

Damian Łowicki*

Rozdział 8

Usługi ekosystemowe na poziomie krajobrazu

1. Znaczenie rozpoznania korzyści wynikających z dystrybucji przestrzennej różnych ekosystemów

Głównym celem rozdziału jest przedstawienie możliwości oceny i mapowania usług ekosystemowych z uwzględnieniem korzyści nie z pojedynczych ekosystemów, ale z ich dystrybucji w przestrzeni. Podejście to powstało na gruncie ekologii krajobrazu i jednego z jej paradygmatów mówiącego o tym, że struktura krajobrazu determinuje jego funkcje (Forman, Godron 1986). Bardzo istotne było opisanie przez McGarigal i in. (2000) znaczenia różnych charakterystyk kompozycji i konfiguracji krajobrazu dla jego funkcjonowania. Usługi rozpatrywane na poziomie krajobrazowym to zatem nie to samo co usługi krajobrazowe, które są usługami kulturowymi związanymi z właściwościami ekosystemów umożliwiającymi doznania estetyczne i warunkującymi zdrowie psychiczne i fizyczne, bierne i czynne odczuwanie przyjemności oraz społeczne i osobiste spełnienie (Vallés-Planells i in. 2014). W zaproponowanym ujęciu jest to metoda oceny usług, której podmiotem może być każdy ekosystem i dowolne usługi lub ich wiązki. Istotą tego podejścia jest odwzorowanie zależności struktura–proces, co ułatwia ocenę wpływu zmian w pokryciu terenu na funkcje i usługi ekosystemów, a to może mieć przełożenie na praktykę planistyczną. Analiza usług ekosystemowych na poziomie krajobrazu jest szczególnie istotna w ocenie usług regulacyjnych. Największy potencjał do wykorzystania w ujęciu krajobrazowym mają dwa działy klasyfikacji CICES: „Przekształcanie biochemicznych lub fizycznych czynników wprowadzanych do ekosystemów (np. ograniczanie hałasu)” oraz „Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych (np. zapylenie)”. Wykorzystanie tego podejścia istotne jest zwłaszcza tam, gdzie nośnik usługi jest mobilny. Dotyczy to na przykład migracji zanieczyszczeń pomiędzy ekosystemami (Łowicki 2012) lub przemieszczania się zapyłaczy pomiędzy miejscami gniazdowania

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej,
Zakład Geografii Kompleksowej

* damian.lowicki@amu.edu.pl

i żerowania (Łowicki, Fagiewicz 2021). Obok usług regulacyjnych podejście krajobrazowe jest bardzo istotne w ocenie wizualnych walorów otoczenia, zwłaszcza dla działu CICES: „Bezpośrednie interakcje, in situ i w terenie, z systemami biologicznymi, zależne od ich obecności w warunkach naturalnych”. Dla atrakcyjności krajobrazowej i turystycznej istotne są relacje pomiędzy różnymi typami pokrycia terenu, w tym wytworami kultury. W tym ujęciu ważne są usługi, których znaczenie lokuje się pomiędzy usługami regulacyjnymi a kulturowymi. Chodzi przede wszystkim o usługę kształtowania widoku, polegającą na ograniczeniu przez ekosystemy negatywnego wizualnego oddziaływania mało estetycznych budynków i instalacji. Tutaj ważna jest nie tyle sama obecność ekosystemu, ile jego położenie względem obiektów zakłócających harmonię krajobrazu. Konieczność rozpatrywania usług zaopatrzeniowych na poziomie krajobrazowym jest dużo mniejsza, ponieważ wielkość zasobów, takich jak drewno w leśnictwie czy plony w rolnictwie, zależą przede wszystkim od wkładu człowieka, w tym zastosowanej technologii i praktyki w obrębie jednego typu ekosystemu. Stworzenie jednolitej bazy danych dla różnych typów ekosystemów umożliwia mapowanie usług na poziomie krajobrazu oraz ułatwia ocenę usług alternatywnych dla danego ekosystemu. To z kolei pozwala na tworzenie scenariuszy zmian wielkości usług wywołanych zmianami np. użytkowania ziemi lub klimatycznymi.

2. Wskaźniki i źródła danych

Dużym wyzwaniem dla zastosowania podejścia krajobrazowego w ocenie usług ekosystemowych jest konieczność zebrania danych dla różnych typów ekosystemów, a następnie ich dopasowanie pod względem aktualności i dokładności. Wykorzystanie różnych danych kartograficznych pozwala na konstruowanie złożonych wskaźników uwzględniających zależności przestrzenne pomiędzy ekosystemami dla poszczególnych usług. Ich przykłady zawiera tabela 1.

Specyfiką podejścia krajobrazowego jest konieczność posiadania danych przestrzennych w postaci wektorowej. Dane te powinny być dopasowane do skali, w jakiej chcemy mapować usługi ekosystemowe. Coraz większa ilość danych oraz ich dostępność umożliwia ocenę usług ekosystemowych na poziomie krajobrazowym w skalach od lokalnej, poprzez regionalną, do skali kontynentu. Przykłady bezpłatnych danych wraz z przykładami ich wykorzystania w analizie usług ekosystemowych przedstawia tabela 2.

Na poziomie lokalnym możliwe jest zebranie danych w terenie, a także wektoryzacja map analogowych lub udostępnionych w postaci usługi przeglądania WMS lub WMTS. W tej skali przestrzennej można też wykorzystać mapy topograficzne w skalach 1:10 000, a w niektórych przypadkach także mapy tematyczne w skali 1:50 000. Bardzo przydatne dla wielu zastosowań są wektorowe dane bazy BDOT10k, które są systematycznie aktualizowane. Zawierają one dane sporządzone według jednolitej metodyki dla całej Polski. Dla oceny usług ekosystemowych szczególnie przydatna jest warstwa pokrycia terenu. Mapy tematyczne w skali 1:50 000, takie jak mapa hydrograficzna, hydrogeologiczna czy

Tabela 1. Przykłady wskaźników dla usług ekosystemowych rozpatrywanych na poziomie krajobrazu (nazwy i kody z klasyfikacji CICES wer. 5.1)

Kod	Klasa	Miernik	Wskaźnik
2.1.1.2	Filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta	filtracja pyłu zawieszonego przez tereny zieleni przydrożnej	<ul style="list-style-type: none"> - powierzchnia terenów zieleni w pobliżu dróg - pojedyncze krzewy i drzewa (położenie, gatunek i średnica korony) - średnie roczne stężenie PM10
2.1.2.2	Tłumienie hałasu	redukcja hałasu przez tereny zieleni przydrożnej	<ul style="list-style-type: none"> - powierzchnia terenów zieleni w pobliżu dróg - pojedyncze krzewy i drzewa (położenie, gatunek i średnica korony) - liczba mieszkańców na terenach z przekroczeniem norm hałasowych
2.1.2.3	Kształtowanie widoku	krajobraz oglądany z dróg	<ul style="list-style-type: none"> - powierzchnia pola widokowego z punktów zlokalizowanych na głównych drogach - powierzchnia elementów zakłócających harmonię krajobrazu w polu widzenia - powierzchnia elementów krajobrazu najmniej przekształconych w polu widzenia
2.2.2.1	Zapylenie (lub rozsiewanie „gamet” w kontekście morskim)	potencjał dla zapyłaczy	<ul style="list-style-type: none"> - zasoby kwiatowe - dostępność miejsc do gniazdowania - zależności przestrzenne (model InVEST Pollination)
2.2.2.3	Utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej)	strefy dzikiej przyrody	<ul style="list-style-type: none"> - powierzchnia lasów o najwyższym stopniu naturalności (N1 w Instrukcji Urządzania Lasu) - odległość do dróg, kolei oraz terenów zabudowanych - pokrycie terenu w pobliżu lasów - powierzchnia form ochrony przyrody
2.2.3.1	Przeciwdziałanie gradacji szkodników (w tym gatunków inwazyjnych)	siedliska drapieżników zwalczających szkodniki na terenach rolnych	<ul style="list-style-type: none"> - powierzchnia i kształt zadrzewień śródpolnych - powierzchnia gruntów ornych
2.2.6.2	Regulacja temperatury i wilgotności, w tym przewietrzania i transpiracji	obniżanie temperatury przez tereny zieleni przydrożnej	<ul style="list-style-type: none"> - powierzchnia terenów zieleni w pobliżu dróg - pojedyncze krzewy i drzewa (położenie, gatunek i średnica korony) - temperatura powierzchni ziemi (LST)
3.1.2.4	Cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne	zróżnicowanie krajobrazu	<ul style="list-style-type: none"> - rozwinięcie rzeźby (stosunek powierzchni 3D do 2D) - zróżnicowanie form pokrycia terenu (Shannon Diversity Index)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Otwarte źródła danych wektorowych wraz z przykładami ich wykorzystania w ocenie usług ekosystemowych na poziomie krajobrazu

Skala	Źródło danych	Dysponent danych	Wskaźnik	Przykładowe usługi ekosystemowe
lokalna	SIP Poznań – geoserwy fotogrametria i środowisko http://www.sip.geopoz.pl/sip/	Miasto Poznań	pojedyncze krzewy i drzewa (położenie, gatunek i średnica korony)	tłumienie hałasu; kształtowanie widoku; ochrona przed silnym wiatrem
lokalna	SIP Poznań – mapa akustyczna http://www.sip.geopoz.pl/sip/	Miasto Poznań	wskaźnik M – iloraz przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu i liczby mieszkańców na danym terenie	tłumienie hałasu (zapotrzebowanie)
lokalna	Dane GIOŚ dotyczące stężeń pyłu zawieszonego PM10 https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/archives	GIOŚ	średnie roczne stężenie PM10	filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta (zapotrzebowanie)
lokalna	Mapa hydrograficzna https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2.html	GUGIK	przepuszczalność gruntów	filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta; zapylenie
lokalna	Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) http://www.gugik.gov.pl/pzgik/inne-dane-udostepniane-bezplatnie	GUGIK	powierzchnia i rodzaj pola widokowego z punktów zlokalizowanych na głównych drogach	kształtowanie widoku
lokalna	Zdjęcia satelitarne Landsat 8 https://earthexplorer.usgs.gov/	USGS, Landsat Science Products	temperatura powierzchniowa	regulacja temperatury i wilgotności, w tym przewietrzania i transpiracji
lokalna	Geobaza GDOŚ http://geoserwis.gdos.gov.pl/mapy/	GDOŚ	formy ochrony przyrody	utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej); cechy systemów biologicznych, które umożliwiają działania edukacyjne oraz szkoleniowe

Skala	Źródło danych	Dysponent danych	Wskaźnik	Przykładowe usługi ekosystemowe
lokalna regionalna krajowa	BDOT10k (zwłaszcza warstwy pokrycia terenu) http://www.gugik.gov.pl/pzgifk/inne-dane-udostepniane-bezplatnie	GUGIK	powierzchnia terenów zieleni w pobliżu dróg	filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta; kształtowanie widoku; tłumienie hałasu; zapyłanie; ochrona przed silnym wiatrem
lokalna regionalna krajowa	Geologia i hydrogeologia https://dm.pgi.gov.pl/	PIG-PIB	obszary zagrożone powodzią od wód gruntowych (podtopienia)	filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta
lokalna regionalna krajowa	Numeryczny Modelu Terenu http://www.gugik.gov.pl/pzgifk/inne-dane-udostepniane-bezplatnie	GUGIK	rozwnięcie rzeźby (stosunek powierzchni 3D do 2D)	cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne; przeciwdziałanie erozji
lokalna regionalna krajowa	Leśna Mapa Numeryczna – wydzielienia https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/mapy	Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej	strefy dzikiej przyrody	utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej)
lokalna regionalna krajowa	Zadrzewienia śródpolne (ang. <i>Small Woody Features</i>) https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/small-woody-features/small-woody-features-2015	EEA – Copernicus	położenie, wielkość strefy rdzeniowej i długość strefy śródpolnych	przeciwdziałanie gradacji szkodników (w tym gatunków inwazyjnych)
lokalna regionalna krajowa	Uszczelnienie gruntu (ang. <i>Imperviousness</i>) https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness	EEA – Copernicus	zdolność do pochłaniania wód opadowych	regulacja cykli hydrologicznych i przepływów (w tym przeciwdziałanie powodzi i ochrona wybrzeża)
lokalna regionalna krajowa	Corine Land Cover https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/cic2018	EEA – Copernicus	pokrycie terenu	filtracja/sekwestracja/magazynowanie/akumulacja przez mikroorganizmy, glony, rośliny i zwierzęta; kształtowanie widoku; zapyłanie; cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne

Źródło: opracowanie własne.

sozologiczna, dostępne są tylko w części w postaci wektorowej i nie pokrywają one całego kraju. Ich wykorzystanie wymaga też kontroli aktualności danych. Dane dotyczące przepuszczalności gruntów z mapy hydrograficznej w połączeniu z danymi o pokryciu terenu mogą posłużyć np. do oceny potencjału do zapyłania na podstawie oceny wielkości zasobów kwiatowych oraz dostępności miejsc do gniazdowania zapyłaczy. Ważne informacje zawierają bazy geologiczna i hydrogeologiczna, prowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny. W badaniach w skali lokalnej warto poszukać też danych udostępnianych przez jednostki samorządu terytorialnego lub ich związki. Coraz więcej miast, powiatów i gmin, a także aglomeracji i województw, tworzy własne systemy informacyjne. Niekiedy pozwalają one na pobieranie danych wektorowych. Przykładowo System Informacji Przestrzennej miasta Poznania umożliwia wykorzystanie m.in. bardzo precyzyjnych danych fotogrametrycznych oraz danych z inwentaryzacji terenowych np. w odniesieniu do położenia, gatunku i wielkości drzew. Takie dane pozwalają na ocenę wielu usług ekosystemowych, w tym tłumienie hałasu, kształtowanie widoku czy ochrona przed silnym wiatrem. Cenne informacje dostarczają mapy sporządzane do dokumentów programowych, np. mapy akustyczne dla dużych miast, głównych dróg i linii kolejowych oraz lotnisk, na których znaleźć można informacje o budynkach i zamieszkujących je mieszkańcach narażonych na ponadnormatywny hałas. Połączenie danych na temat hałasu z danymi o zieleni pozwala np. na ocenę roli zieleni przydrożnej w tłumieniu hałasu.

Inne dane, które można wykorzystać w skali lokalnej, to dane z Banku Danych o Lasach. Dane wektorowe udostępniane są dla lasów zarządzanych przez Lasy Państwowe w całej Polsce. Informacje o stanie siedliska, w połączeniu z informacjami o wielkości kompleksu i jego otoczeniu, pozwalają np. na wyznaczenie stref dzikiej przyrody, pełniących usługę utrzymywania matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (patrz ramka).

W skali regionalnej, krajowej i europejskiej potencjał dla analiz krajobrazowych ma mapa pokrycia terenu CORINE. Możliwość jej wykorzystania dotyczy przede wszystkim zasięgu ogólnoeuropejskiego oraz zmian w czasie. Mapa ta jest prowadzona od 1990 r. i istnieje już 5 jej edycji. Ograniczeniem jest minimalna powierzchnia wydzielenia, która dla obiektów poligonowych wynosi 25 ha, a dla liniowych 100 m. Inne źródła danych o zasięgu europejskim lub nawet światowym to np. zdjęcia satelitarne czy numeryczny model pokrycia terenu wykonany z wykorzystaniem danych LIDAR (Light Detection and Ranging) z lotniczego skanowania laserowego ALS (Airborne Laser Scanning). Inny przykład to dane z Europejskiego Programu Obserwacji Ziemi Copernicus, dostępne dla wszystkich krajów UE. Przykładem mogą być mapy Funkcjonalnych Obszarów Miejskich (FUAs), które pozwoliły Morando i in. (2022) na ocenę roli zielonej infrastruktury w regulacji temperatury w 601 europejskich miastach. W zakresie bioróżnorodności dane z tego programu to np. ekosystemy terenów podmokłych czy gatunki inwazyjne. Do oceny usług na poziomie krajobrazowym zarówno dla całej Europy, jak i w skali lokalnej mogą być przydatne warstwy o wysokiej rozdzielczości dotyczące uszczelnienia gruntu, lasów, wód, łąk i zadrzewień śródpolnych. Do produkcji tych map wykorzystano różnorodne obrazy satelitarne o wysokiej

Rozmieszczenie i wielkość obszarów dzikiej przyrody jako wskaźnik poziomu usługi ekosystemowej 2.2.2.3 – utrzymywanie matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej)

Cele

Celem badań jest wyznaczenie obszarów dzikiej przyrody wraz z oceną ich udziału na obszarach Natura 2000. Jest to istotny wskaźnik wielkości usługi 2.1.2.3, czyli utrzymywania matecznych populacji organizmów oraz siedlisk (w tym ochrona puli genowej). Obszary dzikiej przyrody nie są wyraźnie wymienione w Dyrektywach Ptasiej i Siedliskowej UE, ale stosowanie podejścia opartego na dzikiej przyrodzie w zarządzaniu obszarami Natura 2000 jest postrzegane jako zgodne z przepisami tych dyrektyw. Ponadto dowody naukowe pokazują, że obszary dzikiej przyrody są odporne na presję wpływającą na bioróżnorodność i należy je uznać za ważne narzędzie pomagające osiągnąć cele w zakresie bioróżnorodności. Obszary te, chroniąc różnorodność biologiczną, zapewniają cały szereg usług ekosystemowych i są ich rezerwuarem w przypadku różnych katastrof ekologicznych. Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto więc następującą definicję obszarów dzikiej przyrody: obszary leśne o naturalnym charakterze, położone z dala od infrastruktury drogowej i zabudowy, o powierzchni, która umożliwi ich kształtowanie wyłącznie lub niemal wyłącznie przez naturalne procesy przyrodnicze. Pierwotność lasu nie jest tu więc koniecznym warunkiem, obszary dzikiej przyrody mogą być przekształcone przez ekstensywną gospodarkę leśną.

Materiały i metody

Obszary dzikiej przyrody wyłoniono w oparciu o następujące wskaźniki:

- Niezakłócony spokój: odległość do zabudowy min. 1000 m, dróg min. 1000 m i kolei min. 500 m. Dane pochodziły z bazy BDOT.
- Naturalność: kategoria naturalny (N1), zgodnie z tabelą „Stan siedliska”, zamieszczoną w „Instrukcji wyróżniania i kartowania w Lasach Państwowych typów siedliskowych lasu oraz zbiorowisk roślinnych”.
- Wielkość: wszystkie kompleksy leśne o powierzchni min. 5000 ha oraz te o powierzchni 2000–5000 ha, pod warunkiem że ich otoczenie (bufor 1000 m) ma charakter półnaturalny (tylko inne lasy, wody i łąki). Dane o pokryciu terenu wokół kompleksu leśnego pochodziły z BDOT.

Wyniki

Na terenie Polski zidentyfikowano 20 obszarów dzikiej przyrody (rycina na następnej stronie). Wszystkie znajdują się w obrębie obszarów Natura 2000, głównie PLB. Ich ogólna powierzchnia wynosi 1285 km², to jest 1,17% powierzchni lasów w Polsce oraz 0,41% terytorium Polski. Największą powierzchnię obszarów dzikiej przyrody zidentyfikowano w województwie podkarpackim, w sumie 286 km². Są to głównie kompleksy leśne w Bieszczadach.

Drugi co do wielkości areał kompleksów leśnych zakwalifikowanych jako obszary dzikiej przyrody znajduje się w województwie lubuskim (234 km²). Ponad połowa jego powierzchni położona jest na terenie Puszczy Noteckiej.

Obszary dzikiej przyrody w Polsce



Legenda

Granice województw



Lasy



Natura 2000



Obszary dzikiej przyrody



OSO

SOO

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Autor: Damian Łowicki

Źródło: Opracowanie własne na podstawie BDL, BDOO i Geoserwis GDOŚ

0 35 70 140
km

Obszary dzikiej przyrody na terenie Polski
Źródło: Łowicki (aneks 8.1).

rozdzielczości, w tym Sentinel 1 i Sentinel 2 oraz Landsat 8. Niektóre z tych produktów (np. uszczelnienie gruntu) mają rozdzielczość przestrzenną nawet 10 m (np. lasy) i obejmują kilka szeregów czasowych. Dane te, zarówno surowe, jak i poddane analizie z użyciem metryk krajobrazowych, mogą być użyte do oceny i mapowania usług ekosystemowych na poziomie krajobrazu, np. mapa zadrzewień może posłużyć do oceny potencjału do przeciwdziałania gradacji szkodników na użytkach rolnych (patrz ramka poniżej).

Potencjał oraz zapotrzebowanie na usługę ekosystemową 2.2.3.1 – przeciwdziałanie gradacji szkodników (w tym gatunków inwazyjnych)

Cele

Celem badań jest ocena potencjału półnaturalnych ekosystemów do przeciwdziałania gradacji szkodników (2.2.3.1). Naturalne zwalczanie szkodników, określane również jako „kontrola liczebności szkodników”, „regulacja szkodników”, „biokontrola” lub „kontrola biologiczna”, jest ważną usługą regulacyjną wspierającą produkcję roślinną. W intensywnie zarządzanych krajobrazach rolniczych ochrona roślin opiera się w dużej mierze na środkach chemicznych, co zwiększa koszty produkcji i zanieczyszczenie środowiska, wywierając m.in. negatywny wpływ na bioróżnorodność (Tschumi i in. 2015). Wzmocnienie naturalnej kontroli szkodników może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego przy jednoczesnym zmniejszeniu presji na bioróżnorodność i środowisko. Przyjęto, że czynnikiem decydującym o wielkości usługi jest obecność w krajobrazie rolniczym siedlisk półnaturalnych (ang. *Semi Natural Habitats*, SNH). Mają one kluczowe znaczenie dla wspierania naturalnych wrogów szkodników, zapewniając im siedlisko i alternatywne pożywienie. Różne typy SNH mają różny potencjał dostarczania takich korzyści (Holland i in. 2016). Zdolność do wspierania naturalnych wrogów szkodników zależy od złożoności krajobrazu, tj. liczby SNH i ich rozmieszczenia. Złożoność krajobrazu w tym przypadku jest powszechnie mierzona jako stosunek powierzchni SNH do powierzchni pól uprawnych w pewnym promieniu, zwykle 500–1000 m (Rusch i in. 2016). Efektywność SNH zależy też od ich kształtu. Decyduje tu przede wszystkim długość strefy ekotonowej, przy czym jej oddziaływanie jest większe w obiektach powierzchniowych niż liniowych (Moonen i in. 2016).

Materiały i metody

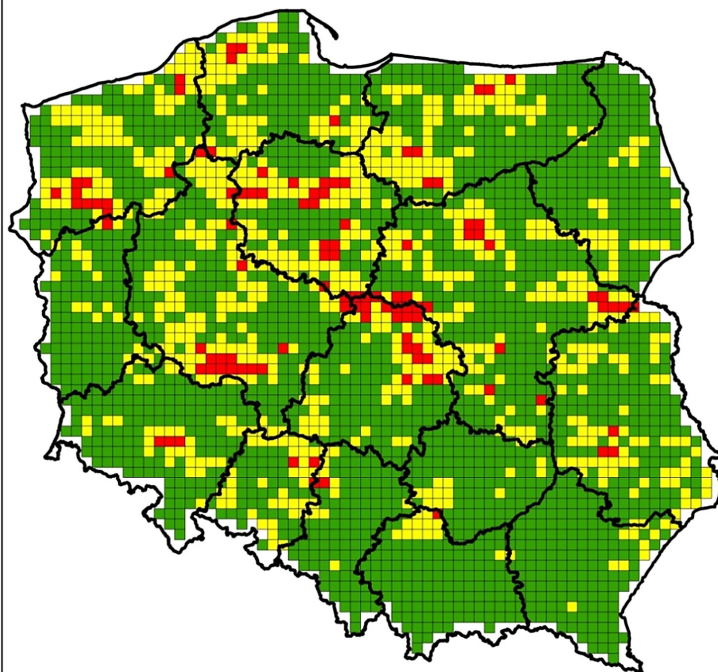
W celu zmapowania usługi posłużono się następującymi wskaźnikami:

- Potencjał dla usługi – obecność siedlisk półnaturalnych (SNH). Wykorzystano dane wysokiej rozdzielczości utworzone w ramach Europejskiego Programu Obserwacji Ziemi Copernicus na temat małych obiektów leśnych (ang. *Small Woody Features*). Obiekty te zostały zaklasyfikowane do

dwóch grup: obiekty liniowe i powierzchniowe. Dodatkowo spośród obiektów powierzchniowych wyodrębniono strefy brzegowe i rdzeniowe.

- Zapotrzebowanie na usługę – udział gruntów ornych. Wykorzystano bazę CLC2018, kategorię 211 – grunty orne.
- Stosunek zapotrzebowanie/potencjał – określa te obszary, na których potrzeba podjęcia działań jest najpilniejsza.

Bilans regulacji szkodników



Legenda

Granice województw



Potrzeby ochrony półnaturalnych siedlisk

- niskie (green square)
- średnie (yellow square)
- wysokie (red square)

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Autor: Damian Łowicki

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Copernicus, CLC2018 and BDOO

0 35 70 140
km

Bilans potrzeb w zakresie przeciwdziałania gradacji szkodników
Źródło: Łowicki (aneks 8.1).

Wyniki

Średni udział SNH w siatce kwadratów 10×10 km wyniósł 1,42%, jego maksymalna wartość 8,09%, a minimalna 0,03%. W odniesieniu do województw największy udział zadrzewień miały cztery województwa Polski południowej: małopolskie, dolnośląskie, śląskie i podkarpackie (rycina na poprzedniej stronie). Najmniejsze udziały mają województwa centralnej i północno-zachodniej Polski, głównie: zachodniopomorskie, lubuskie, kujawsko-pomorskie i pomorskie. Najbardziej niekorzystny bilans, a co za tym idzie – największe potrzeby ochrony lub tworzenia zadrzewień, prezentują województwa kujawsko-pomorskie, opolskie, wielkopolskie i łódzkie. Wśród regionów o największych deficytach wyróżniają się Wysoczyzna Kaliska w województwie wielkopolskim oraz Wysoczyzna Kłódawska i Równina Kutnowska na pograniczu województw: wielkopolskiego, kujawsko-pomorskiego, mazowieckiego i łódzkiego. Bardzo niekorzystnym bilansem charakteryzuje się również Pojezierze Chełmińskie w województwie kujawsko-pomorskim.

Większość dostępnych materiałów kartograficznych zawiera informacje tylko o potencjale do pełnienia usług. Ocena rzeczywistego przepływu usług, zwłaszcza regulacyjnej, a także zapotrzebowania na tę usługę, wymaga zebrania czasem bardzo szczegółowych danych monitoringowych. Szczególnie istotne są dane GIOŚ, GDOŚ, PIG i IMGW. W odniesieniu do lasów pomocny może być np. Monitoring Lasów w Polsce w zakresie np. różnorodności gatunkowej runa leśnego lub Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego np. w zakresie hydrobiologii rzek. Niestety tylko część tych danych dostępna jest w postaci wektorowej lub takiej, która nadaje się do przetworzenia, stąd ich wykorzystanie do analiz w małych skalach przestrzennych nie zawsze jest możliwe. Część informacji możemy pozyskać z map pokrycia terenu, np. powierzchnia gruntów ornych jako wskaźnik zapotrzebowania na usługę zapyłania lub regulacji liczebności szkodników. Wiele informacji na temat zapotrzebowania zawiera system monitoringu zarówno lokalnego, jak i krajowego. Baza danych GIOŚ dotycząca stężeń pyłu zawieszonego PM10 i PM2.5, zawierająca dane ze wszystkich stacji monitoringowych w kraju, może posłużyć np. do oceny zapotrzebowania na usługi terenów zieleni w zakresie pochłaniania zanieczyszczeń (Łowicki 2019). Informacje na temat zapotrzebowania na usługę obniżania temperatury znajdują się na zdjęciach satelitarnych, na podstawie których możliwa jest ocena temperatury powierzchniowej (Lupa 2020). Możliwości oszacowania zapotrzebowania na usługi daje też system statystyczny, który jest dostępny w ujęciu gminnym, ale możliwe jest jego uszczegółowienie w oparciu o mapę, np. rozmieszczenie i powierzchnia budynków pozwala nam wnioskować o zagęszczeniu ludności.

3. Modelowanie usług i wsparcie decydentów w podejmowaniu decyzji

Decydenci zarządzający gruntami, od rządów, poprzez organizacje non profit po korporacje, muszą oceniać korzyści z różnych typów zagospodarowania. Podejmowanie decyzji planistycznych zgodnych ze zrównoważonym rozwojem wymaga po pierwsze uwzględnienia odpowiednio dużego obszaru, a po drugie ustalenia potencjalnego wspierania się lub kolizji pomiędzy różnymi usługami. To z kolei wymaga silnego systemu planowania przestrzennego, zwłaszcza na poziomie ponadlokalnym, dostępu do danych oraz dużych kompetencji planistów w zakresie oceny wpływu różnego typu zagospodarowania na środowisko i jakość życia człowieka. Potrzebny jest system wsparcia pokazujący interakcje pomiędzy różnymi typami użytkowania gruntów na poziomie krajobrazu. Taki system powinien zawierać między innymi specjalistyczne oprogramowanie komputerowe umożliwiające przetwarzanie i analizę dużej ilości danych przestrzennych. Podstawą są programy GIS, które wraz z dodatkowymi narzędziami pozwalają na opis i ocenę struktury krajobrazu pod kątem jego funkcji i korzyści dla człowieka. Jednym z najstarszych i najbardziej popularnych programów jest Fragstats. Ten darmowy niezależnie funkcjonujący program oferuje możliwość wyliczenia całego szeregu metryk krajobrazowych, w tym różnych metryk powierzchni, gęstości, rozmiaru i zmienności, krawędzi, kształtu, obszaru rdzenia, różnorodności oraz przenikania i najbliższego sąsiada. Istnieją dwie jego wersje, jedna bazuje na plikach wektorowych, druga na rastrowych. Jest też dostępny podręcznik opisujący znaczenie poszczególnych metryk w ekologii krajobrazu. Program znajduje wiele zastosowań w ochronie środowiska (Zwierzchowska i in. 2010). Sposoby jego wykorzystania w ocenie usług ekosystemowych przedstawia kolejna ramka. Podobne możliwości dają narzędzia kompatybilne z programami GIS. Najbardziej popularne rozszerzenia do ArcGis to Patch Analyst, Hawth's Analysis Tools, Geospatial Modelling Environment oraz V-LATE.

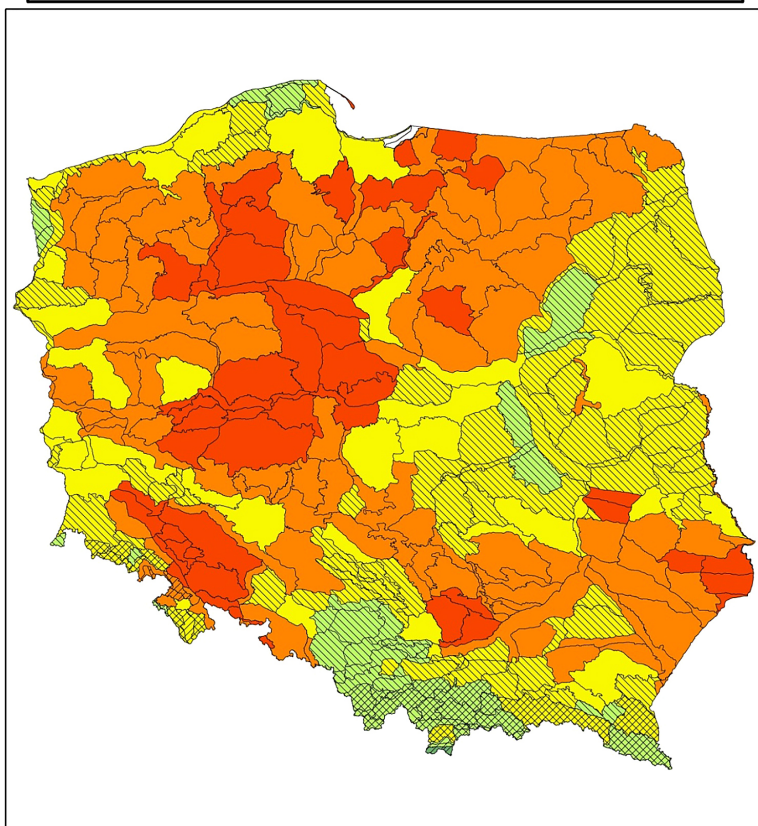
Zróżnicowanie krajobrazu w mezoregionach Polski jako wskaźnik poziomu usługi ekosystemowej 3.1.2.4 – cechy systemów biologicznych umożliwiające doznania estetyczne

Cele

Celem badań jest ocena zróżnicowania krajobrazu w mezoregionach Polski, które jest wskaźnikiem cech systemów biologicznych umożliwiających doznania estetyczne (3.1.2.4). Przyjęto, że najlepszym wskaźnikiem potencjału do dostarczenia doznań estetycznych wynikających z cech ekosystemów w skali Polski jest zróżnicowanie krajobrazu w aspekcie pokrycia terenu i rzeźby. Przyjęto, że zróżnicowanie pokrycia terenu może być wskaźnikiem zróżnicowania ekosystemowego, chociaż siła i charakter tego związku są różne w zależności od zróżnicowania siedliskowego badanego terenu i skali, w jakiej prowadzone

są badania (Solon 2002). Połączenie cech pokrycia terenu i rzeźby oddaje zmienność wizualno-estetyczną krajobrazu. Obie cechy są często używane do oceny krajobrazu (np. Śleszyński 2021). Czasem bywają wykorzystywane do oceny usług regulacyjnych, najczęściej zagrożenia erozją, ale także rozprzestrzeniania się epidemii (np. Hieronimo i in. 2014).

Zróźnicowanie krajobrazu



Legenda

Granice mezoregionów



Największe zróźnicowanie pokrycia terenu



Największe zróźnicowanie rzeźby



Zróźnicowanie krajobrazu

Bardzo niskie

Niskie

Przeciętne

Duże

Bardzo duże

Iceland
Liechtenstein
Norway grants



Autor: Damian Łowicki

Źródło: Opracowanie własne na podstawie CLC2018, NMT i podziału fizycznogeograficznego Polski

0 35 70 140 km

Zróźnicowanie krajobrazu w mezoregionach Polski
Źródło: Łowicki (aneks 8.1).

Materiały i metody

Przyjęto, że najważniejszymi cechami ekosystemów umożliwiającymi doznania estetyczne są:

- Rozwinięcie rzeźby. Jest to wskaźnik określający stosunki hipsometryczne na podstawie porównania powierzchni rzeczywistej do rzutowanej. Oznacza stopień odchylenia powierzchni rzeczywistej od płaszczyzny. Zastosowano do tego celu Numeryczny Model Terenu w postaci modelu w formie regularnej siatki kwadratów (grid) o wymiarach 1 m.
- Zróżnicowanie form pokrycia terenu. Wykorzystano tu wskaźnik różnorodności Shannona (*Shannon Diversity Index*, SHDI). Jako danych wejściowych użyto wszystkich typów pokrycia terenu ujętych w bazie Corine Land Cover 2018. Obliczenia wskaźnika SHDI dokonano w programie Fragstats.
- Jako pole podstawowe analiz wykorzystano granice mezoregionów zawarte w regionalizacji fizycznogeograficznej Polski opracowanej przez Solona i in. (2018) w skali 1:50 000. Jest to modyfikacja regionalizacji opracowanej przez prof. Jerzego Kondrackiego.

Wyniki

Zdecydowanie największe zróżnicowanie krajobrazu obserwujemy w Tatrach (rycina na poprzedniej stronie). Jest to efektem ukształtowania rzeźby. Inne regiony o wysokim zróżnicowaniu to Beskidy Zachodnie, Kotlina Oświęcimska i Wyżyna Śląska. Spośród nizin wyróżnia się Nizina Środkowomazowiecka, zwłaszcza Równina Kozienicka, Dolina Dolnej Pilicy, Dolina Dolnego Bugu oraz Równina Warszawska. W obrębie Niziny Północnomazowieckiej wymienić trzeba Międzyrzecze Łomżyńskie. Na wybrzeżu największym zróżnicowaniem krajobrazu cechuje się Pobrzeże Koszalińskie, zwłaszcza Wybrzeże Słowińskie, Wysoczyzna Choczewska oraz Pradolina Redy–Łeby. Najbardziej monotony krajobraz zarejestrowano w regionach rolniczych zachodniej i północnej Polski, głównie na Pojezierzu Wielkopolskim i Pojezierzu Południowopomorskim, ale też np. na Przedgórzu Sudeckim. Jeśli chodzi o samo pokrycie terenu, to największą różnorodnością odznacza się wschód i południe Polski, zwłaszcza Karpaty. Najwyższe wartości tej cechy wskaźnik SHDI wykazał dla Niziny Południowopodlaskiej i Niziny Północnopodlaskiej, Polesia Zachodniego, a także Beskidów, Obniżenia Orawsko-Podhalańskiego oraz Kotliny Oświęcimskiej i Wyżyny Śląskiej.

W ostatnich kilkunastu latach przybyło też narzędzi, które pozwalają na tworzenie możliwych scenariuszy dotyczących usług ekosystemowych. Pierwsza ich grupa bazuje na gotowych danych wejściowych odnoszących się do użytkowania ziemi i biorąc pod uwagę sąsiedztwo różnych typów użytkowania, ocenia skutki procesów, takich jak wylesianie, degradacja i porzucanie gruntów czy urbanizacja. Narzędzia te na podstawie użytkowania ziemi i scenariuszy jego zmian

umożliwiają ocenę jakości wód, bioróżnorodności, estetyki otoczenia czy plonów w rolnictwie. Przykładami takich narzędzi są CLUE model czy Pimp your landscape. Drugi typ to narzędzia, które stosując zestawy metryk krajobrazowych, modelują rozkład przestrzenny konkretnych usług ekosystemowych. Pokazują one, w jaki sposób zmiany w różnych ekosystemach mogą prowadzić do zmian w przepływach korzyści dla ludzi. Takimi programami są InVest czy EcoServGIS. Program InVest utworzono w ramach projektu Kapitał Naturalny w celu wspomaganie decyzji w zakresie zarządzania zasobami naturalnymi. Zawiera on narzędzia pozwalające na ocenę i mapowanie 15 usług ekosystemowych. Dysponując odpowiednio szczegółowymi danymi, można stworzyć scenariusze dla wielu usług jednocześnie, co daje szansę wyboru optymalnej ścieżki rozwoju. Przykład wykorzystania tego narzędzia przedstawia poniższa ramka.

Potencjał do świadczenia usługi ekosystemowej 2.2.2.1 – zapylenie

Cele

Celem badań jest ocena potencjału do zapylenia przez dwa gatunki pszczoł: trzmiela ziemnego i murarkę ogrodową w gminie Śrem (2.2.2.1). Usługa zapylenia należy do usług kluczowych dla człowieka, ponieważ jest warunkiem produkcji żywności, zwłaszcza roślin sadowniczych, rzepaku, gryki oraz wielu gatunków zielarskich i warzyw. W naszej szerokości geograficznej około 78% gatunków roślin jest zapylianych przez owady (Borański, Teper 2017). W Polsce wartość zapylenia przez owady związana z roślinami uprawnymi na rok 2015 szacowana jest na 1,8 mld euro (Majewski 2016). Wśród zapylaczy najważniejsze są pszczoły. Aby pszczoły mogły przetrwać, potrzebują dwóch rzeczy: odpowiednich miejsc do gniazdowania i wystarczającej ilości pożywienia (dostarczanego przez kwiaty) w pobliżu miejsc lęgowych. Niniejsze badanie koncentruje się na potencjale ekosystemów do dostarczania usług opartych na aktywności pszczoł dwóch gatunków: murarka ogrodowa i trzmiel ziemny. Oba gatunki należą do najpospolitszych gatunków pszczoł, jak też do gatunków polielektrycznych, czyli takich, które nie wykazują specjalizacji w zbieraniu pyłku z określonych roślin. Różnią się jednak znacznie pod względem gniazdowania, aktywności sezonowej i odległości przelotu.

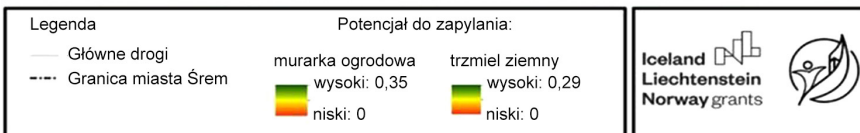
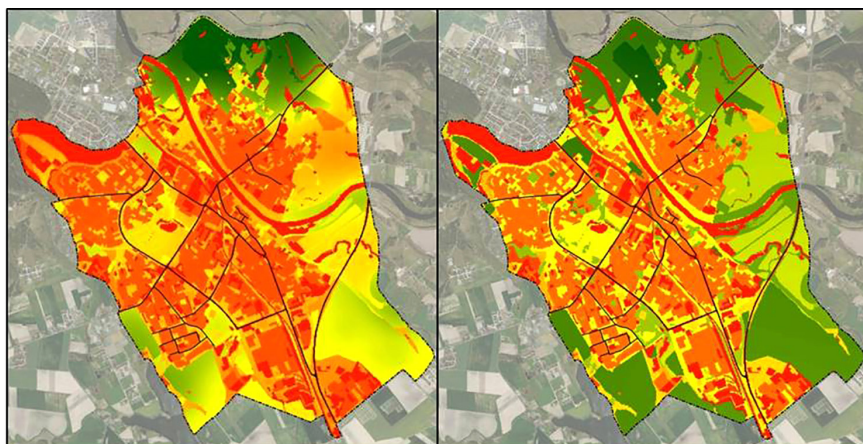
Materiały i metody

Do oceny potencjału do zapylenia wykorzystano następujące wskaźniki:

- Zasoby kwiatowe oraz dostępność miejsc do gniazdowania: użyto warstw wektorowych pokrycie terenu z mapy BDOT10k oraz przepuszczalności gruntów z mapy hydrograficznej w skali 1:50 000. Współczynniki dla dostępności zasobów pokarmowych i miejsc dla gniazdowania skonstruowano na podstawie literatury przedmiotu, m.in. Affek (2018) oraz Łowicki i Fagiewicz (2021). Istotne były zwłaszcza dane o ilości pyłku i nektaru

wytwarzanego przez poszczególne gatunki roślin (np. Kołtowski 2006). Badania przeprowadzono dla murarki oraz trzmiela ziemnego.

- Potencjał do zapylania: zastosowano model InVEST bazujący na wynikach badań Lonsdorf i in. (2009). Ocenia on prawdopodobieństwo, że osobnik danego gatunku znajduje się w danym miejscu, biorąc pod uwagę jego współczynnik liczebności pomnożony przez przydatność siedliska dla tego gatunku w tym miejscu i pomnożony przez dostępne zasoby kwiatowe, do których zapylacz może dolecieć. Model przekłada wydzielone typy ekosystemów i charakterystyki pszczół na potencjał dla zapylaczy.



Potencjał do zapylania roślin przez murarkę ogrodową i trzmiela ziemnego w gminie Śrem

Źródło: Łowicki (aneks 8.2).

Wyniki

Rycina przedstawia przestrzenny rozkład potencjału zapylania przez murarkę ogrodową i trzmiela ziemnego. W obu przypadkach potencjał jest duży jak na miasto i stanowi około jednej trzeciej wartości maksymalnej (0,29 dla trzmiela i 0,35 dla murarki). W przypadku trzmiela powierzchnia terenów o wysokim potencjale (>3 SD) wynosi 280 ha, a powierzchnia o potencjale zerowym 191 ha. Największy potencjał mają tereny w północnej i południowej części miasta. W 37,5% są to grunty orne o nieprzepuszczalnych glebach. Istotny udział w terenach o najwyższym potencjale dla zapylaczy (25%) mają też użytki trwałe, takie jak ogrody działkowe, sady jabłoniowe oraz plantacje

porzeczek. Podobny udział mają tereny trawiaste na gruntach przepuszczalnych. W przypadku murarki powierzchnia gruntów o wysokim potencjale (>3 SD) wynosi 107 ha, a powierzchnia o potencjale zerowym 192 ha. Tereny najbardziej sprzyjające murarce znajdują się w północnej części gminy i prawie w całości nakładają się na tereny o najwyższym potencjale zapyłania dla trzmieli. 40% tych obszarów zajmują tereny trawiaste na gruntach przepuszczalnych, 31% to zadrzewienia, a 21% to ogrody działkowe, sady i plantacje.

Literatura

- Affek A.N., 2018. Indicators of ecosystem potential for pollination and honey production. *Ecological Indicators*, 94(2): 33–45.
- Boranski M., Teper D., 2017. Atlas pospolitych gatunków pszczół Polski. Puławy.
- Forman R.T.T., Godron M., 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- Fürst C., König H., Pietzsch K., Ende H., Makeschin F., 2010. Pimp your landscape – a generic approach for integrating regional stakeholder needs into land use planning. *Ecology and Society*, 15(3), 34.
- Hieronimo P., Kimaro D.N., Kihupi N.I., Gulinck H., Mulungu L.S., Msanya B.M., Leirs H., Deckers J.A., 2014. Land use determinants of small mammal abundance and distribution in a plague endemic area of Lushoto district. *Tanzania J. Health Res.*, 16(3): 1–12.
- Holland J.M., Bianchi F.J., Entling M.H., Moonen A.C., Smith B.M., Jeanneret P., 2016. Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: a review of European studies. *Pest Manag. Sci.*, 72: 1638–1651.
- Kołtowski Z., 2006. *Wielki atlas roślin miododajnych*. Przedsiębiorstwo Wydawnicze Rzeczpospolita SA, Warszawa.
- Lonsdorf E., Kremen C., Ricketts T., Winfree R., Williams N., Greenleaf S., 2009. Modelling pollination services across agricultural landscapes. *Ann. Bot.*, 103(9): 1589–1600.
- Lupa P., 2020. Wpływ zielonej infrastruktury na warunki termiczne miast północnej Wielkopolski oraz jej miejsce w lokalnej polityce klimatycznej. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 52: 219–233.
- Łowicki D., 2012. Prediction of flowing water pollution on the basis of landscape metrics as a tool supporting delimitation of Nitrate Vulnerable Zones. *Ecological Indicators*, 23: 27–33.
- Łowicki D., 2019. Landscape pattern as an indicator of urban air pollution of particulate matter in Poland. *Ecological Indicators*, 97: 17–24
- Łowicki D., Fagiewicz K., 2021. A new model of pollination services potential using a landscape approach: a case study of post-mining area in Poland. *Ecosystem Services*, 52: 1–10.
- Majewski J., 2016. Ekonomiczna wycena roli owadów zapyłających w polskim rolnictwie. [W:] K. Prandecki (red.), *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym. Internalizacja efektów zewnętrznych w rolnictwie – europejskie doświadczenia*. Warszawa, s. 80–97.
- Marando F., Heris M., Zuilian G., Udías A., Mentaschi L., Chrysoulakis N., Parastatidis D., Maes J., 2022. Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustain. Cities Soc.*, 77.
- McGarigal K., Cushman S., Stafford S., 2000. *Multivariate statistics for wildlife ecology research*. Springer, New York.

- McGarigal K., Marks B.J., 1995. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
- Moonen A.C., Bocci G., Bartual A.M., Albrecht M., Sutter L., 2016. Beneficials database management and scoring system development. EU FP7 QUESSA project Deliverable 2.4.
- Natural Capital Project, 2022. InVEST 3.12.1. User's Guide. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, and Stockholm Resilience Centre.
- Rusch A., Chaplin-Kramer R., Gardiner M.M., Hawro V., Holland J., Landis D., Bommarco R., 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: a quantitative synthesis. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 221: 198–204.
- Solon J., 2002. Ocena różnorodności krajobrazu na podstawie analizy struktury przestrzennej roślinności. *Prace Geograficzne IG i PZ PAN*, 185.
- Śleszyński P., 2021. Multi-item assessment of physiognomic diversity of geocomplexes as a comprehensive method of visual-aesthetic landscape assessment. *Geographies*, 1(1): 22–46.
- Tschumi M., Albrecht M., Entling M.H., Jacot K., 2015. High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proc. R. Soc. B: Biol. Sci.*, 282(1814).
- Vallés-Planells M., Galiana F., van Eetvelde V., 2014. A classification of landscape services to support local landscape planning. *Ecology and Society*, 19(1), 44.
- Verburg P.H., Soepboer W., Limpiada R., Espaldon M.V.O., Sharifa M., Veldkamp A., 2002. Land use change modelling at the regional scale: the CLUE-S model. *Environ. Manag.*, 30: 391–405.
- Zwierzchowska I., Stępniewska M., Łowicki D., 2010. Możliwości wykorzystania programu Fragstats w badaniach środowiska przyrodniczego. *Przegląd Geograficzny*, 82(1): 85–102.