


Damian Łowicki

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Wydział Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej
Zakład Geografii Kompleksowej
damek@amu.edu.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-5964-2724>

Potencjał agroekosystemów do naturalnej regulacji liczebności szkodników. Analiza na poziomie krajobrazowym dla Polski

Zarys treści: Niewielkie półnaturalne siedliska, zwłaszcza zadrzewienia śródpolne, odgrywają w krajobrazie rolniczym bardzo ważną rolę. Jedną z nich jest zwiększenie oporu naturalnego środowiska na wystąpienie gradacji szkodnika. Funkcja ta wynika z faktu, że zadrzewienia są miejscem bytowania organizmów będących naturalnymi wrogami szkodników upraw, m.in. owadów drapieżnych oraz pasożytów i parazytoidów. W intensywnie zarządzanych krajobrazach rolniczych ochrona roślin uprawnych opiera się w dużej mierze na środkach chemicznych, co zwiększa koszty produkcji i zanieczyszczenie środowiska. Wzmocnienie naturalnej kontroli szkodników może przyczynić się do wzrostu bezpieczeństwa żywnościowego, przy jednoczesnym zmniejszeniu presji na bioróżnorodność i środowisko. Jednocześnie zadrzewienia śródpolne zwiększają efektywność innych usług, takich jak zapylenie czy regulacja klimatu. W ostatnim czasie dokonano znacznych postępów w mapowaniu usług ekosystemowych, ale naturalne zwalczanie szkodników jest jednym z najrzadziej podejmowanych tematów. Niniejsze opracowanie ma na celu przedstawienie przestrzennej zmienności potencjału i zapotrzebowania na tę usługę, wskazując te części Polski, w których potrzeby ochrony zadrzewień są największe. Zastosowano podejście krajobrazowe, biorąc pod uwagę nie tylko udział zadrzewień, ale także wielkość płatów, ich kształt oraz wielkość strefy ekotonowej. Wyniki oraz wypracowana tu metodyka mogą służyć do formułowania polityk i strategii mających na celu zwiększenie bioróżnorodności i usług ekosystemowych. Badania te mogą być też podstawą działań wspierających zrównoważone rolnictwo, np. poprzez odpowiednią alokację funduszy z Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich.

Słowa kluczowe: zadrzewienia śródpolne; naturalna regulacja szkodników; usługi ekosystemowe; zrównoważone rolnictwo

Wstęp

Korzyści, jakie czerpiemy z ekosystemów rolniczych, mają charakter nie tylko zaopatrujący, polegający na produkcji żywności. Literatura przedmiotu wskazuje

kilkanaście innych usług ekosystemowych (ES) związanych z agroekosystemami, wiele z nich nie jest powiązanych bezpośrednio z produkcją żywności (Haines-Young, Potschin 2018). Bardzo istotne w krajobrazie rolniczym są usługi regulacyjne, takie jak: zapylanie, regulacja liczebności szkodników, oczyszczanie i retencja wody, kontrola erozji i powodzi oraz sekwestracja dwutlenku węgla i regulacja klimatu. Liczba i wielkość korzyści z terenów rolnych zależą w dużej mierze od struktury krajobrazu. Decydujące znaczenie ma obecność w nim małych półnaturalnych siedlisk (ang. *Semi Natural Habitats*, SNH), w tym zadrzewień śródpolnych oraz miedz, małych zbiorników wodnych, łąk i terenów podmokłych. Istotna jest nie tylko liczba czy powierzchnia pojedynczych siedlisk, ale złożoność krajobrazu mierzona kompozycją i konfiguracją wszystkich płatów w krajobrazie. Analiza funkcji ekosystemów z uwzględnieniem ich powierzchni, kształtu i rozkładu przestrzennego to podejście powstałe na gruncie ekologii krajobrazu i jednego z jej paradygmatów mówiącego o tym, że struktura krajobrazu determinuje jego funkcje (Forman, Godron 1986, With 2019). Bardzo istotne było opisanie przez McGarigal i in. (2000) znaczenia różnych charakterystyk kompozycji i konfiguracji krajobrazu dla jego funkcjonowania. Podejście to bywa też stosowane nie tylko do oceny funkcji ekosystemów, ale i korzyści, jakie człowiek czerpie z tego tytułu, czyli usług ekosystemowych. Analiza na poziomie krajobrazu jest szczególnie istotna w ocenie usług regulacyjnych, zwłaszcza tam, gdzie nośnik usługi jest mobilny. Dotyczy to na przykład migracji zanieczyszczeń pomiędzy ekosystemami (Łowicki 2012) lub przemieszczania się zapylaczy pomiędzy miejscem gniazdowania a miejscami żerowania (Łowicki, Fagiewicz 2021).

Celem badań jest przedstawienie możliwości oceny i mapowania potencjału zadrzewień śródpolnych do regulacji liczebności szkodników wraz z zapotrzebowaniem na tę usługę. Naturalne zwalczanie szkodników, określane również jako „kontrola liczebności szkodników”, „naturalna regulacja szkodników”, „biokontrola” lub „kontrola biologiczna” jest ważną usługą regulacyjną wspierającą produkcję roślinną (Rega i in. 2018). Z jednej strony ma silny związek z produkcją żywności, zwłaszcza z jej jakością, poprzez zmniejszenie zużycia środków ochrony roślin. Z drugiej strony jest silnie powiązana z innymi usługami, takimi jak zapylanie czy regulacja klimatu, wzmacniając efekt ich oddziaływania. Skuteczność kontroli liczebności szkodników wynika z występowania organizmów będących naturalnymi wrogami szkodników upraw, głównie owadów drapieżnych oraz pasożytów i parazytoidów, czyli organizmów, które większą część lub całe życie spędzają wewnątrz ciała swojego żywiciela. Usługa ta została obszernie przebadana, choć nadal widoczne są znaczne luki w wiedzy (Holland i in. 2017). W intensywnie zarządzanych krajobrazach rolniczych ochrona roślin opiera się w dużej mierze na środkach chemicznych, co zwiększa koszty produkcji i zanieczyszczenie środowiska, oddziałując m.in. negatywnie 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. W ostatnim czasie dokonały się znaczne postępy w mapowaniu usług ekosystemowych, nie dotyczą one jednak wszystkich usług w równym stopniu. Pomimo uznanego znaczenia naturalnej kontroli

szkodników jako usługi ekosystemowej (Millennium Ecosystem Assessment 2005, TEEB 2010, Haines-Young, Potschin 2018), w bardzo niewielu badaniach podjęto próbę ich mapowania i oceny. Englund i in. (2017) zidentyfikowali 347 artykułów, w których mapowano ES, ale naturalna kontrola szkodników okazała się tematyką najrzadziej podejmowaną (4 publikacje). W ciągu ostatnich lat pojawiło się sporo badań pokazujących zależności pomiędzy możliwościami naturalnego zwalczania szkodników a strukturą krajobrazu (Chaplin-Kramer i in. 2011). Jak do tej pory, brakuje jednak syntetycznych i spójnych wskaźników dla większych obszarów. Duże możliwości pojawiły się wraz z powstaniem jednolitej dla całej Europy bazy danych zebranych w ramach Copernicus Land Monitoring Service. Warstwy wysokiej rozdzielczości (HRL) dostarczają informacji na temat określonych cech pokrycia terenu i są uzupełnieniem map pokrycia terenu/użytkowania terenu, takich jak zestawy danych CORINE Land Cover (CLC). Od roku 2015 produkcja map w coraz większym stopniu opiera się na szeregach czasowych obrazów satelitarnych z wielu różnych czujników, w tym kombinacji danych optycznych i radarowych. Głównymi źródłami są satelity Sentinel (w szczególności Sentinel-2 i Sentinel-1). Oprócz danych o wysokiej rozdzielczości, od 2015 r., w przypadku niektórych produktów, dostępne są obrazy o bardzo wysokiej rozdzielczości (VHR), nawet 10 m.

Materiały źródłowe i metody badawcze

Różne typy SNH mają różny potencjał dostarczania usług ekosystemowych (Holland i in. 2016). W przypadku usługi regulacji szkodników złożoność krajobrazu jest powszechnie mierzona jako stosunek powierzchni SNH do powierzchni pól uprawnych w pewnym promieniu, zwykle 500–1000 m (Rusch i in. 2016). Obok udziału w krajobrazie rolniczym, efektywność SNH zależy 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). Prezentowane badania uwzględniają korzyści wynikające nie tylko z powierzchni ekosystemów, ale też ich kształtu, który determinuje długość i powierzchnię bardzo istotnej dla tych ekosystemów strefy ekotonowej. Obok potencjału w zakresie dostarczania usługi (ang. *supply*), obliczono także zapotrzebowanie na tę usługę (ang. *demand*) oraz stosunek tych wartości (ang. *budget*).

W celu oceny i zobrazowania zmienności przestrzennej potencjału do regulacji szkodników przez agroekosystemy wykorzystano dane wysokiej rozdzielczości utworzone w ramach Europejskiego Programu Obserwacji Ziemi Copernicus na temat małych obiektów leśnych (ang. *Small Woody Features* – SWF). Mapa SWF obejmuje zadrzewione struktury liniowe, takie jak żywopłoty, zarośla lub rzędy drzew wzdłuż granic pól, cieków i dróg. Uwzględnia również pojedyncze płaty drzew i zarośli. Baza danych nie obejmuje ekosystemów trawiastych (np. obrzeża wzdłuż granic pól), ekosystemów wodnych (rowy odwadniające, ciek) lub elementów sztucznych (wszelkiego rodzaju szara infrastruktura, taka jak drogi czy mury kamienne). Również sady i plantacje oraz winnice nie są objęte

mapowaniem. Wszystkie analizowane obiekty nazywane są dalej zadrzewieniami śródpolnymi, które zostały zaklasyfikowane do dwóch grup: obiekty liniowe (współczynnik zwartości $\leq 0,75$) i powierzchniowe (współczynnik zwartości $> 0,75$). Współczynnik zwartości opisuje stosunek powierzchni do obwodu zgodnie ze wzorem:

$$C = \frac{(4 \times \pi \times \text{powierzchnia})}{\text{obwód}^2}$$

Tabela 1 opisuje charakterystyki geometryczne obiektów SWF.

Tabela 1. Specyfikacja geometryczna SWF

	Struktury liniowe	Struktury powierzchniowe
Szerokość	≤ 30 m	n/a
Długość	≥ 50 m	n/a
Zwartość	$\leq 0,75$	$> 0,75$
Powierzchnia	n/a	$200 \text{ m}^2 \leq \text{powierzchnia} \leq 5000 \text{ m}^2$

Źródło: Copernicus Land Monitoring Service (2019).

Dodatkowo spośród obiektów powierzchniowych wyodrębniono strefy brzegowe (12,5 m od krawędzi) i rdzeniowe (ryc. 1). Każdy z tych typów różni się potencjałem siedliskowym dla naturalnych wrogów szkodników upraw. Za Rega i in. (2018) do każdego typu przyporządkowano wagi: obiekty powierzchniowe – strefa rdzeniowa 1,0; obiekty powierzchniowe – strefa brzegowa 2,2 oraz obiekty liniowe 1,7. Klasyfikacja ta opiera się na wynikach badań Moonen i in. (2016), które zostały przeprowadzone w 217 różnych SNH, w 62 krajobrazach rolniczych i czterech krajach: Włoszech, Szwajcarii, Niemiec, Wielkiej Brytanii. Dodatkowo dokonano oceny zapotrzebowania na usługę. W tym celu posłużono się wskaźnikiem udziału gruntów ornych. Wykorzystano bazę CLC2018, kategorię 211 – grunty orne. Kategoria ta nie obejmuje pokrycia terenu w postaci gruntów różnego typu, z których każdy ma mniejszą powierzchnię niż 25 ha, a odległość pomiędzy nimi nie przekracza 300 m, takich jak złożone systemy upraw i działek, tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem roślinności naturalnej oraz terenów rolno-leśnych. Ostatecznie obliczono bilans, czyli stosunek zapotrzebowanie/potencjał, który określa te obszary, w których potrzeba podjęcia działań jest największa. Dane dotyczące zadrzewień oraz gruntów ornych zamieniono na raster 10×10 m, a następnie policzono zapotrzebowanie Z (udział gruntów ornych), potencjał P (powierzchnia i kształt zadrzewień) oraz ich bilans B (stosunek Z/P) w siatce 10×10 km dla całej Polski według wzoru:

$$B = Z \times 100/P.$$

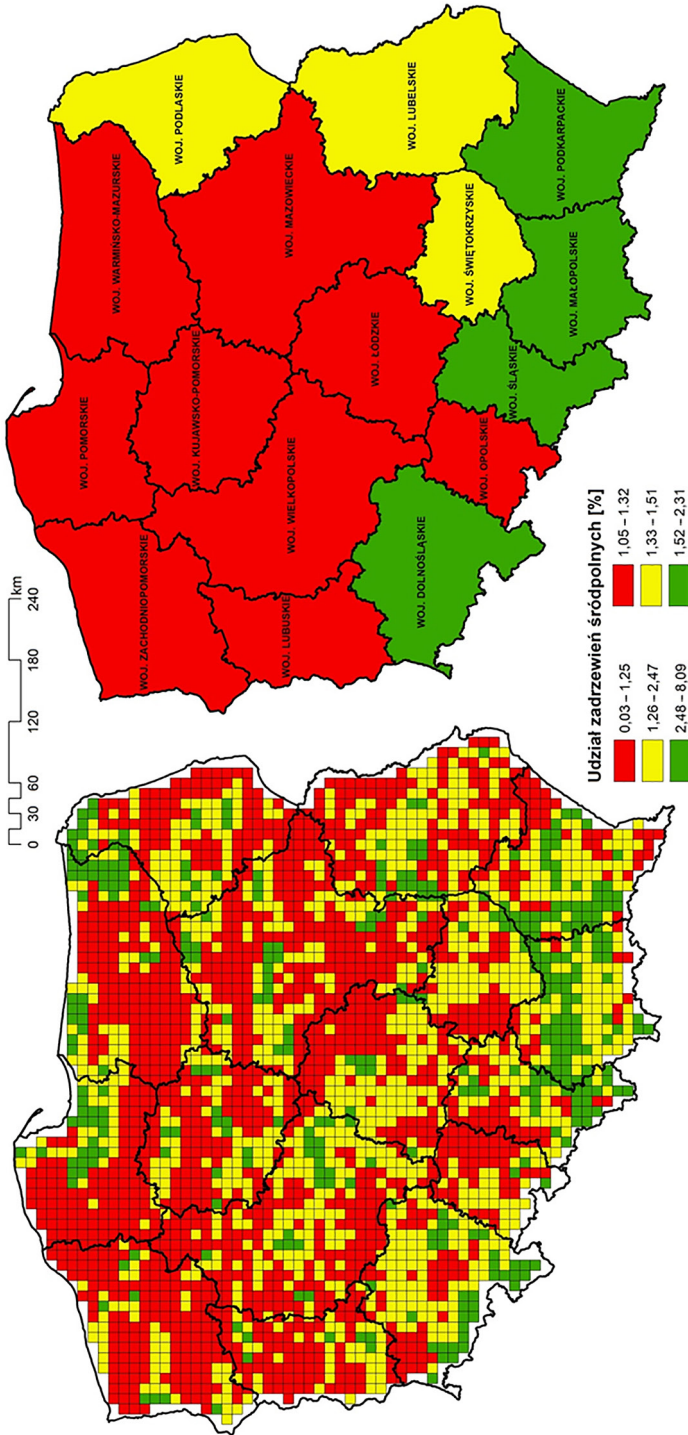
Podobną procedurę zastosowano dla szesnastu województw.



Ryc. 1. Typy analizowanych zadrzewień śródpolnych
Źródło: opracowanie własne.

Wyniki

Średni udział zadrzewień w siatce kwadratów 10×10 km wyniósł 1,42%, jego maksymalna wartość – 8,09%, a minimalna – 0,03% (ryc. 2). W odniesieniu do województw największy udział zadrzewień miały cztery województwa Polski południowej: małopolskie, dolnośląskie, śląskie i podkarpackie (tab. 2, ryc. 2).



Ryc. 2. Udział zadrzewień śródpolnych w siatce kwadratów 10×10 km oraz w województwach Polski
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2. Powierzchnia i udział gruntów ornych oraz zadrzewień śródpolnych w województwach Polski

Województwo	Powierzchnia ogólna [km ²]	Powierzchnia gruntów ornych [km ²]	Powierzchnia zadrzewień [km ²]	Udział zadrzewień [%]	Potencjał zadrzewień	Bilans
Małopolskie	15158,5	5068,7	350,2	2,31	6050821,2	0,08
Śląskie	12313,5	3626,0	235,1	1,91	4061896,9	0,09
Podkarpackie	17844,8	5671,9	327,0	1,83	5627144,9	0,10
Lubuskie	13983,6	4077,2	170,5	1,22	2931212,4	0,14
Dolnośląskie	19934,7	9338,8	385,3	1,93	6616487,4	0,14
Podlaskie	20188,2	7388,6	286,3	1,42	4972709,5	0,15
Świętokrzyskie	11685,4	4593,3	177,0	1,51	3065273,2	0,15
Pomorskie	18270,2	7072,4	228,6	1,25	3958222,7	0,18
Mazowieckie	35554,6	15230,7	459,1	1,29	8000591,8	0,19
Warmińsko-mazurskie	24177,4	10789,4	310,0	1,28	5395283,2	0,20
Lubelskie	25126,3	12181,9	350,1	1,39	6035684,0	0,20
Zachodniopomorskie	22892,3	8508,5	241,1	1,05	4180612,4	0,20
Łódzkie	18190,5	8794,4	230,3	1,27	4004455,9	0,22
Wielkopolskie	29805,8	15650,4	393,5	1,32	6780365,3	0,23
Opolskie	9400,3	5173,0	123,3	1,31	2123066,4	0,24
Kujawsko-pomorskie	17947,2	10141,1	220,0	1,23	3813626,6	0,27
Średnia	19529,6	8331,6	280,5	1,47	4851090,9	0,17

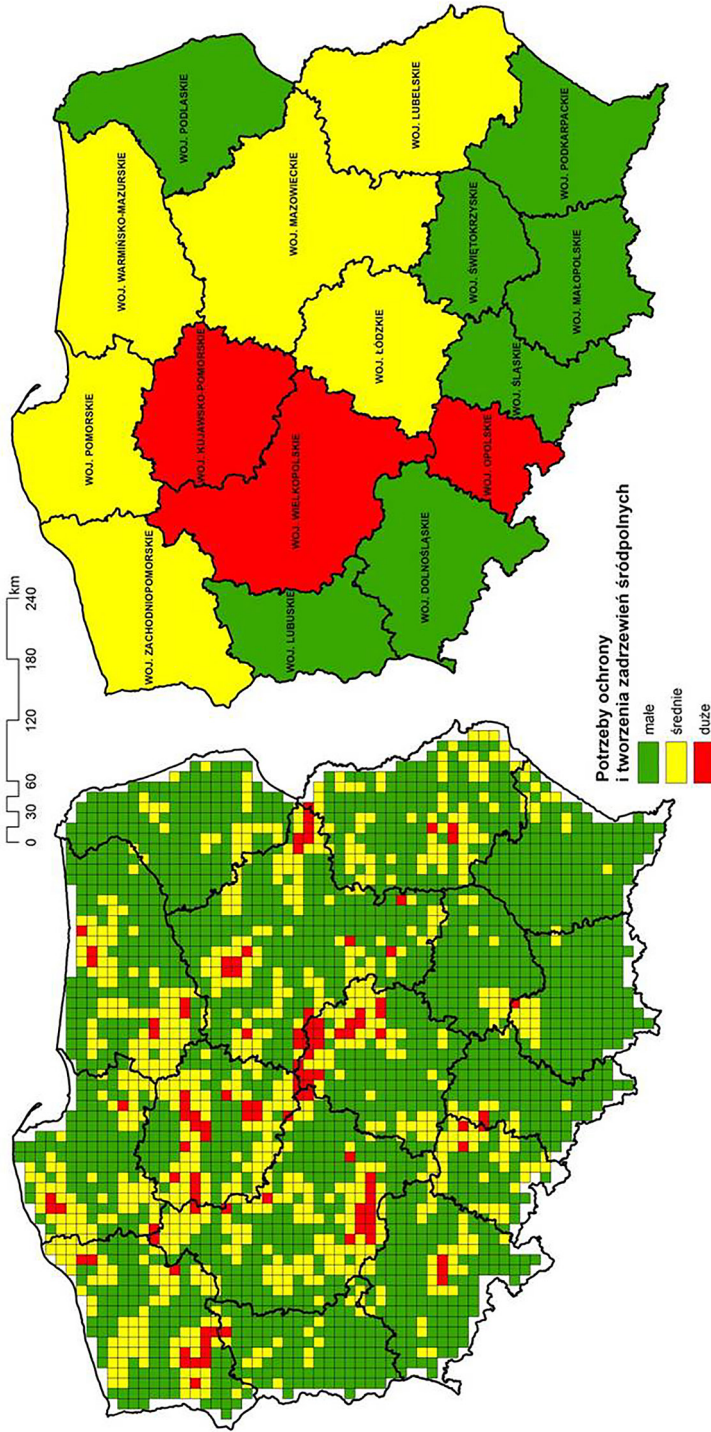
Kolorem zielonym oznaczono najwyższe wartości danej cechy, a kolorem czerwonym najniższe.

Źródło: opracowanie własne.

Najmniejsze udziały mają województwa centralnej i północno-zachodniej Polski, głównie: zachodniopomorskie, lubuskie, kujawsko-pomorskie i pomorskie. Pomimo niewielkiego udziału, największy potencjał w zakresie regulacji liczebności szkodników w krajobrazie rolniczym mają zadrzewienia śródpolne w województwach mazowieckim i wielkopolskim. Wynika to z jednej strony z bezwzględnej powierzchni tych obszarów, a z drugiej ich kształtu, który sprawia, że mają one większą powierzchnię ekotonu. Jednak oba te województwa mają największą powierzchnię gruntów ornych, ponad 15 tys. km², co sprawia, że ich bilans zapotrzebowanie/potencjał jest stosunkowo wysoki. Najbardziej niekorzystny bilans występuje w województwach: kujawsko-pomorskim, opolskim, wielkopolskim i łódzkim. Wśród regionów o największych deficytach wyróżniają się: Wysoczyzna Kaliska w województwie wielkopolskim oraz Wysoczyzna Kłodawska i Równina Kutnowska na pograniczu województw: wielkopolskiego, kujawsko-pomorskiego, mazowieckiego i łódzkiego. Bardzo niekorzystnym bilansem charakteryzuje się również Pojezierze Chełmińskie w województwie kujawsko-pomorskim (ryc. 3).

Podsumowanie i wnioski

Rolnictwo należy do tych aspektów działalności człowieka, którym w ostatnich latach poświęca się coraz więcej uwagi w kontekście ochrony środowiska,



Ryc. 3. Potrzeby ochrony i tworzenia zadrzewień śródpolnych w siatce kwadratów 10 × 10 km oraz w województwach Polski
Źródło: opracowanie własne.

a zwłaszcza zmian klimatu (Springmann i in. 2018, Lynch i in. 2021). Po pierwsze dlatego, że użytki rolne zajmują 60% powierzchni kraju i w dużym stopniu wpływają na środowisko, zwłaszcza gleby, wody, krajobraz, bioróżnorodność oraz klimat. Po drugie dlatego, że rolnictwo jest mocno uzależnione od warunków środowiska, zwłaszcza gleb i wód. Po trzecie, bardzo trudno jest kontrolować działalność rolniczą, ponieważ jest ona mocno rozproszona przestrzennie. Dodatkowo polskie rolnictwo podlega szybkim przemianom, wynikającym ze wspólnej polityki rolnej UE, przede wszystkim ze wspólnego rynku (Tomczak 2009, Kowalski 2017). Wzrost konkurencji na rynku i presja na podniesienie wydajności produkcji rolnej w UE spowodowały w wielu miejscach znaczne uszczuplenie różnorodności biologicznej, zanik tradycyjnych form gospodarowania oraz rodzimych ras zwierząt i lokalnych odmian roślin użytkowych (Kania 2006, Hallmann i in. 2017, Chodkiewicz i in. 2018). Jednocześnie, wraz z przystąpieniem Polski do UE, pojawiły się narzędzia, zarówno w obszarze rozwoju obszarów wiejskich, jak i płatności bezpośrednich, mające na celu wspieranie działań na rzecz klimatu i zrównoważonego rolnictwa. Niestety efekty tych działań nie są satysfakcjonujące (Kołodziejczak 2018, Jurgoński, Łowicki 2020). Wskaźnik liczebności ptaków krajobrazu rolniczego Farmland Bird Index, który jest jednym z oficjalnych wskaźników stanu środowiska w krajach członkowskich Unii Europejskiej i jest traktowany jako wskaźnik stanu zdrowia ekosystemów użytkowanych rolniczo, wykazuje stały trend spadkowy w okresie ostatnich 20 lat. Kluczową rolę odgrywa tu spadek liczby zadrzewień śródpolnych, które są nośnikiem całego spektrum korzyści dla człowieka, zarówno tych regulacyjnych, jak i zaopatrujących, związanych z produkcją żywności. Zadrzewienia są ostoją dzikich zapylaczy, które warunkują plony wielu roślin uprawnych. Jednocześnie dają schronienie naturalnym wrogom szkodników, minimalizując konieczność wykorzystywania środków ochrony roślin. Od kilkudziesięciu lat w Polsce widoczne są procesy powiększania areалу gruntów ornych i ich scalanie, co powoduje eliminację małych półnaturalnych siedlisk. Przepisy dotyczące wycinki drzew na gruntach rolnych są bardzo liberalne, co sprzyja eliminacji drzew i krzewów bez jakiegokolwiek kontroli, a nawet monitoringu ze strony instytucji państwowych (NIK 2018). Pomimo że badanie roli zadrzewień ma w Polsce długą tradycję (np. Ryszkowski, Bartoszewicz 1996), to ze względu na brak danych brakowało badań w skali kraju. Przeprowadzane ostatnio badania ilościowe z wykorzystaniem narzędzi GIS mają charakter lokalny (Janku i in. 2021) lub regionalny (Kujawa i in. 2021). Niniejsze badania wykorzystują wysokiej rozdzielczości warstwy geoprzestrzenne oraz empiryczne wyniki szeroko zakrojonych badań terenowych, mierzących specyficzny wkład różnych półnaturalnych siedlisk w zwalczanie szkodników. Powstałe mapy ułatwiają porównanie względnego potencjału kontroli biologicznej w różnych częściach Polski, wskazując te, w których potrzeby ochrony są największe. Wyniki oraz wypracowana tu metodyka mogą służyć do formułowania polityki i strategii mających na celu zwiększenie bioróżnorodności i usług ekosystemowych oraz być wykorzystane do oceny konkurencji między różnymi usługami. Badania te mogą być też podstawą działań wspierających zrównoważone rolnictwo, np. poprzez odpowiednią alokację funduszy z Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich. Są też

głosem w dyskusji na temat włączania rachunków opartych na usługach ekosystemowych do polskiego systemu prawnego (Stępniewska i in. 2018). Następne edycje map tworzonych w ramach Copernicus Land Monitoring Service pozwolą na precyzyjne określenie zmian w krajobrazie rolniczym. Mankamentem użytych danych jest informacja tylko o zadrzewieniach. Choć mają one największy potencjał w zakresie różnych usług, to istotna jest także roślinność zielna, w tym segetalna, towarzysząca uprawom rolnym.

Podziękowania

Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu „Usługi świadczone przez główne typy ekosystemów w Polsce – Podejście stosowane”. Projekt korzysta z dofinansowania otrzymanego od Islandii, Liechtensteinu i Norwegii w ramach funduszy EOG o wartości 6 454 526 zł oraz dofinansowania budżetu państwa o wartości 1 139 034 zł. Celami Projektu są przeniesienie wiedzy naukowej na temat usług ekosystemowych istniejącej w Europie do procesu rozpoznania i oceny usług ekosystemowych w Polsce, zwiększenie potencjału naukowego oraz zdolności administracji i zainteresowanych grup społecznych do wdrażania tego podejścia w zarządzaniu środowiskiem.

Literatura

- Chaplin-Kramer R., O'Rourke M.E., Blitzer E.J., Kremen C. 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecol. Lett.*, 14(9): 922–932.
- Chodkiewicz T., Neubauer G., Sikora A., Ławicki Ł., Meissner W., Bobrek R., Cenian Z., Bzoma S., Betleja J., Kuczyński L., Moczarska J., Rohde Z., Rubacha S., Wieloch M., Wylegała P., Zielińska M., Zieliński P., Chylarecki P. 2018. Monitoring Ptaków Polski w latach 2016–2018. *Biuletyn Monitoringu Przyrody*, 17: 1–90.
- Copernicus Land Monitoring Service 2019. High Resolution Layer Small Woody Features – 2015 reference year Product Specifications & User Guidelines.
- Englund O., Berndes G., Cederberg C. 2017. How to analyse ecosystem services in landscapes – a systematic review. *Ecol. Ind.*, 73: 492–550.
- Forman R.T.T., Godron M. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- Haines-Young R., Potschin M.B. 2018. *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*.
- Hallmann C.A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W., Müller A., Sumser H., Hörrén T., Goulson D., de Kroon H. 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One*, 18: 12(10):e0185809.
- 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.
- Holland J.M., Douma J.C., Crowley L., James L., Kor L., Stevenson D., Smith B.M. 2017. Semi-natural habitats support biological control, pollination and soil conservation in Europe: a review. *Agron. Sustainable Dev.*, 37: 31.
- Janku K., Mana M., Szczepański M. 2021. Changes in the length of the shelterbelts adjacent to the agricultural areas and roads at the beginning of the 21st century in Kalisz city. *Forestry Letters*, 114: 915.
- Jurgoński M., Łowicki D. 2020. Rolnictwo zrównoważone w Polsce oraz jego wdrażanie i postrzeganie w gminie Kcynia. [W:] A. Kołodziejczak, L. Kaczmarek (red.), *Gospodarowanie gruntami na obszarach wiejskich*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 129–147.

- Kania J. 2006. Programy rolno-środowiskowe i zasady dobrej praktyki rolniczej jako możliwości optymalnego gospodarowania i ochrony dolin rzecznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 4(1): 77–99.
- Kołodziejczak A. 2018. The 2007–2013 Agri-environmental program as an instrument for the retardation of natural resources in Poland. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 2(48): 143–151.
- Kowalski S. 2017. Realizacja Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej i jej konsekwencje dla europejskiego rolnictwa. *Nauki Ekonomiczne*, 25: 91–112.
- Kujawa K., Janku K., Mana M., Choryński A. 2021. The loss of farmland trees and shrubs in western Poland in the 21st century assessed with the use of Google Maps Baltic Forestry, 27(1): 459.
- Lynch J., Cain M., Frame D., Pierrehumbert R. 2021. Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors. *Front. Sustain. Food Syst.*, 4: 518039.
- 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., 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.
- McGarigal K., Cushman S., Stafford S. 2000. *Multivariate statistics for wildlife ecology research*. Springer, New York.
- Millennium Ecosystem Assessment 2005. *Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C., USA.
- 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.
- NIK 2018. Wystąpienie pokontrolne: KSI.410.002.08.2018, P/18/046. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Środowiska, Warszawa.
- Rega C., Bartual A.M., Bocci G., Sutter L., Albrecht M., Moonen A.C., Jeanneret P., van der Werf W., Pfister S.C., Holland J.M., Paracchini M.L. 2018. A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecol. Indic.*, 90: 653–664.
- 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.
- Ryszkowski L., Bartoszewicz A. 1996. Influence of shelterbelts and meadows on the chemistry of ground water. [W:] L. Ryszkowski i in. (red.), *Dynamics of an agricultural landscape*. PWRiL, Poznań, s. 98–109.
- Springmann M., Clark M., Mason-D'Croz D., Wiebe K., Bodirsky B.L., Lassaletta L. i in. 2018. Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, 562: 519–525.
- Stępniewska M., Zwierzchowska I., Mizgajski A. 2018. Capability of the Polish legal system to introduce the ecosystem services approach into environmental management. *Ecosystem Services*, 29 (Pt B): 271–281.
- TEEB 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and economic foundation*. Earthscan, Cambridge.
- Tomczak F. 2009. Ewolucja wspólnej polityki rolnej UE i strategia rozwoju rolnictwa polskiego. [W:] *Ekonomiczne i społeczne uwarunkowania rozwoju polskiej gospodarki żywnościowej po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej*. Program Wieloletni 2005–2009, nr 125/2009, Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- 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.
- With K.A. 2019. *Essentials of Landscape Ecology*. Oxford University Press.

Agro-ecosystems potential for natural pest control. Analysis at the landscape level for Poland

Abstract: Small semi-natural habitats, especially mid-field trees, play a significant roles in the agricultural landscape. One of them is natural pest control. This function is because tree plantings are the habitat of organisms that are natural enemies of crop pests, i.a., predatory insects and parasitoids. In intensively managed agricultural landscapes, plant protection relies heavily on chemicals, increasing production costs and environmental pollution. Strengthening natural pest control can help improve food security while reducing pressure on biodiversity and the environment. At the same time, mid-field trees increase the effectiveness of other services, such as pollination or climate regulation. There have been significant advances in mapping ecosystem services recently, but natural pest control is one of the least explored topics. This study aims to present the spatial variability of the potential and demand for this service, pointing to those parts of Poland where the need to protect mid-field trees is greatest. A landscape approach was applied, taking into account not only the share of shelterbelts but also the size of the patches, their shape, and the size of the ecotone zone. The results and the methodology developed here can be used to formulate policies and strategies aimed at increasing biodiversity and ecosystem services. This research can also be the basis for activities supporting sustainable agriculture, e.g., the appropriate allocation of funds from the Rural Development Program.

Key words: shelterbelts, natural pest control, ecosystem services, sustainable agriculture