hotspot wielousługowy to obszar, dla którego potencjał świadczenia kilku usług został oceniony wysoko lub bardzo wysoko. Sposób wyróżniania hotspotów i ich liczebność oraz lokalizacja przestrzenna w znacznym stopniu zależy od skali analizy oraz liczby i kategorii ocenianych świadczeń.

W literaturze przedmiotu pojęcie "najwyższy potencjał" jest różnie definiowane. Na przykład, Anderson i in. (2009) uznali za hotspoty najwyżej ocenione 10%, 20% lub 30% ocenianego obszaru, podczas gdy Holt i in. (2015) zastosowali dwa progi, najwyższe 10% i 25% obszaru o najwyższej podaży ES.

Zgodnie ze schematem Braata i ten Brinka (2008) łączna podaż świadczeń zaopatrzeniowych jest maksymalna przy intensywnym użytkowaniu ziemi (w warunkach stosunkowo niskiego bogactwa gatunkowego), suma świadczeń kulturowo-rekreacyjnych jest najwyższa przy użytkowaniu niskim (wysoka, ale nie najwyższa możliwa liczba gatunków), natomiast świadczenia regulacyjne i kulturowo-poznawcze stopniowo maleją wraz ze wzrostem intensywności użytkowania. Taki przebieg zmienności poszczególnych grup świadczeń powoduje, że sumaryczna podaż wszystkich świadczeń jest najwyższa przy niskim i ekstensywnym użytkowaniu, choć w takich warunkach żadna z konkretnych grup świadczeń nie jest maksymalizowana.

Gorące miejsca – hotspots – zwłaszcza w planowaniu przestrzennym miast powinny odgrywać kluczową rolę z uwagi na potrzebę zachowania takich miejsc przez odpowiednie zagospodarowanie lub prawną ochronę ekosystemów tych obszarów. Szczególną rolę w tym zakresie odgrywa planowanie przestrzenne na poziomie lokalnym.

2.5. Ocena świadczeń ekosystemowych

Według Preston i Raundsepp-Hearne (2017), ocena ES zapewnia praktyczny zestaw procedur pozwalających zrozumieć, co można zyskać lub stracić w wyniku danego wyboru w zakresie zarządzania oraz ludzki wymiar takich skutków. Może ona pomóc zarządzającym lepiej zrozumieć i rozwiązać potencjalne problemy oraz ograniczyć konflikty. W skrócie, ocena ES obejmuje:

- identyfikację ES o wysokim priorytecie;
- ocenę ich dynamiki środowiskowej, społeczno-kulturowej i ekonomicznej oraz ich znaczenia;
- określenie konsekwencji zmian dla tych ES.

Ocena ES wymaga zazwyczaj pomiarów biofizycznych i opisów ekosystemów oraz dynamiki, która jest zaangażowana w wytwarzanie ES. Wymaga także opisu korzyści, jakie ludzie czerpią z ES, oraz dynamiki, z jaką korzyści te są rozdzielane między różne grupy ludzi. Ludzie często nie są świadomi niektórych korzyści, które czerpią z ekosystemów. Ocena stanu środowiska pozwala wyjaśnić te korzyści, a także korzyści, o których ludzie powszechnie wiedzą. Ocena stanu środowiska może obejmować określenie znaczenia korzyści płynących z ekosystemów dla ludzi poprzez ich wycenę.

Wycena może być szczególnie przydatna, gdy decyzje wymagają kompromisów, gdy decydenci muszą uzasadnić koszty związane z zarządzaniem zasobami naturalnymi lub gdy istnieje potrzeba poinformowania różnych interesariuszy o szerokiej wartości lub znaczeniu zasobów naturalnych. Zintegrowana analiza różnych istotnych czynników ekologicznych, społeczno-kulturowych i ekonomicznych może być przeprowadzona z wykorzystaniem podejścia wspierającego podejmowanie decyzji (takiego jak analiza kosztów i korzyści, analiza wielokryterialna lub ustrukturyzowane podejmowanie decyzji), które pozwala określić kompromisy i implikacje różnych opcji zarządzania środowiskiem i rozwoju. Podstawowym celem oceny zasobów środowiska jest wsparcie procesu decyzyjnego opartego na dowodach w celu poprawy dobrobytu ludzi i zapewnienia zrównoważonego rozwoju środowiska. Ponieważ zasoby naturalne stanowią podstawę większości relacji między ekosystemami a dobrostanem człowieka, w ocenie zasobów naturalnych należy uwzględnić zarówno

dynamikę ekosystemów, jak i zależność człowieka od tej dynamiki. Dlatego też ocena stanu środowiska nie zastępuje innych analiz ekosystemów, ale może być stosowana w połączeniu z nimi.

Metody zintegrowane oceny odzwierciedlają potrzebę połączenia różnych metod oceny ES i są stosowane do ogólnej oceny ostatecznych korzyści ES dla dobrostanu człowieka lub jakości życia. Integracja ma kluczowe znaczenie dla oceny synergii i kompromisów między różnymi rodzajami ES, jak również między ES a warunkami ekosystemu, w celu uniknięcia nadmiernego wykorzystania niektórych usług. Pomaga ona również w podejmowaniu decyzji dotyczących priorytetów w zakresie wykorzystania poszczególnych ES, które są wyrażane w różnych jednostkach i różnymi metodami. W tym celu stosuje się następujące metody (Kelemen i in., 2015; Mederly i in., 2020; Považan i in., 2021):

- wielokryterialna analiza decyzji – narzędzie partycypacyjne stosowane do łączenia kontekstów ekologicznych, społeczno-kulturowych i ekonomicznych poprzez ramy oceny i dyskusji z udziałem różnych grup interesariuszy (określone ramy polityki), z wykorzystaniem modelowania,
- Bayesian Belief Networks – wykorzystuje modele graficzne do podejmowania decyzji w różnych warunkach prawdopodobieństwa,
- modele stanu i przemian – naukowe modelowanie prawdopodobnych zmian w ekosystemach, które wynikają z zarządzania nimi w interakcji z naturalnymi czynnikami biotycznymi i abiotycznymi; można je połączyć z przestrzennymi modelami GIS,
- opracowanie scenariusza – określenie możliwego przyszłego wpływu różnych czynników zmian (np. zmian klimatu lub różnych interwencji politycznych) na określone terytorium, w oparciu o zweryfikowane założenia dotyczące istotnych trendów i czynników,
- Wycena deliberatywna – ramy łączące różne narzędzia i techniki, w których uczestniczą różni badacze i interesariusze, formułując swoje preferencje dotyczące ES w drodze otwartego dialogu, najlepiej w drodze konsensusu większości.

Kilka z tych metod lub procedur to nie tylko "integracja", ale także połączenie - wykorzystują one techniki oceny biofizycznej, społeczno-kulturowej i częściowo ekonomicznej (Mederly i in., 2020). Zintegrowane ramy oceny (Nikolova i in., 2018) oferują przejrzysty przegląd poziomów integracji. Na koniec należy przypomnieć, że konieczne jest określenie celu oceny i kontekstu polityki, wymaganego stopnia dokładności, rozdzielczości przestrzennej i skali geograficznej - a dopiero potem wybór odpowiednich metod.

Po dokonaniu oceny poszczególnych ES zwykle zachodzi potrzeba dokonania kompleksowej oceny lub syntezy wiązek, grup lub całego spektrum ES. Problem ten okazuje się bardzo złożony ze względu na synergie lub kompromisy między większością ES. Dlatego większość studiów przypadku pozostaje na poziomie oceny poszczególnych ES lub ich pakietów ocenianych pod kątem konkretnych celów i polityk.

2.6. Zalecenia i wyzwania związane z oceną ES

Według Geneletti i in. (2020) decydenci coraz częściej uznają ES za ważną koncepcję wspierającą podejmowanie decyzji, ze względu na jej holistyczne rozumienie interakcji między przyrodą a ludźmi oraz zdolność do ujawniania synergii i kompromisów między

celami środowiskowymi i społeczno-gospodarczymi. Na podstawie praktyki można sformułować następujące ogólne zalecenia:

- studia nad mapowaniem i oceną ES powinny koncentrować się na konkretnych kwestiach politycznych lub wyzwaniach decyzyjnych,
- ma to wpływ na wybór ekosystemów i usług, które mają być ocenione, a także na stosowane metody,
- zaangażowanie interesariuszy powinno być zapewnione poprzez powtarzający się proces w celu zwiększenia świadomości i akceptacji wyników mapowania i oceny ES, a także wspierania ich wdrażania w konkretnych kontekstach decyzyjnych,
- zmniejszanie skali celów UE do poziomu krajowego, a tym samym uwzględnianie priorytetów krajowych, jest dobrą strategią wykorzystania MAES do rozwiązywania problemów krajowych,
- wykorzystanie historii sukcesów do informowania o tym, jak mapowanie i ocena ES może wpłynąć na proces podejmowania decyzji.

Ponadto ES stanowią kompleksowe ramy dla analizy kompromisów, uwzględniają kompromisy między konkurującymi ze sobą sposobami użytkowania gruntów i ułatwiają planowanie i podejmowanie decyzji ponad sektorami, skalami i granicami administracyjnymi. Duży potencjał wykorzystania koncepcji ES w ochronie przyrody, rolnictwie i leśnictwie mają na przykład związki między działaniami na rzecz ochrony różnorodności biologicznej a świadczeniem usług ekosystemowych, czy też zwiększanie synergii między rekreacją i sekwestracją dwutlenku węgla a produkcją drewna w lasach lub zapylaniem i kontrolą biologiczną w środowisku rolniczym. W planowaniu przestrzennym stwarza ona większe możliwości uwzględnienia aspektów środowiskowych w procesie podejmowania decyzji dotyczących zmiany przeznaczenia gruntów lub zarządzania nimi na poziomie strategicznym i praktycznym. W praktyce koncepcję ES można włączyć do procedur oceny oddziaływania, rozszerzając w ten sposób zakres oceny oddziaływania z rozważań czysto środowiskowych na inne wymiary dobrobytu człowieka (Považan i in., 2021).

Wybór ES powinien być zgodny ze zidentyfikowanymi kwestiami politycznymi, społecznymi lub biznesowymi, istotnymi dla danego obszaru badań. Zasadą jest, że wybór powinien obejmować wspólne kategorie ES (ES zaopatrzeniowe, regulacyjne i kulturowe), aby umożliwić analizę kompromisów, synergii i interakcji pomiędzy różnymi ES. Ogólnie rzecz biorąc, stwierdzono, że integracja metod i wyników ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia kompleksowego przeglądu uwzględniającego różne perspektywy (np. społeczną, ekonomiczną). Na przykład, koncentrowanie się wyłącznie na metodach społecznych może prowadzić do niedocenia wartości niektórych bardziej "nieznanych" ES, takich jak oczyszczanie wody lub infiltracja. Z drugiej strony, skupienie się wyłącznie na metodach biofizycznych może spowodować przeoczenie niektórych ważnych wartości niematerialnych lub konfliktów między ES.

3. WARSZAWA JAKO OBSZAR BADAŃ SZCZEGÓŁOWYCH

3.1. Charakterystyka obszaru badań

Warszawę, największe miasto w Polsce, zamieszkuje blisko 1,8 mln osób (Raport, 2021), jednak w ciągu dnia roboczego przebywa ok. 2,5 mln osób (Bijak i Kicingier, 2007). Powierzchnia miasta wynosi 517,2 km², zatem na km² przypada średnio 3467 osób. Warszawę cechuje bardzo silne zróżnicowanie pod względem gęstości zaludnienia od 992 osób/km² w dzielnicy Wawer do 8438 osób/km² w dzielnicy Ochota (GUS, 2021). Od 2002 r., Warszawa stanowi jedną gminę o statusie miasta na prawach powiatu. Pod względem administracyjnym jest podzielona na 18 dzielnic będących tzw. jednostkami pomocniczymi. Dodatkowo w Warszawie obowiązuje podział na 143 jednostki Miejskiego Systemu Informacji (MSI) stanowiącego system lokalnego oznakowania miasta dla wszystkich 18 dzielnic. W niniejszym opracowaniu jednostki MSI wykorzystano do przestrzennego zobrazowania części wyników badań (ryc. 1).

Z punktu widzenia usług świadczonych przez ekosystemy Warszawy oraz planowania przestrzennego jedną z najważniejszych charakterystyk jest struktura funkcjonalno-przestrzenna. Według aktualizowanej na bieżąco przez Urząd Miasta st. Warszawy ewidencji struktury funkcjonalnej na terenie Warszawy wyróżniono 32 typy funkcjonalne użytkowania gruntów (tab. 1).

Poszczególne powierzchnie reprezentujące typy funkcjonalne terenu były polami podstawowymi dla ocen prezentowanych w tym raporcie. Wartości uśrednione dla typów funkcjonalnych odpowiadają wskaźnikom potencjału usług ekosystemowych, opisanych w rozdziale 4.



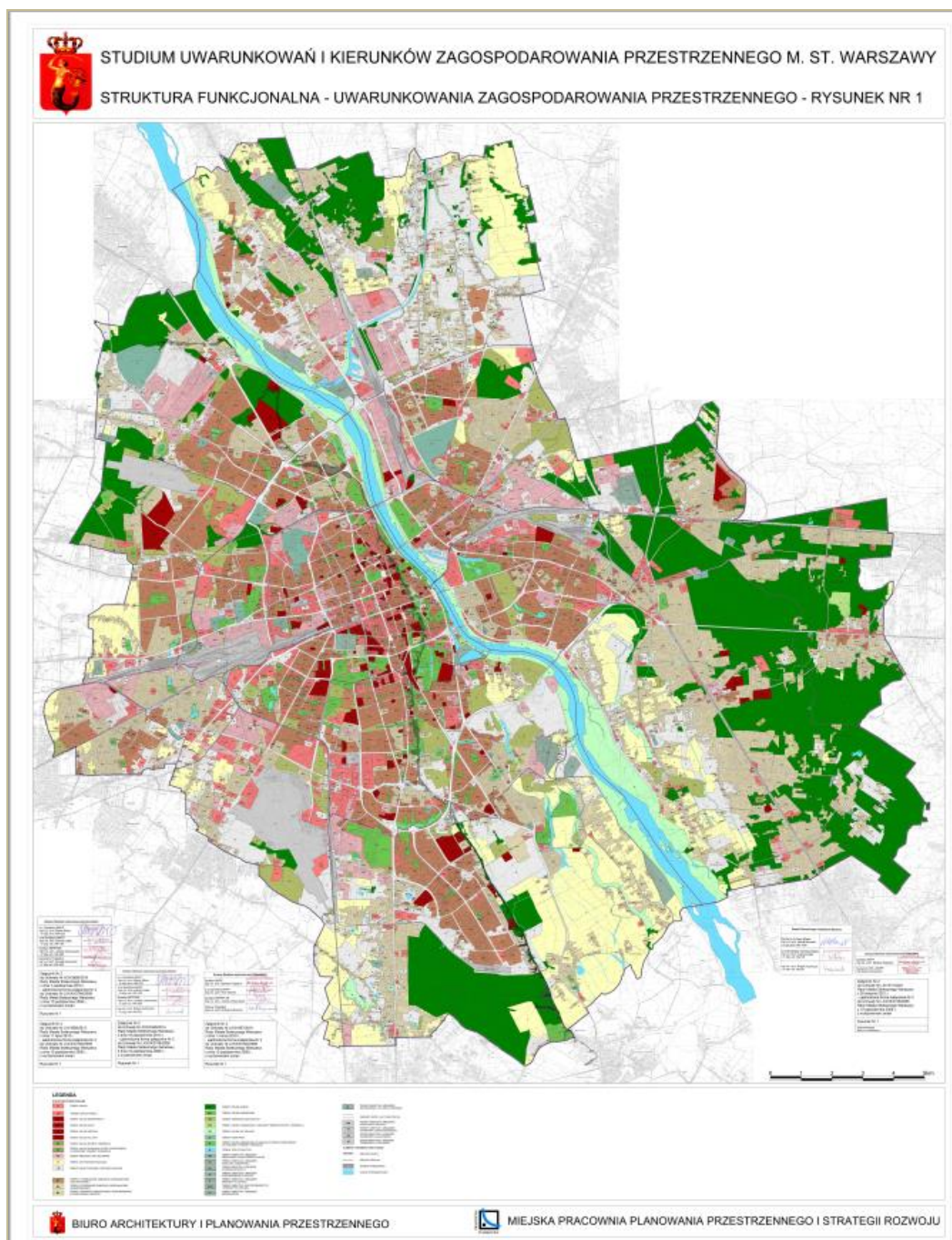
Ryc. 1. Dzielnice i obszary Miejskiego Systemu Informacji (MSI) w Warszawie

Tabela 1. Struktura funkcjonalna gruntów Warszawy

Funkcja terenu	Symbol	Powierzchnia [ha]	%	Liczba płątów	Średnia powierzchnia płątu [ha]	Odchylenie standardowe
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	MW	2728,10	5,28	3518	0,692	1,269
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	MWZos	2549,53	4,93	1091	2,343	2,955
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	MN	5738,89	11,10	10197	0,545	0,672
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	MNL	233,11	0,45	856	0,261	0,384
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	UH/WOH	356,87	0,69	77	4,658	5,774
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	UO	752,72	1,46	995	0,734	0,778
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	UN	498,03	0,96	199	2,488	6,282

Usługi o charakterze społecznym (kultura)	UK	107,49	0,21	184	0,532	1,177
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	UZ	241,03	0,47	276	0,867	2,501
Usługi inne (administracja publiczna)	UA	553,21	1,07	401	1,392	4,33
Usługi inne (handel)	UH	560,55	1,08	2057	0,276	0,511
Usługi inne (kult religijny)	UW	155,26	0,30	230	0,678	0,689
Usługi inne (biura)	U	1090,80	2,11	2481	0,43	0,978
Usługi inne (turystyka/hotele)	UT	67,41	0,13	129	0,515	0,755
Usługi sportowe (z kubaturą)	US	109,91	0,21	68	1,57	3,821
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	US-rek	482,02	0,93	268	1,757	6,536
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	PU	1729,51	3,34	973	1,835	5,577
Tereny leśne	Ls	7941,00	15,36	3298	2,423	7,766
Zieleń urządzone	ZP1	1062,00	2,05	530	1,95	5,293
Zieleń nieurządzone z dominacją zadrzewień	ZN	2831,11	5,47	4358	0,665	2,862
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	ZI	2289,78	4,43	5098	0,453	1,833
Ogrody działkowe	ZD	1330,43	2,57	280	4,837	8,517
Cmentarze	ZC	481,63	0,93	46	10,462	27,33
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	R	6611,21	12,78	2337	3,083	6,678
Wody powierzchniowe	W	1590,79	3,08	1814	0,885	10,181
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	W/ZP1	86,79	0,17	239	0,362	0,826
Infrastruktura techniczna	I	473,91	0,92	364	1,335	6,478
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	KM	134,27	0,26	19	5,621	6,611
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	KS	343,34	0,66	820	0,456	0,64
Lotniska	KL	793,56	1,53	19	41,691	135,778
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	KK	1183,64	2,29	112	10,838	35,123
Drogi	K-dr.	6604,88	12,77	314	19,86	80,498

Za najbardziej charakterystyczną cechą struktury funkcjonalnej Warszawy należy uznać występowanie gruntów od cennych terenów leśnych i łąkowych, w tym objętych różnymi formami ochrony przyrody, przez grunty typowo rolne do zabudowy wielkomiejskiej (tab. 1; ryc. 2).

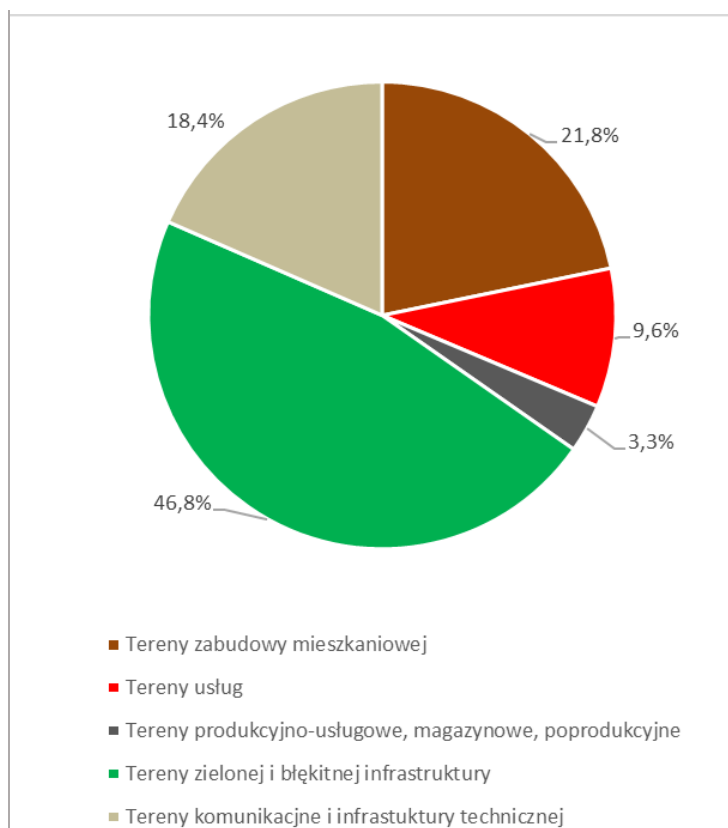


Ryc. 2. Struktura funkcjonalno-przestrzenna Warszawy

Źródło: Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego m. st. Warszawy z 2006 r.

Do kluczowych komponentów przyrodniczych kształtujących strukturę funkcjonalno-przestrzenną Warszawy należą Wisła jako bardzo wyraźnie zaznaczona oś hydrograficzna miasta z cenną roślinnością łąkową, łąkowo-zaroślową i łęgami w dolinie zalewowej Wisły, jak również inne tereny leśne (ryc. 2). Zachowane duże kompleksy gruntów ornych głównie w dzielnicach Wilanów, Białołęka i Wawer stanowią obecnie czołowe obszary dość żywiołowego rozwoju terenów mieszkaniowych skutkujących newralgicznymi zmianami użytkowania gruntów i traceniem części świadczeń ekosystemowych lub zmianami

charakteru świadczeń. Z punktu widzenia usług ekosystemów miejskich fundamentalne znaczenie ma duży udział zielonej i błękitnej infrastruktury zajmującej około 46,8% powierzchni Warszawy (ryc. 3). Włączone do tej kategorii tereny rolnicze a zwłaszcza grunty orne, w przeważającej części ugorowane i odłogowane, pod presją deweloperów i innych potrzeb rozwojowych metropolii będą systematycznie zmieniać użytkowanie na nierolnicze. Ten kierunek zmian będzie miał największy wpływ na kształtowanie się w przestrzeni Warszawy nowych relacji pomiędzy usługami ekosystemów.

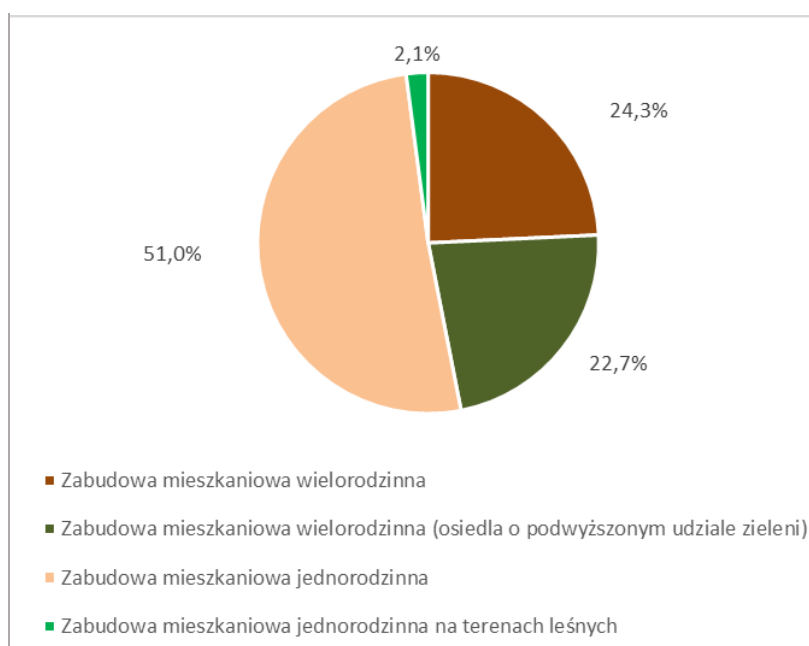


Ryc. 3. Struktura funkcjonalna Warszawy – kategorie zagregowane
Opracowanie własne na podstawie map wektorowych pozyskanych z Urzędu m. st. Warszawy w 2022 r.

Tereny o funkcji mieszkaniowej zajmują obecnie 22% powierzchni Warszawy (tab. 1, ryc. 2). W strukturze terenów zabudowy mieszkaniowej udział terenów zabudowy jednorodzinnej wynosi 53% a wielorodzinnej 47% (ryc. 4). Zatem charakteryzują się zbliżoną powierzchnią. Tereny zabudowy wielorodzinnej generalnie nawiązują do zasięgu dawnej gminy Warszawa-Centrum, ale rozwój osiedli tzw. „blokowisk” głównie na terenie Ursynowa, Kabat, Tarchomina, Ursusa, łącznie z powstaniem nowej, dużej jednostki urbanistycznej tj, Miasteczka Wilanów o relatywnie niskiej zabudowie, ale o dużej intensywności zabudowanej powierzchni, spowodował intensywny rozwój zabudowy wielorodzinnej także w dzielnicach zewnętrznych (ryc. 2). Z punktu widzenia usług świadczonych przez ekosystemy obszarów z zabudową mieszkaniową wielorodzinną, pozytywna strona zagospodarowania wiąże się z dużym udziałem zieleni towarzyszącej blisko połowie terenów będących osiedlami o podwyższonym udziale zieleni (ryc. 4). Tereny klasyfikowane jako zabudowa jednorodzinna,

łącznie z niewielkim udziałem zabudowy na działkach leśnych oraz obszary o przewadze tej formy są zlokalizowane głównie w strefie otaczającej silnie zurbanizowany rdzeń Warszawy nawiązujący do zasięgu dawnej gminy Warszawa-Centrum. Duży udział zabudowy jednorodzinnej w polskich metropoliach, a zwłaszcza w stolicy kraju, znacząco odróżnia taką strukturę od większości stolic. Niemniej jednak, coraz częściej zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna miesza się z wielorodzinną, stwarzając krajobrazowy i przestrzenny chaos. Dodać należy, że w ostatnich latach domy jednorodzinne powstają na coraz mniejszych, a zatem także i coraz bardziej uszczelnionych działkach. Dotyczy to przede wszystkim zabudowy szeregowej. Takie tendencje przyczyniają się do zmniejszania świadczeń ekosystemów zarówno lądowych, jak i wodnych. Te ostatnie ulegają bardzo dużemu ograniczaniu wskutek rurowania niewielkich cieków i kanałów oraz osuszania gruntu.

Mając na uwadze dobrostan mieszkańców stolicy związany z usługami ekosystemów obszarów z zabudową mieszkaniową ostatnio nieco większą uwagę przywiązuje się do zapewnienia i planowania zieleni w pobliżu miejsca zamieszkania, jak i w strefie śródmiejskiej, co jest szczególnie ważne w obliczu obecnych zmian klimatycznych oraz w związku z dużą populacją starszych mieszkańców Warszawy.



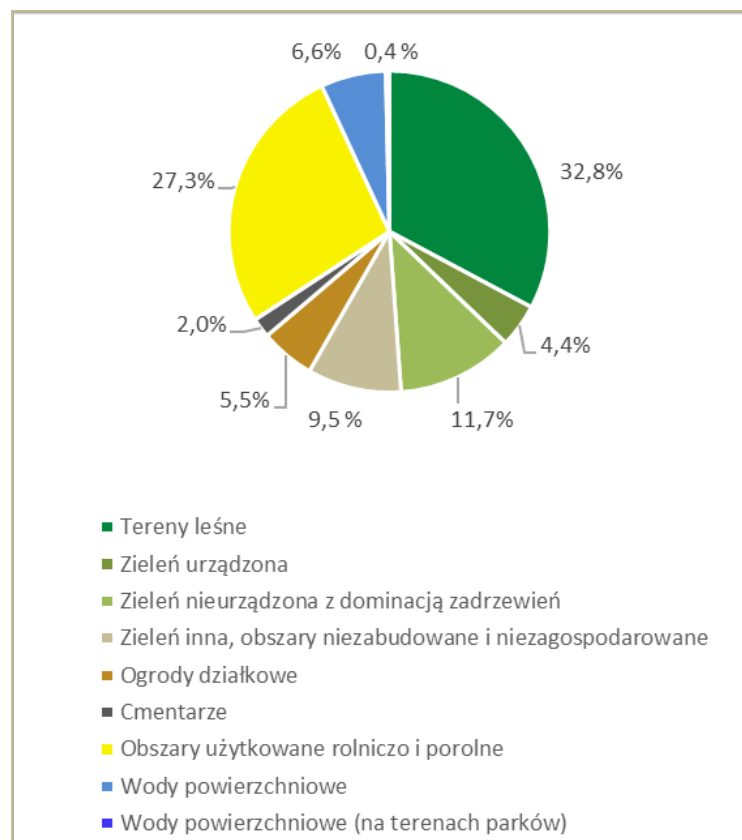
Ryc. 4. Struktura terenów mieszkaniowych Warszawy

Tereny zielonej i błękitnej infrastruktury. Strukturę funkcjonalną terenów zakwalifikowanych do kategorii zielonej i błękitnej infrastruktury można uznać za bardzo korzystną z punktu widzenia świadczeń ekosystemów miejskich, ponieważ aż 1/3 jej powierzchni stanowią lasy a 16% obejmuje zielenie urządzone i nieurządzone z dominacją zadrzewień (ryc. 5). Jeszcze bardziej znaczące jest to, że w ogólnej powierzchni Warszawy tereny zielonej i błękitnej infrastruktury zajmują blisko połowę powierzchni miasta (46,8%), przy czym lasy aż 15%, a łącznie z zielenią urządzonej i terenami zieleni nieurządzonej z dominacją zadrzewień ok. 22,9 % (tab. 1). Znaczący udział terenów leśnych jak i zachowanie w granicach miasta dużych kompleksów i cennych ekosystemów, wyróżnia Warszawę spośród innych stolic. W przeważającej części lasy Warszawy zostały objęte formami prawnej

ochrony przyrody (m. in. Mazowiecki Park Krajobrazowy, Las Kabacki, Las Bielański – rezerваты przyrody, łęgi doliny Wisły – Natura 2000). Według obowiązującego SUiKZP niemal wszystkie ekosystemy leśne są zasadniczym komponentem Systemu Przyrodniczego Warszawy. Lasy Warszawy charakteryzuje bardzo nierównomierne rozmieszczenie. Największe kompleksy występują w dzielnicy Wawer, a generalnie w dzielnicach strefy zewnętrznej (oprócz dzielnicy Wawer to również Rembertów, Wesoła, Białołęka, Bemowo, Bielany, Ursynów). Zachowane w tych lokalizacjach tereny leśne stanowią część tworzonego w latach 60. Leśnego Pierścienia Warszawy, jednak ten bardzo potrzebny program nie był kontynuowany. Pozytywna zmiana polega na coraz lepszym dostosowywaniu warszawskich lasów do pełnienia usług rekreacyjnych i wypoczynkowych, ale zwiększa się ich fragmentacja i izolacja wskutek zabudowy stref ekotonowych. Korzyści dla ludności głównie w zakresie świadczeń kulturowych są częściowo uszczuplane przez własność prywatną i dopuszczenie budownictwa na działkach leśnych, a dodać należy, że presja zabudowy wzrasta.

W miastach, a przede wszystkim w strefach o wysokiej gęstości zaludnienia i dużej intensywności zabudowy nieocenione korzyści dla dobrostanu mieszkańców przynosi zieleni urządzona, która zajmuje tylko 2% powierzchni Warszawy (tab. 1). Generalnie rozkład przestrzenny parków miejskich nawiązuje do zasięgu byłej gminy Warszawa-Centrum. W Warszawie występuje znaczący niedosyt parków miejskich w innych dzielnicach, chociaż w ostatnich latach kilka utworzono. Obecnie coraz więcej uwagi przykładana jest do zazieleniania ulic i placów, tworzenia parków kieszonkowych i ogrodów deszczowych, a sporadycznie także zielonych dachów i ogrodów wertykalnych oraz urządzania zieleni i wprowadzania błękitnej infrastruktury do nowej zabudowy kształtowanej przez deweloperów.

W niniejszej analizie do zielonej infrastruktury włączono także tereny rolnicze, które traktowano jako obszary rolnictwa miejskiego. Stanowią one aż 13% powierzchni miasta (tab. 1), a w strukturze terenów zieleni zajmują drugą pozycję 27,3% (ryc. 5). Jednak przyszłość tych terenów można obecnie wiązać z rozwojem zabudowy mieszkaniowej i infrastruktury oraz innych funkcji miejskich. Obecne tereny gruntów ornych w niewielkim stopniu będą nadal zasilać usługi ekosystemowe świadczone przez te obszary. Ponad połowa gruntów o funkcji rolniczej jest odłogowana lub ugorowana (Raport 2006) i głównie takie obszary są miejscem silnej presji deweloperów. Jednak na szczególną uwagę zasługują dobrze zachowane ekosystemy łąkowe i łąkowo-zaroślowe zachowane głównie w dolinie Wisły w zdecydowanej większości w międzywalu, które weszły w skład europejskiej sieci ochrony przyrody Natura 2000.



Ryc. 5. Struktura funkcjonalna terenów zielonej i błękitnej infrastruktury Warszawy

W Warszawie wody powierzchniowe zajmują ok. 3% jej powierzchni (tab. 1), a jako jedna ze składowych zielonej i błękitnej infrastruktury ok. 7% (ryc. 5). W strukturze funkcjonalno-przestrzennej miasta zdecydowanie wyróżnia się Wisła, której długość w granicach Warszawy wynosi 31,5 km (Atlas Ekofizjograficzny Warszawy, 2018). Dzieli ona miasto na dwie części i wobec słabego skomunikowania infrastrukturalnego determinuje ich rozwój (głównie części prawobrzeżnej). Wisła odgrywa ważną rolę w kreowaniu potencjału kulturowo-krajobrazowego Warszawy. Od niedawna wzrasta także wykorzystanie jej potencjału rekreacyjnego.

Wisła, jak i jej dolina, charakteryzująca poza pewnymi odcinkami zagospodarowanego nabrzeża, dużą naturalnością, dostarcza także wielu znaczących świadczeń regulacyjnych. Jest m.in. międzynarodowym korytarzem ekologicznym, ostoją ornitofauny, szlakiem wędrówkowym ptaków i skupiskiem cennych siedlisk. Wyrazem jej cennej jest włączenie jej wraz z międzywalem do sieci Natura 2000. Oprócz korzyści Wisła niesie także dla części mieszkańców Warszawy oraz jej infrastruktury zagrożenie powodziowe, głównie w związku z położeniem części nadwiślańskich terenów mieszkaniowych w strefie zagrożenia w przypadku przerwania wałów. Inne ciekę Warszawy to: Wilanówka, Potok Służewiecki, Długa oraz Kanał Żerański i Kanał Bródnowski. Według Atlasu Ekofizjograficznego Warszawy (2018) w stolicy znajduje się ok. 160 zbiorników wodnych, a do największych należą: Jezioro Czerniakowskie, Jezioro Wilanowskie oraz Łacha Potocka. Chociaż zachowanie nawet niewielkich cieków i zbiorników wodnych jest wskazane z uwagi na ważne w skali miasta świadczenia takich ekosystemów, to jak wspomniano częściowo zanikają, są rurowane oraz podlegają znacznej degradacji.

Do zielonej infrastruktury Warszawy należą także tereny zieleni nieurządzonej zadrzewień, ogrody działkowe, cmentarze, zielen inna obszarów niezabudowanych i niezagospodarowanych, które stanowią łącznie ok. 13 % powierzchni miasta (tab. 1). Warto zaznaczyć, że w okresie pandemii COVID 19 zainteresowanie wypoczynkiem i posiadaniem działki w mieście znacząco wzrosło. Jednak w Warszawie tylko nieliczne ogrody działkowe są udostępnione jako tereny spacerowe dla osób trzecich.

Tereny o funkcji komunikacyjnej i tereny infrastruktury technicznej, zajmujące łącznie w Warszawie ok. 18,5% powierzchni (tab. 1), z uwagi na bardzo duże uszczelnienie gruntu i mały udział zieleni mają niewielki udział w świadczeniach usług ekosystemów miejskich. Niemniej jednak dla obniżania wysokich temperatur i zmniejszania zanieczyszczenia ważne jest zadrzewianie i zazielenianie towarzyszące drogom i chodnikom. Warszawa ostatnio realizuje tego typu projekty.

Pozostałe tereny, tj. tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne oraz tereny usług, zajmujące łącznie 13% powierzchni miasta (tab. 1), odgrywają mniejszą rolę dla wszystkich typów świadczeń. Należy jednak zaznaczyć, że wyjątkiem mogą być boiska i place zabaw, a także działki budowlane pod budynki opieki zdrowotnej (oprócz przychodni) oraz oświaty i wychowania, dla których powierzchnia terenu biologicznie czynnego musi stanowić co najmniej 25% powierzchni działki, chyba że inny procent wskazuje „Miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego” co jest istotne w skali miejsca.

Kończąc tę charakterystykę należy jeszcze raz podkreślić dużą cenność znacznej części warszawskich ekosystemów, co stanowi pozytywną stronę z punktu widzenia zachowania ważnych świadczeń ekosystemów miejskich. Na terenie miasta ochroną prawną na mocy ustawy o ochronie przyrody objęto powierzchnię wynoszącą 18 546,9 ha (Atlas Ekofizjograficzny Warszawy, 2018). Są to przede wszystkim obszary europejskiej sieci Natura 2000 (6 obiektów), 12 rezerwatów przyrody, Mazowiecki Park Krajobrazowy, Warszawski Obszar Chronionego Krajobrazu, 5 użytków ekologicznych, 5 zespołów przyrodniczo-krajobrazowych, 486 pomników przyrody. Niestety pomimo ważnej dla miasta decyzji planistycznej, tj. włączenia większości takich obszarów do wyznaczonego w SUiKZP Warszawy – Systemu Przyrodniczego Miasta – tereny w granicach obszarów chronionego krajobrazu są częściowo zabudowywane i fragmentowane, podobnie jak kliny napowietrzające, a zatem ważne usługi ekosystemów są częściowo ograniczane. Ponadto Warszawę uznano jest jedną z najbardziej zielonych europejskich stolic. W 2018 r. zajmowała 12 miejsce wśród badanych 50 światowych stolic, wyprzedzając m.in. Waszyngton, Paryż czy Toronto (Atlas Ekofizjograficzny Warszawy, 2018).

4. OCENA POTENCJAŁU USŁUG EKOSYSTEMOWYCH ISTOTNYCH DLA EKOSYSTEMÓW MIEJSKICH

4.1. Dziko rosnące rośliny (lądowe i wodne) i grzyby jako źródło pożywienia, materiałów lub energii

Jedną ze strategii zrównoważonego rozwoju jest przejście w kierunku odnawialnych źródeł energii, takich jak biomasa, która powinna być wytwarzana lokalnie (Kammen i Sunter, 2016). Potencjał obszarów miejskich do produkcji biomasy jest rzadko wykorzystywany, chociaż wiele jej źródeł znajduje się w miastach, od obrzeży dróg po parki publiczne. Rośnie jednak zainteresowanie tymi potencjalnymi źródłami biomasy, ponieważ znajdują się one blisko konsumentów i dają możliwości obniżenia kosztów utrzymania miejskich terenów zieleni (Brunzel i in., 2018; Sikorska i in., 2020).

Przedmiotem pomiaru jest potencjał typów funkcjonalnych do produkcji biomasy wykorzystywanej jako źródło „czystej” energii, a wskaźnikiem średnia produkcja pierwotna brutto w ciągu roku² poszczególnych typów funkcjonalnych. Wartości średniej produkcji pierwotnej zostały zamienione na pięciostopniową skalę rangową (tab. 2).

Tabela 2. Średnia produkcja pierwotna brutto w ciągu roku w poszczególnych typach struktury funkcjonalnej miasta. W nawiasach potencjał w skali rangowej od 1 do 5

Funkcja terenu	Wartość wskaźnika [PPI × dzień]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	433,1 [1]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	790,6 [3]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	768,4 [3]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	865,1 [3]
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	200,5 [1]
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	640,4 [2]
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	722,0 [3]
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	509,0 [2]
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	616,3 [2]
Usługi inne (administracja publiczna)	633,8 [2]
Usługi inne (handel)	360,0 [1]
Usługi inne (kult religijny)	644,8 [2]
Usługi inne (biura)	384,4 [1]
Usługi inne (turystyka/hotele)	427,9 [1]
Usługi sportowe (z kubaturą)	747,7 [3]
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	1271,8 [5]
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	401,5 [1]
Las	1156,4 [5]
Zieleń urządzona	1481,4 [5]
Zieleń nieurzadzona z dominacją zadrzewień	1503,3 [5]
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	1261,1 [5]

² Wysokorozdzielcza warstwa rastrowa przedstawiająca całkowitą produkcję pierwotną brutto w roku 2020 (Season 1 + Season 2 Total Productivity) o komórce rastra 10 × 10 m, Europejska Agencja Środowiska (EEA), <https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity/data-access-hr-vpp>

Ogrody działkowe	1293,7 [5]
Cmentarze	971,8 [4]
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	1509,5 [5]
Wody powierzchniowe	491,6 [1]
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	724,4 [3]
Infrastruktura techniczna	749,7 [3]
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	361,0 [1]
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	493,9 [1]
Lotniska	964,4 [4]
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	700,3 [3]
Drogi	560,4 [2]

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

4.2. Przeciwdziałanie erozji

Erozja wodna, a w szczególności erozja powierzchniowa, jest jedną z głównych przyczyn degradacji gleb w Europie. Dla Polski średnia strata gleby w wyniku erozji wodnej jest szacowana na ponad $70 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ (Józefaciuk i Józefaciuk, 1995), przy czym w skali lokalnej, w zależności od warunków abiotycznych i sposobu użytkowania ziemi może przekraczać $250 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ (Maruszczak, 1991), co stanowi poważny problem gospodarczy i środowiskowy. Problem jest szczególnie ważny na obszarach rolniczych, natomiast w miastach wodna erozja powierzchniowa ma znaczenie głównie na obszarach położonych poza ścisłym centrum. Pokrywa roślinna miasta ma wpływ na zmniejszanie erozji potencjalnej. Wpływ ten zależy od rodzaju zbiorowiska roślinnego, a także morfologii poszczególnych gatunków (w tym m. in. wielkości i trwałości liści oraz sposobu rozbudowy systemu korzeniowego), ich wysokości i zwarcia.

Przedmiotem pomiaru jest potencjał typów funkcjonalnych terenu do ograniczania zagrożenia erozją wodną, a wskaźnikiem ważony przez powierzchnię średni współczynnik redukcji erozji powierzchniowej przez roślinność. Współczynniki redukcji erozji przypisane poszczególnym typom roślinności określono na podstawie danych literaturowych (wg Gassman i in., 2007; Benavidez i in., 2018) i szczegółowo przedstawiono w innym opracowaniu (Degórski i in., 2021).

Wartość wskaźnika obliczono odrębnie dla każdego indywidualnego obszaru o określonej funkcji terenu a następnie uśredniono dla typów funkcji terenu. Obliczone wartości wskaźnika zostały zamienione na pięciostopniową skalę rangową (tab. 3).

Tabela 3. Współczynniki redukcji przez roślinność zagrożenia wodną erozją powierzchniową jako wskaźnik potencjału typów funkcji terenu do obniżania erozji. W nawiasach potencjał w skali od 1 do 5, przy czym 1 oznacza najmniejszy potencjał, a 5 największy potencjał

Funkcja terenu	Średnia wartość wskaźnika
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	0,07 [2]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	0,07 [2]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	0,07 [2]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	0,07 [2]
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	0,07 [2]
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	0,07 [2]

Usługi o charakterze społecznym (nauka)	0,0698 [2]
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	0,07 [2]
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	0,07 [2]
Usługi inne (administracja publiczna)	0,0699 [2]
Usługi inne (handel)	0,07 [2]
Usługi inne (kult religijny)	0,07 [2]
Usługi inne (biura)	0,07 [2]
Usługi inne (turystyka/hotele)	0,07 [2]
Usługi sportowe (z kubaturą)	0,05 [3]
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	0,0489 [3]
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	0,0992 [1]
Las	0,0131 [4]
Zieleń urządzona	0,0401 [4]
Zieleń nieurządzona z dominacją zadrzewień	0,0413 [4]
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	0,0587 [2]
Ogrody działkowe	0,05 [3]
Cmentarze	0,049 [3]
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	0,0497 [3]
Wody powierzchniowe	0,0034 [5]
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	0,0051 [5]
Infrastruktura techniczna	0,0982 [1]
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	0,0932 [1]
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	0,0971 [1]
Lotniska	0,0273 [4]
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	0,0996 [1]
Drogi	0,05 [3]

4.3. Regulacja cyklu hydrologicznego i przepływu wody (wraz z ochroną przeciwpowodziową i ochroną wybrzeży)

Rozwój miast powoduje zwiększanie udziału powierzchni nieprzepuszczalnych. Efektem zasklepienia gleb jest pogorszenie właściwości infiltracyjnych podłoża, a tym samym większe zagrożenie powodzią miejską i podtopieniami, pogorszenie jakości wody (Tu i in., 2007; Livesley, 2016), oraz gwałtowne wahania przepływu w strumieniach (Paul i Meyer, 2001; Schoonover i in., 2006). Uszczelnienie powierzchni ma zatem znaczący wpływ na cały miejski bilans wodny (Haase i Nuißl, 2007). Do kluczowych czynników cyklu hydrologicznego w miastach zalicza się także wpływ drzew (Crockford i Richardson, 2000). Ich korony skutecznie ograniczają spływ wód opadowych dzięki procesom intercepcji polegającym na częściowym zatrzymywaniu i magazynowaniu opadu atmosferycznego na powierzchni liści. Ponadto korzenie penetrując zagęszczoną glebę zwiększają współczynnik infiltracji (Puchalski i Prusinkiewicz, 1990; Bartens i in., 2008, 2009). W celu zobrazowania opisanych zagadnień wykorzystano wskaźnik uwzględniający: właściwości infiltracyjne materiału litologicznego i substratu glebowego, stopień przepuszczalności gruntu, stopień zwarcia koron drzew oraz typ ich ulistnienia (tab. 4). Uzasadnienie teoretyczne oraz metodykę obliczania wskaźnika szczegółowo przedstawiono w innym opracowaniu (Degórski i in., 2021).

Tabela 4. Średnia wartość współczynnika infiltracyjno-intercepcyjnego jako wskaźnik potencjalnej zdolności podłoża i koron drzew do regulacji warunków wodnych w poszczególnych typach struktury funkcjonalnej miasta. W nawiasach potencjał w skali rangowej od 1 do 5

Funkcja terenu	Wartość wskaźnika
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	0,30 [1]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	0,51 [3]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	0,47 [2]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	0,65 [4]
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	0,09 [1]
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	0,42 [2]
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	0,46 [2]
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	0,36 [1]
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	0,42 [2]
Usługi inne (administracja publiczna)	0,43 [2]
Usługi inne (handel)	0,25 [1]
Usługi inne (kult religijny)	0,39 [1]
Usługi inne (biura)	0,26 [1]
Usługi inne (turystyka/hotele)	0,28 [1]
Usługi sportowe (z kubaturą)	0,35 [1]
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	0,58 [3]
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	0,26 [1]
Las	0,84 [5]
Zieleń urządzona	0,69 [4]
Zieleń nieurzadzona z dominacją zadrzewień	0,71 [5]
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	0,55 [3]
Ogrody działkowe	0,59 [3]
Cmentarze	0,63 [4]
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	0,52 [3]
Wody powierzchniowe	nie dotyczy
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	nie dotyczy
Infrastruktura techniczna	0,39 [1]
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	0,21 [1]
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	0,30 [1]
Lotniska	0,48 [2]
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	0,50 [2]
Drogi	0,37 [1]

4.4. Regulacja temperatury i wilgotności powietrza

Z punktu widzenia jakości życia w mieście szczególnie niebezpieczne są wysokie temperatury powietrza. Na obszarach zurbanizowanych globalny wzrost temperatury powietrza jest dodatkowo wzmacniany efektem miejskiej wyspy ciepła (MWC). MWC definiuje się jako zjawisko klimatyczne polegające na występowaniu podwyższonej temperatury powietrza w mieście w stosunku do otaczających je terenów peryferyjnych (Błażejczyk i in., 2014). W okresie występowania wysokich temperatur powietrza MWC wykazuje obciążający wpływ na funkcjonowanie organizmu poprzez zwiększenie stresu cieplnego (Kuchcik, 2017). Oprócz skutków zdrowotnych MWC zwiększa zapotrzebowanie na energię w okresie letnim, koszty klimatyzacji, zanieczyszczenie powietrza i emisję gazów cieplarnianych oraz wpływa na obniżenie jakości wody. MWC może być określana na podstawie dwóch charakterystyk: (1)

temperatury powietrza (atmosferyczna MWC) lub (2) temperatury powierzchni (powierzchniowa MWC).

Obszary biologicznie czynne poprzez zacienienie, ewapotranspirację i intercepcję mają potencjał do regulacji temperatury powietrza w mieście. Oprócz roli drzew, zapewniających najwięcej cienia oraz zieleni urządzonej i nieurządzonej, ostatnio coraz większe znaczenie przypisuje się zielonym dachom i ścianom, w sposób naturalny obniżającym temperaturę wewnątrz mieszkań i w otoczeniu budynków, a także wodzie w mieście. Rozpatrywana usługa ekosystemowa regulacji temperatury i wilgotności powietrza polega na modyfikacji warunków atmosferycznych otoczenia (w tym mikro- i mezoskalowych), w szczególności na obniżaniu temperatury latem i podnoszeniu wilgotności powietrza, poprzez obecność ekosystemów, co w efekcie poprawia warunki życia ludzi. Przedmiotem pomiaru jest **potencjał do redukcji miejskiej wyspy ciepła**, a wskaźnikiem jest **różnica temperatury powierzchni terenu względem powierzchni referencyjnej**. Im mniejsza różnica temperatury względem powierzchni referencyjnej, tym większy potencjał ekosystemów w obrębie danego typu obszaru funkcjonalnego do redukcji miejskiej wyspy ciepła.

Do oszacowania potencjału ekosystemów do redukcji miejskiej wyspy ciepła wykorzystano zobrazenia multispektralne zarejestrowane przez satelitę Landsat 8 w rozdzielczości 30×30 m. Do obliczenia temperatury powierzchni terenu (ang. *Land Surface Temperature*, LST) wykorzystano zmodyfikowany tzw. jednokanałowy algorytm opracowany przez Jimenez-Munoz i in. (2009). Szczegóły metodyczne podano w poprzednim raporcie (Degórski i in., 2021).

Wyliczony wskaźnik potencjału ekosystemów do redukcji miejskiej wyspy ciepła pokazuje, że największym potencjałem charakteryzują się ekosystemy na obszarach wód powierzchniowych ($0,5^{\circ}\text{C}$) i lasów ($2,1^{\circ}\text{C}$), a także na obszarach zieleni nieurządzonej z dominacją zadrzewień ($2,9^{\circ}\text{C}$) oraz wód powierzchniowych na terenach parków ($3,3^{\circ}\text{C}$).

Z kolei najniższym potencjałem charakteryzują się ekosystemy na obszarach o funkcji handlowej, w szczególności dotyczy to handlu wielkopowierzchniowego ($10,5^{\circ}\text{C}$), a także na obszarach zajezdni i innych obiektów obsługi transportu zbiorowego oraz na terenach o funkcji produkcyjno-usługowej, magazynowej i poprodukcyjnej ($8,4^{\circ}\text{C}$) (tab. 5). Wartości surowe wskaźnika przetransformowano do pięciostopniowej skali rangowej potencjału przyjmując następujące przedziały ($>8^{\circ}\text{C} \rightarrow 1$; $6-8^{\circ}\text{C} \rightarrow 2$; $4-6^{\circ}\text{C} \rightarrow 3$; $2-4^{\circ}\text{C} \rightarrow 4$; $<2^{\circ}\text{C} \rightarrow 5$).

Tabela 5. Średnia różnica temperatury powierzchni terenu względem powierzchni referencyjnej jako wskaźnik potencjału do redukcji miejskiej wyspy ciepła wg funkcji terenu. W nawiasach potencjał w skali od 1 do 5, przy czym 1 oznacza najniższy potencjał, a 5 najwyższy potencjał

Funkcja terenu	Wartość wskaźnika [$^{\circ}\text{C}$]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	7,03 [2]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	6,76 [2]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	5,98 [3]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	3,67 [4]
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	10,53 [1]
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	7,20 [2]
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	6,94 [2]

Usługi o charakterze społecznym (kultura)	6,81 [2]
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	7,18 [2]
Usługi inne (administracja publiczna)	6,97 [2]
Usługi inne (handel)	7,58 [2]
Usługi inne (kult religijny)	6,83 [2]
Usługi inne (biura)	7,65 [2]
Usługi inne (turystyka/hotele)	6,93 [2]
Usługi sportowe (z kubaturą)	6,75 [2]
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	5,30 [3]
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	8,44 [1]
Las	2,06 [4]
Zieleń urządzona	4,44 [3]
Zieleń nieurządzona z dominacją zadrzewień	2,94 [4]
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	5,74 [3]
Ogrody działkowe	4,32 [3]
Cmentarze	4,48 [3]
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	3,89 [4]
Wody powierzchniowe	0,52 [5]
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	3,25 [4]
Infrastruktura techniczna	6,52 [2]
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	9,32 [1]
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	7,27 [2]
Lotniska	6,83 [2]
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	7,06 [2]
Drogi	6,58 [2]

4.5. Filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta

Zanieczyszczenie powietrza na obszarach miejskich stanowi coraz większe zagrożenie dla zdrowia ludzi. Jednym z najniebezpieczniejszych wdychanych zanieczyszczeń jest pył zawieszony (PM), który składa się z cząstek ciekłych i stałych, zarówno organicznych, jak i nieorganicznych, o średnicy w zakresie 0,001–100µm. Głównym źródłem PM w miastach jest niska emisja, transport samochodowy oraz przemysł (Popek i in., 2015; Przybysz i in., 2020). Roślinność miejska może być stosowana jako filtr biologiczny, który zatrzymuje PM na powierzchni liści i pędów. Gatunki drzew i krzewów różnią się zdolnością akumulacji PM. Gatunki z dużymi liśćmi, które mają szorstką powierzchnię czy włoski, są bardziej efektywne w akumulacji PM niż gatunki z liśćmi o gładkiej powierzchni (Sæbø i in., 2012). Na całkowitą wielkość akumulacji pyłów wpływa w dużym stopniu pokrycie i struktura roślinności, których dobrym wskaźnikiem jest indeks liściowy (ang. LAI – *leaf area index*) – stosunek powierzchni liści do powierzchni gruntu (Manes i in., 2014; Maes i in., 2016).

Przedmiotem pomiaru jest potencjał typów funkcjonalnych do akumulacji pyłów, a wskaźnikiem indeks liściowy – stosunek powierzchni liści do powierzchni gruntu³ poszczególnych typów funkcjonalnych. Wartości wskaźnika zostały zamienione na pięciostopniową skalę rangową (tab. 6).

³ Leaf Area Index 2017, Europejska Agencja Środowiska (EEA), <https://land.copernicus.eu/pan-european/biophysical-parameters/high-resolution-vegetation-phenology-and-productivity/vegetation-indices>

Tabela 6. Indeks liściowy jako wskaźnik potencjału typów funkcjonalnych do akumulacji pyłów. W nawiasach potencjał w skali od 1 do 5, przy czym 1 oznacza najmniejszy potencjał, a 5 największy potencjał

Funkcja terenu	Wartość wskaźnika [m ² m ⁻²]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	0,80 [2]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	1,32 [3]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	1,40 [3]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	1,74 [4]
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	0,33 [1]
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	1,11 [3]
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	1,25 [3]
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	0,99 [2]
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	1,09 [3]
Usługi inne (administracja publiczna)	1,09 [3]
Usługi inne (handel)	0,59 [2]
Usługi inne (kult religijny)	1,06 [3]
Usługi inne (biura)	0,67 [2]
Usługi inne (turystyka/hotele)	0,74 [2]
Usługi sportowe (z kubaturą)	1,30 [3]
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	2,03 [4]
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	0,68 [2]
Las	2,54 [5]
Zieleń urządzona	2,57 [5]
Zieleń nieurządzona z dominacją zadrzewień	3,08 [5]
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	2,14 [4]
Ogrody działkowe	2,55 [5]
Cmentarze	1,68 [4]
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	2,64 [5]
Wody powierzchniowe	1,32 [3]
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	1,61 [4]
Infrastruktura techniczna	1,13 [3]
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	0,49 [1]
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	0,62 [2]
Lotniska	1,35 [3]
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	1,28 [3]
Drogi	0,92 [2]

4.6. Fizyczne i doświadczalne interakcje ze środowiskiem przyrodniczym

Zielone przestrzenie miejskie zapewniają możliwość rekreacji i odpoczynku na łonie przyrody, które mają ogromną wartość dla fizycznego dobrostanu i zdrowia psychicznego mieszkańców (Geary i in., 2021; Weinbrenner i in., 2021). Walory rekreacyjne terenów zieleni związane są ściśle z ich walorami estetycznymi, a także zapewnianiem warunków klimatycznych sprzyjających wypoczynkowi (Kothencz i in., 2017). Szczególnie istotne są właściwości terenów zieleni wpływające na łagodzenie wysokich temperatur w okresie letnim. Wykazano, że korzyści związane z efektem chłodzenia (zależnym w dużym stopniu od zacieniania i ewapotranspiracji) są znacznie większe w przypadku terenów zielonych

porośniętych drzewami w porównaniu z terenami zielonymi bez drzew (Armson i in., 2012; Skelhorn i in., 2014; Yu i in., 2020; Zardo i in., 2017). Oceniając potencjał terenów zieleni do rekreacji, jak w przypadku innych usług kulturowych, warto uwzględnić również preferencje i potrzeby osób z nich korzystających. Najlepszym źródłem wiedzy są bezpośrednie opinie mieszkańców miasta (np. Coles i Bussey, 2000; De Luca i in., 2021).

Przedmiotem pomiaru jest potencjał typów funkcjonalnych do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody. Wskaźnik został zbudowany na podstawie danych o (1) średnim stopniu zwarcia koron drzew⁴ dla danego typu (%) oraz (2) częstości wskazań poszczególnych typów jako terenów rekreacyjnych przez mieszkańców miasta (%) w ankiecie internetowej⁵. Wartości procentowe zostały zamienione na pięciostopniową skalę rangową, a następnie obliczono (3) średnią rangę (z 1 i 2) dla każdego typu jako wielkość potencjału (tab. 7).

Tabela 7. Wielkość potencjału typów funkcjonalnych do odpoczynku i rekreacji na łonie przyrody (3) – 1 oznacza najmniejszy potencjał, 5 największy potencjał; średni stopień zwarcia koron drzew (1); częstość wskazań poszczególnych typów jako terenów rekreacyjnych przez mieszkańców miasta (2)

Funkcja terenu	Wartość wskaźnika (1) [%]	Wartość wskaźnika (2) [%]	Wartość wskaźnika (3)
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	5,26 [1]	2,0 [2]	2
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	19,68 [2]	6,0 [4]	3
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	17,25 [2]	0,0 [0]	1
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	32,08 [3]	0,0 [0]	2
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	0,51 [1]	0,0 [0]	1
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	12,65 [2]	0,0 [0]	1
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	15,28 [2]	0,0 [0]	1
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	8,46 [1]	0,5 [1]	1
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	14,38 [2]	0,2 [1]	2
Usługi inne (administracja publiczna)	12,52 [2]	0,2 [1]	2
Usługi inne (handel)	3,18 [1]	0,0 [0]	1
Usługi inne (kult religijny)	11,83 [2]	0,0 [0]	1
Usługi inne (biura)	4,58 [1]	0,0 [0]	1
Usługi inne (turystyka/hotele)	5,69 [1]	0,0 [0]	1
Usługi sportowe (z kubaturą)	8,98 [1]	0,0 [0]	1
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	14,58 [2]	2,0 [2]	2
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	4,35 [1]	0,0 [0]	1
Las	75,89 [5]	26,4 [5]	5
Zieleń urządzona	39,05 [3]	32,7 [5]	4
Zieleń nieurzadzona z dominacją zadrzewień	57,32 [4]	8,7 [4]	4
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	19,71 [2]	2,7 [2]	2
Ogrody działkowe	42,12 [3]	4,7 [3]	3
Cmentarze	25,45 [2]	0,2 [1]	2
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	15,42 [2]	4,7 [3]	3
Wody powierzchniowe	10,68 [2]	1,7 [2]	2

⁴ Tree Cover Density 2018, Europejska Agencja Środowiska (EEA), <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests/tree-cover-density/status-maps/tree-cover-density-2018>

⁵ Ankieta internetowa przeprowadzona w ramach badań do pracy magisterskiej: Melon M., 2021. Percepcja naturalności terenów zieleni wśród mieszkańców Warszawy. SGGW, Wydział Budownictwa i Inżynierii środowiska; (N=401).

Wody powierzchniowe (na terenach parków)	18,76 [2]	6,7 [4]	3
Infrastruktura techniczna	6,85 [1]	0,0 [0]	1
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	2,54 [1]	0,0 [0]	1
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	3,93 [1]	0,0 [0]	1
Lotniska	3,47 [1]	0,0 [0]	1
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	12,42 [2]	0,2 [1]	2
Drogi	8,28 [1]	0,0 [0]	1

4.7. Intelktualne i tożsamościowe interakcje ze środowiskiem przyrodniczym

Wiele dotychczasowych badań (Affek i Kowalska, 2017; Hutcheson i in., 2018) pokazało, że świadomość zachodzących procesów ekologicznych i korzyści płynących z przyrody wzrasta wraz z częstością bezpośrednich interakcji ze środowiskiem przyrodniczym, dlatego edukacja ekologiczna na łonie przyrody ma szczególne znaczenie dla promowania zasad zrównoważonego rozwoju w społeczeństwie. Poznawanie przyrody odbywać się może poprzez spontaniczny kontakt (np. podglądanie zwyczajów zwierząt, obserwowanie rozwoju roślin), jak i korzystanie z infrastruktury terenowej służącej edukacji ekologicznej, bazującej na potencjale danego miejsca (np. tablice informacyjne, ścieżki dydaktyczne, identyfikatory gatunków drzew, e-przewodniki). Obszary cenne przyrodniczo, znajdujące się w najbliższym sąsiedztwie miejsc zamieszkania, są szczególnie istotne w aspekcie doświadczania przyrody i uczenia się od niej. Tworzą tereny ostoi dla flory i fauny w przestrzeni miejskiej podlegającej ogromnej presji urbanistycznej (Elmqvist i in., 2013).

Przedmiotem pomiaru jest potencjał typów funkcjonalnych do edukacji ekologicznej na łonie przyrody, a wskaźnikiem udział procentowy obszarów cennych przyrodniczo⁶ w powierzchni poszczególnych typów funkcjonalnych. Wyboru obszarów dokonano na podstawie doświadczeń z inwentaryzacji m.st. Warszawy oraz lektury uwarunkowań do Studium. Wartości procentowe zostały zamienione na pięciostopniową skalę rangową (tab. 8).

Tabela 8. Udział procentowy obszarów cennych przyrodniczo jako wskaźnik potencjału typów funkcjonalnych do edukacji ekologicznej na łonie przyrody. W nawiasach potencjał w skali od 1 do 5, przy czym 1 oznacza najmniejszy potencjał, a 5 największy potencjał

Funkcja terenu	Wartość wskaźnika
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	5,14 [1]
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	1,69 [1]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	11,89 [2]
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	79,38 [4]
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	0,89 [1]

⁶ Do obszarów cennych przyrodniczo zaliczono zarówno obszary prawnie chronione takie jak: obszary sieci Natura 2000, parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты przyrody, obszary chronionego krajobrazu, zespoły przyrodniczo-krajobrazowe, użytki ekologiczne, pomniki historii, jak i tereny ważne pod względem przyrodniczym (i specyficzne) w skali Warszawy: ostoje bioróżnorodności (flory, fauny), ostoje rekreacyjne, forty (wykorzystano dane kartograficzne z zasobów Biura Architektury i Planowania Przestrzennego Urzędu m.st. Warszawy).

Usługi o charakterze społecznym (oświata)	6,86 [1]
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	15,28 [2]
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	15,76 [2]
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	14,01 [2]
Usługi inne (administracja publiczna)	28,79 [3]
Usługi inne (handel)	4,43 [1]
Usługi inne (kult religijny)	11,95 [2]
Usługi inne (biura)	8,63 [1]
Usługi inne (turystyka/hotele)	17,76 [2]
Usługi sportowe (z kubaturą)	7,83 [1]
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	29,15 [3]
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	3,96 [1]
Las	92,01 [5]
Zieleń urządzona	59,42 [4]
Zieleń nieurządzona z dominacją zadrzewień	62,23 [4]
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	15,38 [2]
Ogrody działkowe	27,14 [3]
Cmentarze	55,36 [4]
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	40,95 [3]
Wody powierzchniowe	92,86 [5]
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	88,11 [5]
Infrastruktura techniczna	27,18 [3]
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	0,62 [1]
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	7,37 [1]
Lotniska	3,04 [1]
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	6,36 [1]
Drogi	14,18 [2]

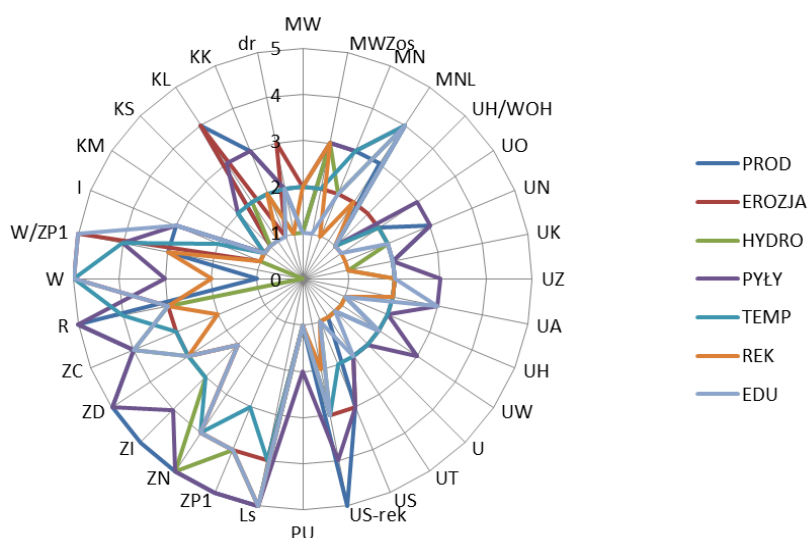
5. ZBIORCZA MACIERZ OCENY POTENCJAŁU

Uzyskane wartości rangowe dla siedmiu wskaźników posłużyły do obliczenia zagregowanych potencjałów i hotspotów wielousługowych, a także do analizy interakcji między świadczeniami. Wartości rang (w skali 1-5) przedstawiono w formie tabeli (macierz wskaźników i typów powierzchni podstawowych – tab. 9, ryc. 6). Przyjęta skala rangowa i układ tabelaryczny opierają się na rozwiązaniach zaproponowanych przez Burkharda i in. (2014, 2012, 2009). Dzięki temu uzyskane wyniki można łatwo porównać z pracami tych i innych autorów, nawet jeśli metodyka wskaźników i obszar badań są odmienne.

Tabela 9. Potencjał ekosystemów miejskich do dostarczania usług ekosystemowych według funkcji terenu na przykładzie Warszawy. Potencjał na skali 1–5, gdzie 1 – bardzo niski potencjał, 5 – bardzo wysoki potencjał, N – nie dotyczy

Funkcja terenu		Zaopatrzenie	Regulacja i Utrzymanie				Kultura	
		PROD	EROZJA	HYDRO	PYŁY	TEMP	REK	EDU
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	MW	1	2	1	2	2	2	1
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o	MWZos	3	2	3	3	2	3	1

podwyższonym udziale zieleni)								
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	MN	3	2	2	3	3	1	2
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	MNL	3	2	4	4	4	2	4
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	UH/WOH	1	2	1	1	1	1	1
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	UO	2	2	2	3	2	1	1
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	UN	3	2	2	3	2	1	2
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	UK	2	2	1	2	2	1	2
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	UZ	2	2	2	3	2	2	2
Usługi inne (administracja publiczna)	UA	2	2	2	3	2	2	3
Usługi inne (handel)	UH	1	2	1	2	2	1	1
Usługi inne (kult religijny)	UW	2	2	1	3	2	1	2
Usługi inne (biura)	U	1	2	1	2	2	1	1
Usługi inne (turystyka/hotele)	UT	1	2	1	2	2	1	2
Usługi sportowe (z kubaturą)	US	3	3	1	3	2	1	1
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	US-rek	5	3	3	4	3	2	3
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	PU	1	1	1	2	1	1	1
Las	Ls	5	4	5	5	4	5	5
Zieleń urządzona	ZP1	5	4	4	5	3	4	4
Zieleń nieurzadzona z dominacją zadrzewień	ZN	5	4	5	5	4	4	4
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	ZI	5	2	3	4	3	2	2
Ogrody działkowe	ZD	5	3	3	5	3	3	3
Cmentarze	ZC	4	3	4	4	3	2	4
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	R	5	3	3	5	4	3	3
Wody powierzchniowe	W	1	5	N	3	5	2	5
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	W/ZP1	3	5	N	4	4	3	5
Infrastruktura techniczna	I	3	1	1	3	2	1	3
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	KM	1	1	1	1	1	1	1
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	KS	1	1	1	2	2	1	1
Lotniska	KL	4	4	2	3	2	1	1
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	KK	3	1	2	3	2	2	1
Drogi	dr	2	3	1	2	2	1	2



Ryc. 6. Potencjał do świadczenia siedmiu istotnych dla obszarów miejskich usług w podziale na funkcję terenu na przykładzie Warszawy

6. POTENCJAŁ ZAGREGOWANY

W celu określenia przeciętnego potencjału ekosystemów z uwzględnieniem wytypowanych siedmiu istotnych usług w obszarach miejskich, obliczono wartości średnie z rang dla danej funkcji terenu. Obliczono potencjał zagregowany zarówno dla wszystkich siedmiu świadczeń, jak i w podziale na trzy główne sekcje usług: zaopatrzenie, regulacja i utrzymanie oraz kultura (tab. 10, ryc. 7). Jako danych wejściowych użyliśmy wartości rang 1-5. Uzyskane wartości posłużyły również do zmapowania łącznego potencjału dla Warszawy na poziomie MSI (ryc. 8). Zakres skali na wszystkich mapach został ujednolicony poprzez dostosowanie do uzyskanych wartości skrajnych.

W przypadku usług zaopatrzeniowych najwyższy zagregowany potencjał wykazują lasy, tereny zieleni różnego typu oraz obszary użytkowane rolniczo i porolne. Przy usługach regulacyjnych i kulturowych oprócz lasów oraz terenów zieleni urządzonej i nieurządzonej wysokim zagregowanym potencjałem charakteryzują się wody powierzchniowe (tab. 10, ryc. 7).

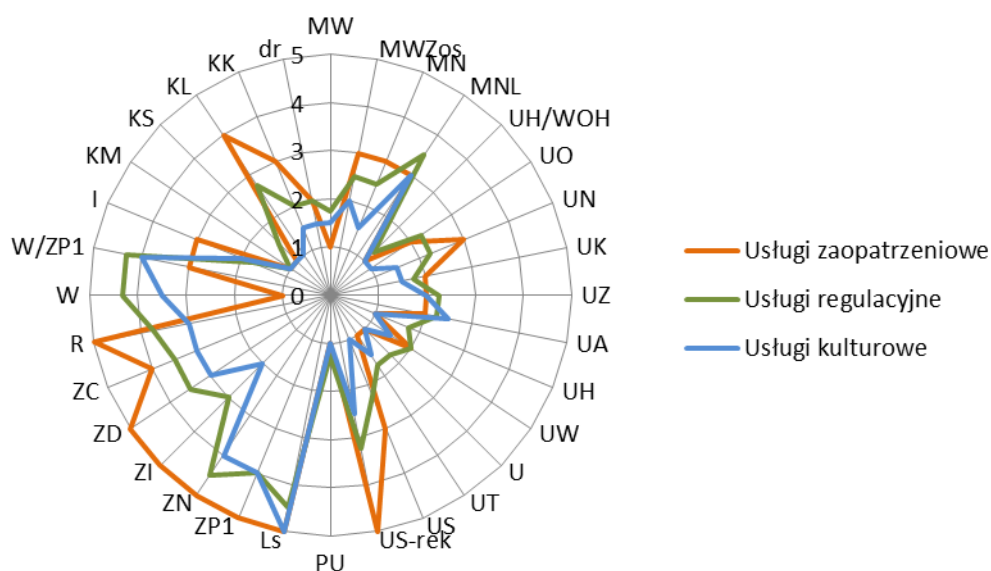
Tabela 10. Zagregowany potencjał do świadczenia usług przez ekosystemy miejskie wg funkcji terenu na przykładzie Warszawy

Funkcja terenu		UZ	UR	UK	Usługi łącznie
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	MW	1,00	1,75	1,50	1,57
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o podwyższonym udziale zieleni)	MWZos	3,00	2,50	2,00	2,43
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	MN	3,00	2,50	1,50	2,29
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	MNL	3,00	3,50	3,00	3,29
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	UH/WOH	1,00	1,25	1,00	1,14
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	UO	2,00	2,25	1,00	1,86
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	UN	3,00	2,25	1,50	2,14
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	UK	2,00	1,75	1,50	1,71
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	UZ	2,00	2,25	2,00	2,14
Usługi inne (administracja publiczna)	UA	2,00	2,25	2,50	2,29
Usługi inne (handel)	UH	1,00	1,75	1,00	1,43
Usługi inne (kult religijny)	UW	2,00	2,00	1,50	1,86
Usługi inne (biura)	U	1,00	1,75	1,00	1,43
Usługi inne (turystyka/hotele)	UT	1,00	1,75	1,50	1,57
Usługi sportowe (z kubaturą)	US	3,00	2,25	1,00	2,00
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	US-rek	5,00	3,25	2,50	3,29
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	PU	1,00	1,25	1,00	1,14
Las	Ls	5,00	4,50	5,00	4,71
Zieleń urządzona	ZP1	5,00	4,00	4,00	4,14
Zieleń nieurządzona z dominacją zadrzewień	ZN	5,00	4,50	4,00	4,43
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	ZI	5,00	3,00	2,00	3,00
Ogrody działkowe	ZD	5,00	3,50	3,00	3,57
Cmentarze	ZC	4,00	3,50	3,00	3,43
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	R	5,00	3,75	3,00	3,71
Wody powierzchniowe	W	1,00	4,33	3,50	3,50
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	W/ZP1	3,00	4,33	4,00	4,00
Infrastruktura techniczna	I	3,00	1,75	2,00	2,00
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	KM	1,00	1,00	1,00	1,00
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	KS	1,00	1,50	1,00	1,29

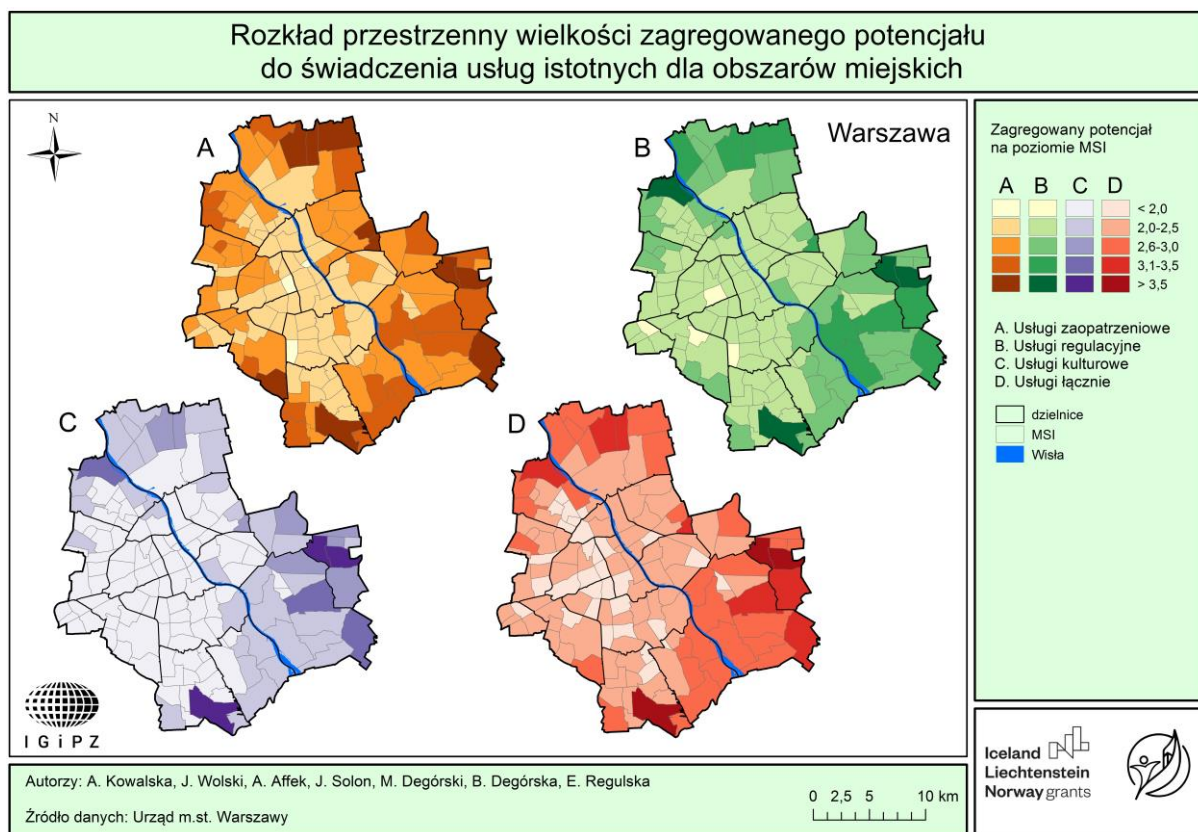
Lotniska	KL	4,00	2,75	1,00	2,43
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	KK	3,00	2,00	1,50	2,00
Drogi	dr	2,00	2,00	1,50	1,86

Objaśnienia skrótów: UZ – usługi zaopatrzeniowe; UR – usługi regulacyjne; UK – usługi kulturowe

Najwyższy zagregowany potencjał, w podziale na trzy główne sekcje usług oraz łącznie, wykazują jednostki MSI z dominacją lasów, położone na obrzeżach Warszawy (ryc. 7).



Ryc. 7. Zagregowany potencjał do świadczenia usług z sekcji zaopatrzeniowych, regulacyjnych, kulturowych oraz łącznie dla wszystkich rozpatrywanych usług w podziale na funkcję terenu na przykładzie Warszawy



Ryc. 8. Rozkład przestrzenny wielkości zagregowanego potencjału (dla poszczególnych sekcji i łącznie) do świadczenia usług istotnych dla obszarów miejskich na poziomie MSI na przykładzie Warszawy. Skale poszczególnych map ujednolicono dostosowując do otrzymanych wartości skrajnych

7. HOTSPOTY I ICH CHARAKTERYSTYKA

Typy funkcjonalne, które wykazują wysoki lub bardzo wysoki potencjał (ranga 4 lub 5) do dostarczania wielu świadczeń zostały określone jako *hotspots*. Przyjęto ponadto, że typ funkcjonalny może być uznany jako *hotspot* jeśli ma potencjał do dostarczania przynajmniej połowy z analizowanych świadczeń na wysokim lub bardzo wysokim poziomie.

W przypadku Warszawy do *hotspotów* należą lasy, tereny zieleni różnego typu, wody powierzchniowe oraz tereny użytkowane rolniczo i porolne; a dla usług regulacyjnych i kulturowych także zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna na terenach leśnych (tab. ...).

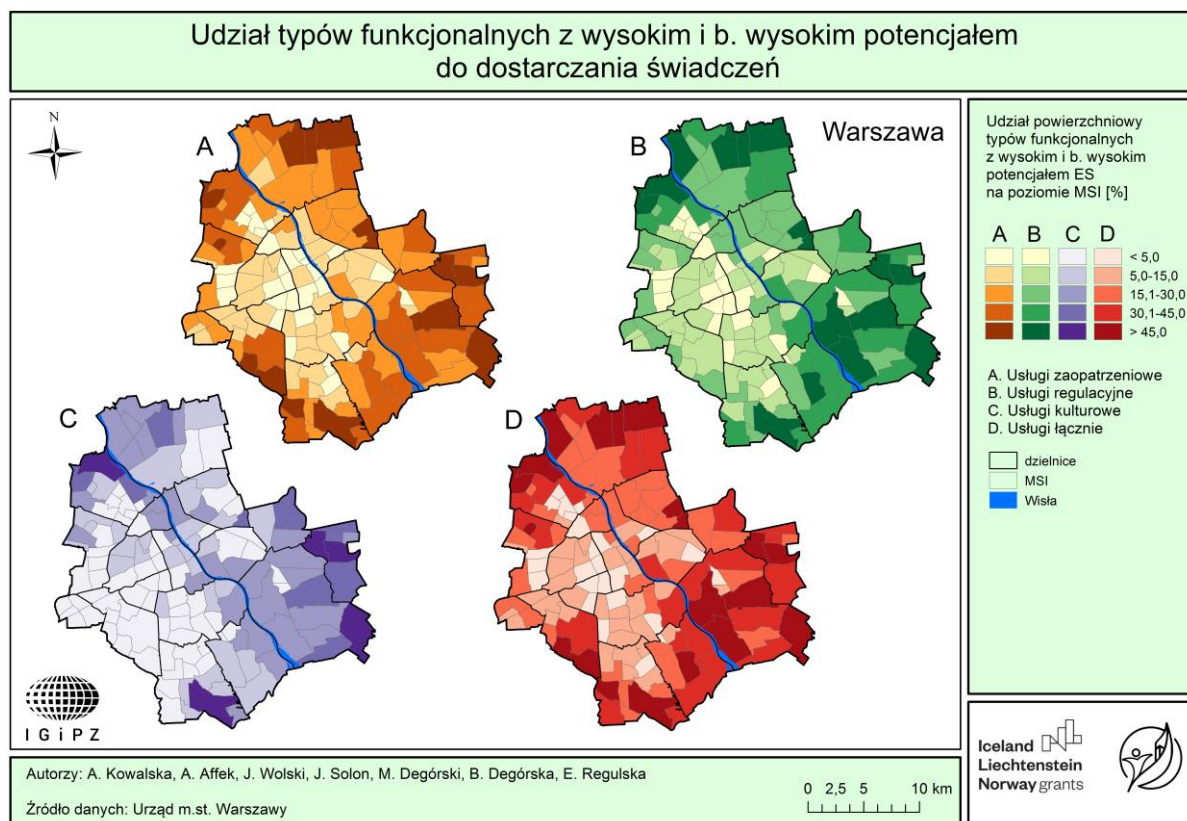
Tabela 11. Liczba i udział procentowy świadczeń z wysokim lub bardzo wysokim (ranga 4 lub 5) potencjałem dla danej funkcji terenu na przykładzie Warszawy

Funkcja terenu		UZ		UR		UK		Usługi łącznie	
		N	%	N	%	N	%	N	%
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna	MW	0	0	0	0	0	0	0	0
Zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna (osiedla o	MWZos	0	0	0	0	0	0	0	0

podwyższonym udziale zieleni)									
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna	MN	0	0	0	0	0	0	0	0
Zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna (na terenach leśnych)	MNL	0	0	3	75	1	50	4	57
Usługi handlu wielkopowierzchniowego	UH/WOH	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi o charakterze społecznym (oświata)	UO	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi o charakterze społecznym (nauka)	UN	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi o charakterze społecznym (kultura)	UK	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi o charakterze społecznym (zdrowie)	UZ	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi inne (administracja publiczna)	UA	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi inne (handel)	UH	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi inne (kult religijny)	UW	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi inne (biura)	U	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi inne (turystyka/hotele)	UT	0	0	0	0	0	0	0	0
Usługi sportowe (z kubaturą)	US	0	0	0	0	0	0	0	0
Sport i rekreacja (boiska/place zabaw)	US-rek	1	100	1	25	0	0	2	29
Tereny produkcyjno-usługowe, magazynowe, poprodukcyjne	PU	0	0	0	0	0	0	0	0
Las	Ls	1	100	4	100	2	100	7	100
Zieleń urządzona	ZP1	1	100	3	75	2	100	6	86
Zieleń nieurządzona z dominacją zadrzewień	ZN	1	100	4	100	2	100	7	100
Zieleń inna, obszary niezabudowane i niezagospodarowane	ZI	1	100	1	25	0	0	2	29
Ogrody działkowe	ZD	1	100	1	25	0	0	2	29
Cmentarze	ZC	1	100	2	50	1	50	4	57
Obszary użytkowane rolniczo i porolne	R	1	100	2	50	0	0	3	43
Wody powierzchniowe	W	0	0	2	66	1	50	3	50
Wody powierzchniowe (na terenach parków)	W/ZP1	0	0	3	100	1	50	4	67
Infrastruktura techniczna	I	0	0	0	0	0	0	0	0
Zajezdnie, obiekty i urządzenia obsługi transportu zbiorowego	KM	0	0	0	0	0	0	0	0
Obiekty i urządzenia obsługi komunikacji drogowej	KS	0	0	0	0	0	0	0	0
Lotniska	KL	1	100	1	0	0	0	2	29
Obiekty i urządzenia transportu kolejowego	KK	0	0	0	0	0	0	0	0
Drogi	dr	0	0	0	0	0	0	0	0

Objaśnienia skrótów: UZ – usługi zaopatrzeniowe; UR – usługi regulacyjne; UK – usługi kulturowe

Największy udział powierzchniowy typów funkcjonalnych z wysokim i bardzo wysokim potencjałem ES na poziomie MSI obserwowany jest poza ścisłym centrum Warszawy, w jednostkach na obrzeżach miasta i sąsiadujących z doliną Wisły (ryc. 9).



Ryc. 9. Udział typów funkcjonalnych z wysokim i bardzo wysokim potencjałem (ranga 4 i 5) do dostarczania świadczeń (dla poszczególnych sekcji i łącznie) na poziomie MSI na przykładzie Warszawy

8. WIĄZKI ŚWIADCZEŃ

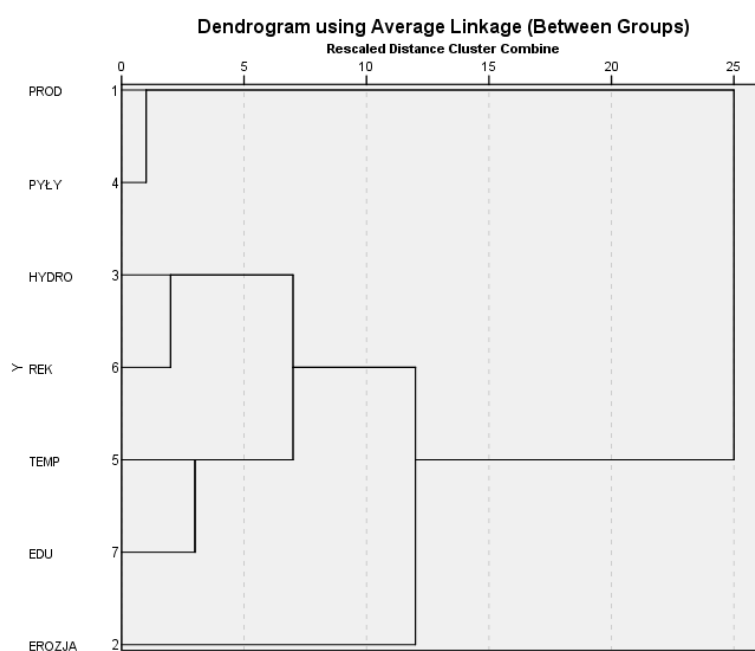
Celem tej analizy było określenie wiązek ES, które grupują usługi o podobnym poziomie potencjalnej podaży. Do analizy związków między wskaźnikami ES wykorzystano stosunkowo proste narzędzie statystyczne - analizę macierzy korelacji. Synergie i kompromisy ES badaliśmy za pomocą korelacji parami, ponieważ są one często stosowane jako przybliżone miary pozytywnych i negatywnych interakcji ES (Turner i in., 2014; Yang i in., 2015). Chociaż na ich podstawie nie można ocenić ewentualnych mechanizmów synergetycznych lub konkurencyjnych oraz związków przyczynowych, stanowią one wiarygodną informację o współistnieniu pewnych poziomów potencjałów ES.

Przeprowadziliśmy analizę korelacji parami r -Spearmana dla wszystkich wskaźników ES obliczonych dla typów jednostek podstawowych (tab. 12). Jeśli dany typ jednostki podstawowej nie był brany pod uwagę przy obliczaniu danej usługi (oznaczenie N), był pomijany przy obliczaniu danej korelacji parami.

Tabela 12. Korelacje Spearmana parami między siedmioma usługami istotnymi dla ekosystemów miejskich (N=30-32). Na szarym tle współczynniki korelacji, na białym istotności współczynnika (wartości P)

	PROD	EROZJA	HYDRO	PYŁY	TEMP	REK	EDU
PROD		0,521	0,837	0,898	0,640	0,626	0,535
EROZJA	0,002		0,575	0,604	0,692	0,536	0,606
HYDRO	<0,001	0,001		0,892	0,819	0,830	0,679
PYŁY	<0,001	<0,001	<0,001		0,824	0,779	0,726
TEMP	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		0,708	0,819
REK	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001		0,630
EDU	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	

Nie zaobserwowano trade-offów między potencjałami do świadczenia istotnych siedmiu usług dla obszarów miejskich. Wszystkie świadczenia są synergistyczne i tworzą spójną wiązkę.



Ryc. 10. Dendrogram hierarchicznej analizy skupień wskazujący podobieństw między rozkładem potencjałów do świadczenia siedmiu usług istotnych z punktu widzenia obszarów miejskich

9. LITERATURA

- Affek, A.N., Kowalska, A., 2017. *Ecosystem potentials to provide services in the view of direct users*. Ecosystem Services, 26: 183-196.
- 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*. Elsevier, Amsterdam, Oxford, Cambridge.
- Anderson B.J., Armsworth P.R., Eigenbrod F., Thomas C.D., Gillings S., Heinemeyer A., Roy D.B., Gaston K.J., 2009, *Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities*, Journal of Applied Ecology, 46: 888-896.
- Armson, D., Stringer, P., Ennos, A.R., 2012. *The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area*. Urban Forestry and Urban Greening, 11: 245-255.
- Atlas Ekofizjograficzny Warszawy, 2018. *Atlas ekofizjograficzny miasta stołecznego Warszawy*. Warszawa. <https://architektura.um.warszawa.pl/-/atlas-ekofizjograficzny-warszawy>
- Balvanera P., Siddique I., Dee L., Paquette A., Isbell F., Gonzalez A., Byrnes J., O'Connor M.I., Hungate B. A., Griffin J.N., 2014, *Linking biodiversity and ecosystem services: Current uncertainties and the necessary next steps*, BioScience, 64: 49-57.
- Bartens, J., Day, S.D., Harris, J.R., Dove, J.E., Wynn, T.M., 2008. *Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management?* Journal of Environmental Quality, 37: 2048-2057.
- Bartens, J., Day, S.D., Harris, J.R., Wynn, T.M., Dove, J.E., 2009. *Transpiration and root development of urban trees in structural soil stormwater reservoirs*. Environmental Management, 44: 646-657.
- Bastian O., Haase D., Grunewald K., 2012. *Ecosystem properties, potentials and services – The EPPS conceptual framework and an urban application example*. Ecological Indicators 21: 7-16.
- Bastian O., Syrbe R. U., Rosenberg M., Rahe D., Grunewald K., 2013. *The five pillar EPPS framework for quantifying, mapping and managing ecosystem services*. Ecosystem Services 4: 15-24.
- Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., Norton, K., 2018. *A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation (R/USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates*. Hydrology and Earth System Sciences, 22: 6059-6086.
- Berry P., Turkelboom F., Verheyden W., Martín-López B., 2016, *Ecosystem service bundles*. W: Potschin M.B., Jax K. (red.), *OpenNESS Ecosystem Services Reference Book*, EC FP7 Grant Agreement No. 308428.
- Bijak J., Kicingier A. 2007. *Studium metodologiczne oszacowania rzeczywistej liczby ludności Warszawy*. CEFMR Working Paper, 2/2007, Warszawa.
- Błazejczyk, K., Kuchcik, M., Milewski, P., Dudek, W., Kręcis, B., Błazejczyk, A., Szmyd, J., Degórska, B., Pałczyński, C., 2014. *Miejska wyspa ciepła w Warszawie. Uwarunkowania klimatyczne i urbanistyczne*. Warszawa: Wydawnictwo Akademickie Sedno.
- Braat L., ten Brink P. (red.), 2008, *The cost of policy inaction: the case of not meeting the 2010 biodiversity target*, Wageningen, Brussels.
- Brunzel, S., Kellermann, J., Nachev, M., Sures, B., Hering, D., 2018. *Energy crop production in an urban area: a comparison of habitat types and land use forms targeting economic benefits and impact on species diversity*. Urban Ecosystems, 21: 615-623.
- Burkhard B., Kandziora M., Hou Y., Müller F., 2014. *Ecosystem service potentials, flows and demand – concepts for spatial localisation, indication and quantification*. Landscape Online 34, 1: 1-32.
- Burkhard B., Kroll F., Nedkov S., Müller F., 2012, *Mapping ecosystem service supply, demand and budgets*, Ecological Indicators, 21, s. 17–29.
- Burkhard B., Kandziora M., Hou Y., Müller F., 2014. *Ecosystem service potentials, flows and demand – concepts for spatial localisation, indication and quantification*. Landscape Online 34, 1: 1-32.
- Coles, R.W., Bussey, S.C., 2000. *Urban forest landscape in the UK – progressing the social agenda*. Landscape and Urban Planning, 52: 181-188.

- Crockford, R.H., Richardson, D.P., 2000. *Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate*. *Hydrological Processes*, 14: 2903-2920.
- Cueva J., Yakouchenkova J., Fröhlich K., Dermann A., Dermann F., Köhler M., Grossmann J., Meier W., Bauhus J., Schröder D., Sardemann G., Thomas C., Carnicero A.R., Saha S., 2022. *Synergies and trade-offs in ecosystem services from urban and peri-urban forests and their implication to sustainable city design and planning*. *Sustainable Cities and Society*, 82: 103903
- Degórski M., Wolski J., Affek A., Degórska B., Kowalska A., Regulska E., Solon J., 2021. *Opracowanie studium przypadku istotnych usług ekosystemów zurbanizowanych w skali regionalnej oraz lokalnej*. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa, 52 s.
- De Luca, C., Libetta, A., Conticelli, E., Tondelli, S., 2021. *Accessibility to and Availability of Urban Green Spaces (UGS) to Support Health and Wellbeing during the COVID-19 Pandemic – The Case of Bologna*. *Sustainability*, 13: 11054.
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P.J., McDonald, R.I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K.C., 2013. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Springer.
- Elmqvist T., Gómez-Baggethun E., Langemeyer J., 2016. *Ecosystem Services Provided by Urban Green Infrastructure*. W: R. Haines-Young, R. Fish, R. Turner (red.), *Routledge Handbook of Ecosystem Services*, Routledge, Abingdon.
- Fisher B., Turner R.K., Morling P., 2009, *Defining and classifying ecosystem services for decision making*, *Ecological Economics*, 68, 3 : 643-653.
- Gassman, P.W., Reyes, M.R., Green, C.H., Arnold, J.G., 2007. *The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions*. *Transactions of the ASABE*, 50: 1211-1250.
- 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.
- Haase, D., Nuissl, H., 2007. *Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy? The case of Leipzig (Germany) 1870-2003*. *Landscape and Urban Planning*, 80: 1-13.
- Holt, A.R., Mears, M., Maltby, L., Warren, P., 2015. *Understanding spatial patterns in the production of multiple urban ecosystem services*. *Ecosystem Services* 16, 33e46.
- Hutcheson, W., Hoagland, P., Jin, D., 2018. *Valuing environmental education as a cultural ecosystem service at Hudson River Park*. *Ecosystem Services*, 31: 387-394.
- Jimenez-Munoz, J.C., Cristobal, J., Sobrino, J.A., Soria, G., Ninyerola, M., Pons, X., 2009. *Revision of the Single-Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval From Landsat ThermalInfrared Data*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47: 339-349.
- Jin, H., Eklundh, L., 2014. *A physically based vegetation index for improved monitoring of plant phenology*. *Remote Sensing of Environment*, 152: 512-525.
- Józefaciuk, C., Józefaciuk, A., 1995. *Erozja agroekosystemów*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska.
- Kammen, D.M., Sunter, D.A., 2016. *City-integrated renewable energy for urban sustainability*. *Science*, 352: 922-928.
- Kothencz, G., Kolcsár, R., Cabrera-Barona, P., Szilassi, P., 2017. *Urban Green Space Perception and Its Contribution to Well-being*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14: 766.
- Kuchcik, M., 2017. *Warunki termiczne w Polsce na przełomie XX i XXI wieku i ich wpływ na umiERALNOŚĆ*. *Prace Geograficzne*, 263, Warszawa: IGiPZ PAN.
- Livesley, S.J., McPherson, G.M., Calfapietra, C., 2016. *The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale*. *Journal of Environmental Quality*, 45: 119-124.

- Lourdes K., Hamel P., Gibbins C., Sanusi R., Azhar B., Lechner A., 2022. *Planning for green infrastructure using multiple urban ecosystem service models and multicriteria analysis*. Landscape and Urban Planning, 226: 104500.
- Maes, J., Paracchini, M., Zulian, G., Dunbar, M., Alkemade, R., 2012. *Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe*. Biol. Conserv. 155: 1-12.
- Maes J., Teller A., Erhard M., Liqueste C., Braat L., Berry P., ... Bidoglio G., 2013, *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services*. An Analytical Framework for Ecosystem Assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020, Luxembourg.
- Maes J., Teller A., Erhard M., Murphy P., Paracchini M.L., Barredo J.I., ..., 2014, *MAES – Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Indicators for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020 (2nd Report – Final, February 2014)*, Technical Report – 2014 – 08, European Union, Luxembourg.
- Maes, J., Zulian, G., Thijssen M., Castell, C., Baró, F., et al. 2016. *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. Urban Ecosystems*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Manes, F., Silli, V., Salvatori, E., Incerti, G., Galante, G., Fusaro, L., Perrino, C., 2014. *Urban ecosystem services: tree diversity and stability of PM10 removal in the metropolitan area of Rome*. Annali di Botanica, 4: 19-26.
- Maruszczak, H., 1991. Denudacja chemiczna. W: L. Starkel (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze* (s. 413-416). Warszawa: PWN.
- Mitchell M.G.E., Suarez-Castro A.F., Martinez-Harms M., Maron M., McAlpine C., Gaston K.J., Johansen K., Rhodes J.R., 2015, *Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services*, Trends in Ecology & Evolution, 30: 190-198.
- Mizgajski A., Stępniewska M., 2009. *Koncepcja świadczeń ekosystemów a wdrażanie zrównoważonego rozwoju*. W: D. Kielczewski, B. Dobrzańska (red.), *Ekologiczne problemy zrównoważonego rozwoju*, Białystok: 12-23.
- Paul, M.J., Meyer, J.L., 2001. *Streams in the urban landscape*. Annual Review of Ecology and Systematics, 32: 333-365.
- Popek, R., Gawrońska, H., Gawroński, S.W., 2015. *The level of particulate matter on foliage depends on the distance from the source of emission*. International Journal of Phytoremediation, 17: 1262-1268.
- Považan, R., Kadlečík, J. (red), Affek, A., Arany, I., Černecký, J., Ďuricová, V., Favilli, F., Lehejček, J., Mederly, P., Švajda, J., 2021. *Pakiet narzędzi Carpathian Ecosystem Services Toolkit. Interreg CENTRAL EUROPE projekt Centralparks „Budowanie zdolności zarządzania obszarami chronionymi w Karpatach w celu integracji i harmonizacji ochrony różnorodności biologicznej i lokalnego rozwoju społeczno-gospodarczego”*, Produkt D.T3.1.3, Państwowa Służba Ochrony Przyrody Republiki Słowackiej, Banská Bystrica, 122 s.
- Przybysz, A., Wińska-Krysiak, M., Małecka-Przybysz, M., Stankiewicz-Kosyl, M., Skwara, M., Kłos, A., Kowalczyk, S., Jarocka, K., Sikorski, P., 2020. *Urban wastelands: On the frontline between air pollution sources and residential areas*. Science of the Total Environment, 721: 137695.
- Puchalski, T., Prusinkiewicz, Z., 1990. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. Warszawa: PWRiL.
- Raudsepp-Hearne C., Peterson G.D., Bennett E.M., 2010. *Ecosystem service bundles for analysing tradeoffs in diverse landscapes*. Proceedings of the National Academy of Sciences.
- Raport, 2021. Raport o stanie miasta: Warszawa 2021. Biuro Strategii i Analiz Urzędu Miasta Stołecznego Warszawy, Warszawa. https://bip.warszawa.pl/NR/rdonlyres/F3107275-D088-4371-9DC4-3BC08DF11F69/1733219/Raportostaniemiasta2021_poprawka.pdf
- Rodríguez-Loinaz G., Alday J.G., Onaindia M., 2015, *Multiple ecosystem services landscape index: A tool for multifunctional landscapes conservation*, Journal of Environmental Management, 147: 152-163.

- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H., Gawronski, S.W., 2012. *Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces*. Science of the Total Environment, 427-428: 347-354.
- Saidi N., Spray C., 2018. *Pakiety usług ekosystemowych: wyzwania i możliwości wdrożenia i dalszych badań*. Listy do badań środowiskowych, 13: 113001.
- Schoonover, J.E., Lockaby, B.G., Helms, B.S., 2006. *Impacts of land cover on stream hydrology in the west Georgia piedmont, USA*. Journal of Environmental Quality, 35: 2123-2131.
- Sikorska, D., Macegoniuk, S., Łaskiewicz, E., Sikorski, P., 2020. *Energy crops in urban parks as a promising alternative to traditional lawns – Perceptions and a cost-benefit analysis*. Urban Forestry & Urban Greening, 49: 126579.
- Skelhorn, C., Lindley, S., Levermore, G., 2014. *The impact of vegetation types on air and surface temperature in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK*. Landscape and Urban Planning, 121: 129-140.
- Solon, J., Roo-Zielińska, E., Affek, A., Kowalska, A., Kruczkowska, B., Wolski, J., Degórski, M., Grabińska, B., Kołaczkowska, E., Regulaska, E., Zawiska, I., 2017. *Świadczenia ekosystemowe w krajobrazie młodogłazajalnym. Ocena potencjału i wykorzystania*. Wydawnictwo Akademickie SEDNO Spółka z o.o. 472 s.
- Spangenberg J. H., von Haaren C., Settele J., 2014. *The ecosystem service cascade: Further developing the metaphor. Integrating societal processes to accommodate social processes and planning, and the case of bioenergy*, Ecological Economics 104: 22-32, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.025>.
- Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego m.st. Warszawy*, 2006. Warszawa. <https://architektura.um.warszawa.pl/-/studium-uwarunkowan-i-kierunkow-zagospodarowania-przestrzennego-warszawy>
- Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego m.st. Warszawy. Uwarunkowania*. 2020. Miejska Pracownia Planowania Przestrzennego i Strategii Rozwoju. Warszawa, maszynopis.
- Syrbe R.-U., Walz U., 2012, *Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics*, Ecological Indicators, 21: 80-88
- TEEB, 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and economic foundation*, Cambridge.
- Tu, J., Xia, Z.-G., Clarke, K.C., Frei, A., 2007. *Impact of urban sprawl on water quality in Eastern Massachusetts, USA*. Environmental Management, 40: 183-200.
- Turkelboom F., Thoonen M., Jacobs S., García-Llorente M., Martín-López B., Berry P., 2016, *Ecosystem service trade-offs and synergies*, W: Potschin M.B., Jax K. (red.), *OpenNESS Ecosystem Services Reference Book*. EC FP7 Grant Agreement No. 308428.
- Turner K.G., Vestergaard Odgaard M., Bøcher P.K., Dalgaard T., Svenning J.-C., 2014, *Bundling ecosystem services in Denmark: Trade-offs and synergies in a cultural landscape*, Landscape and Urban Planning, 125: 89-104.
- Weinbrenner, H., Breithut, J., Hebermehl, W., Kaufmann, A., Klinger, T., Palm, T., Wirth, K., 2021. *“The Forest Has Become Our New Living Room” – The Critical Importance of Urban Forests During the COVID-19 Pandemic*. Frontiers in Forests and Global Change, 4: 672909.
- Yang, G., Ge, Y., Xue, H., Yang, W., Shi, Y., Peng, C., Du, Y., Fan, X., Ren, Y., Chang, J., 2015. *Using ecosystem service bundles to detect trade-offs and synergies across urban-rural complexes*. Landscape and Urban Planning 136: 110-121.
- Yu, Z., Yang, G., Zuo, S., Jørgensen, G., Koga, M., Vejre, H., 2020. *Critical review on the cooling effect of urban blue-green space: A threshold size perspective*. Urban Forestry and Urban Greening, 49: 126630.
- Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., Van Eupen, M., 2017. *Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning*. Ecosystem Services, 26: 225-235.