

## Autoreferat

### 1. Imię i nazwisko.

Maciej Marcin NOWAK

### 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- ❖ Stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie kształtowanie środowiska. Podmiot nadający stopień: Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej. Rok nadania stopnia: 2009. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Inwentaryzacja i waloryzacja zadrzewień śródpolnych z wykorzystaniem systemu informacji geograficznej,*
- ❖ Stopień nauczyciela kontraktowego. Podmiot nadający stopień: Gimnazjum w Bolechowie. Rok nadania stopnia: 2005,
- ❖ Tytuł magistra geografii, specjalność kształtowanie środowiska przyrodniczego. Podmiot nadający tytuł: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych. Rok nadania tytułu: 2003. Tytuł pracy magisterskiej: *Przeobrażenia krajobrazu pod wpływem antropogenicznej działalności człowieka na Półwyspie Bretońskim.*

### 3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- ❖ Uniwersytet Paris Sorbonne, Wydział Nauk Społecznych, Instytut Geografii, Laboratorium Médiations, 2022 - obecnie, badacz stowarzyszony,
- ❖ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, Zakład Botaniki Systematycznej i Środowiskowej, 2021 - obecnie, adiunkt,
- ❖ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, Laboratorium Biologicznych Informacji Przestrzennych, 2013 - obecnie, kierownik Laboratorium,
- ❖ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, Zbiory Przyrodnicze, 2010 - 2013, adiunkt,
- ❖ Polska Akademia Nauk, Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego w Poznaniu, 2006 - 2010, adiunkt.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

**Tytuł osiągnięcia naukowego:**

*Modelowanie świadczeń ekosystemowych pasów zadrzewień w krajobrazie rolniczym - nowe metody i narzędzia*

**Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:**

- ❖ **PUBLIKACJA I.** Nowak, M.M., Pędziwiatr, K., Słupecka, K., Wawer, R., 2020. Parcel-based layout as a factor affecting the potential availability of ecosystem services provided by tree belts. *Ecological Indicators*, 119, 106836.
- ❖ **PUBLIKACJA II.** Nowak, M.M., Pędziwiatr, K., 2018. Modelling potential tree belt functions in rural landscapes using a new GIS tool. *Journal of Environmental Management*, 217, 315-326.
- ❖ **PUBLIKACJA III.** Nowak, M.M., Pędziwiatr, K., 2018. Dataset and GIS toolbox for modeling potential tree belt functions. *Data in Brief*, 20, 326-332.
- ❖ **PUBLIKACJA IV.** Nowak, M.M., Pędziwiatr, K., Bogawski, P., 2022. Hidden gaps under the canopy: LiDAR-based detection and quantification of porosity in tree belts. *Ecological Indicators*, 142, 109243.
- ❖ **PUBLIKACJA V.** Nowak, M.M., Skowroński, J., Słupecka, K., Nowosad, J., 2023. Introducing tree belt designer - A QGIS plugin for designing agroforestry systems in terms of potential insolation. *Ecological Informatics*, 75, 102012.

## **Wprowadzenie**

Kiedy myślimy o rosnącej presji na środowisko spowodowanej działalnością człowieka, często wyobrażamy sobie rozległe obszary metropolitalne. Jednak grunty miejskie stanowią zaledwie 1% gruntów nadających się do zamieszkania na świecie (Ritchie i Roser,

2021). Niewątpliwie, największe oddziaływanie ludzkości jest spowodowane tym, co jemy, a nie miejscem, w którym żyjemy (Ritchie i Roser, 2021). Dlatego działalność rolnicza, która obejmuje 36% powierzchni Ziemi na świecie (FAO, 2022) i wciąż wykazuje tendencję wzrostową, prowadzi do silnej homogenizacji krajobrazu, zmian klimatu, niedoboru wody, degradacji gruntów czy utraty różnorodności biologicznej (Foley i in., 2005; El Bilali i in., 2021). Rolnictwo i zmiany klimatu ograniczają przepływ wielu świadczeń ekosystemowych (ang.: ecosystem services (ES)) (Matson i in., 1997), które są korzyściami uzyskiwanymi przez ludzi z ekosystemów na Ziemi (The Millennium Ecosystem Assessment (2005)). Dlatego też rosnący negatywny wpływ intensywnego rolnictwa i zmian klimatu na środowisko skłania badaczy i praktyków do poszukiwania nowych sposobów łagodzenia i adaptacji do tych zjawisk (IPCC, 2019).

Wiele źródeł wiedzy inżynierskiej i środowiskowej podaje, że systemy rolno-leśne (ang.: agroforestry systems) odgrywają wiodącą rolę w zmniejszaniu negatywnego wpływu rolnictwa na środowisko naturalne, zapewniając szeroki zakres ES (Jose, 2009; Power, 2010; Koohafkan i in., 2012; Larcher i Baudry, 2013; Duru i in., 2015; Moreno i in., 2018). Jednym z typów takich systemów są liniowe układy drzew, zwane pasami zadrzewień (ang.: tree belts (TB)). Wśród wielu świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez TB, naukowo opisano następujące przykłady: zmniejszenie prędkości wiatru (Cleugh, 1998; Iwasaki i in., 2019; Osorio i in., 2019), zdolność do ograniczania erozji gleby powodowanej przez wiatr i wodę (Jensen, 1985; Ticknor, 1988; Brandle i in., 2004; Chendev i in., 2015; Řeháček i in., 2017), poprawa rozkładu akumulacji i sublimacji śniegu (Kort i in., 2012), ograniczenie transportu eolicznego cząstek pyłu przenoszącego pestycydy (Zaady i in., 2018), regulacja warunków topoklimatycznych i wodnych (Lin, 2010; Sahin i in., 2016), zatrzymywanie wody w systemach korzeniowych i ograniczanie nasłonecznienia (Kędzióra i in., 1989; Santos i in., 2019; Marconi i Armengot, 2020; Wurz i in., 2022), ograniczania emisji gazów cieplarnianych (Peichl i in., 2006; Song, 2007), regulacja rozkładu nawozów mineralnych i składników pokarmowych w przepływie glebowym (Szajdak i Gaca, 2010; Burkhard i in., 2014) zwiększenie poziomu różnorodności krajobrazu (Takatsuka i in., 2007) oraz bioróżnorodności (Fuller i in., 1997; Fremier i in., 2015).

Ze względu na liczne korzyści płynące z sieci zadrzewień uzasadnione jest odtwarzanie lub rozbudowa tych sieci na terenach zdegradowanych oraz zwiększenie efektywności sieci

już istniejących. Jednak takie projekty mogą być skuteczne tylko wtedy, gdy ich efekt zapewni oczekiwane ES. Warunek ten może być spełniony, jeżeli projektowanie TB odbywa się w dokładnej skali przestrzennej, co wymaga zastosowania dużej rozdzielczości przestrzennej wejściowych zbiorów danych zawierających zarówno cechy TB na poziomie poszczególnych drzew, jak i wiele czynników środowiskowych, np. położenie TB względem ekspozycji stoków, dominujących kierunków wiatru, struktury użytkowania gruntów, składu gatunkowego drzew i krzewów oraz ich rozmieszczenia w TB. Dlatego też skuteczna analiza tak wielu przestrzennych warstw tematycznych wymaga zastosowania odpowiednich metodyk, znajomości systemu informacji geograficznej (narzędzia GIS) oraz zbiorów danych o dużej dokładności przestrzennej. Do niedawna prace nad sieciami TB koncentrowały się na rozpatrywaniu uwarunkowań przyrodniczych i ekonomicznych istotnych przy planowaniu sieci o określonych ES oraz charakteryzowaniu optymalnych miejsc w krajobrazie dla wybranych ES dostarczanych przez TB, ale na bardzo ogólnym poziomie (Flink i Searns, 1993; Smith i Hellmund, 1993). Zdefiniowano również przestrzenną i gatunkową strukturę TB umożliwiającą dostarczanie określonych ES (Zajączkowski i in., 2001; Current i in., 2012). Szczegółowo opisano także etapy przygotowawcze do wyznaczania sieci TB, takie jak określenie aktualnych ram ekologicznych definiowanych przez określenie węzłów i połączeń w obrębie istniejących sieci TB lub ocena rzeczywistej i potencjalnej degradacji elementów krajobrazu w celu określenia potrzeb zadrzewieniowych (Linehan i in. , 1995; Shannon i in., 1995; Baschak i Brown, 1995; Salici, 2013). Pierwsze próby projektowania sieci TB pod kątem oceny ES zostały przeprowadzone przez Tsonkova i in. (2014) - narzędzie oceny ES w systemach rolno-leśnych, Alam i in. (2014) - kwantyfikacja i wycena pieniężna ES dostarczonych przez system upraw międzyplonowych oparty na drzewach czy ocenę wpływu rzędów drzew na gruntach ornych na magazynowanie węgla organicznego w glebie (Cardinael i in., 2015). Jednak badania te przedstawiają bardzo ogólne podejście do analizy relacji między badanym TB lub całą siecią, a środowiskiem, w którym funkcjonują. Na przykład w badaniu Alam i in. (2014) brak analizy dotyczącej lokalizacji TB w stosunku do kierunków ekspozycji uniemożliwił określenie, w jaki sposób TB przyczyniają się do kontroli wiatru w odniesieniu do ES minimalizujących prędkość wiatru. Jednak w ostatnich latach rozwiązania GIS, analiza wielokryterialna i teledetekcja zaczęły odgrywać coraz ważniejszą rolę w projektowaniu TB, również w odniesieniu do ES. Wśród kilku badań integrujących

wykorzystanie narzędzi GIS i teledetekcji do projektowania sieci TB i zarządzania nią są badania Loefflera i in. (1992), Bueno i in. (1995), David i Rhyner (1998), Toccolini i in. (2006), Torita i Satou (2007), Giordano i Riedel (2008), Pena i in. (2010), Wu i in. (2013), Van Thuyet i in. (2014), Ottomano Palmisano i in. (2016), Liknes i in. (2017), Yang i in. (2017), Türk (2018) oraz Vacek i in. (2018). Jednak w procesie projektowania sieci TB nadal brakuje odpowiednich metod i narzędzi GIS ukierunkowanych na jej modelowanie pod kątem dostępności ES.

Oprócz dostępności rozwiązań GIS, dostępność danych o wysokiej dokładności przestrzennej uzyskanych bezpośrednio w terenie lub z materiałów teledetekcyjnych odgrywa ważną rolę w projektowaniu TB, również w ujęciu kartowania ES. Niestety, jak wskazują Tancoigne i in. (2014) oraz Malinga i in. (2015), istnieje wiele prac badawczych podejmujących zagadnienie ES w środowiskach rolniczych, ale badania te są prowadzone w mało dokładnej skali przestrzennej. Poziomy lokalne, które są istotne dla wdrażania polityki i planowania lokalnego, są często zaniedbywane (Ruiz-Martinez i in., 2015). Chen i in. (2019) zauważyli, że w zdecydowanej większości analizowanych badań wykorzystano zbiory danych dotyczące pokrycia terenu o rozdzielczościach od 30 m do 5 km na podstawie obrazów teledetekcyjnych, które nie zostały faktycznie opracowane na potrzeby kartowania ES. Chociaż analizy ES stają się coraz bardziej zaawansowane dzięki wykorzystaniu bardziej szczegółowych danych przestrzennych, np. danych teledetekcyjnych (Muraoka i Koizumi, 2009; Palacios-Orueta i in., 2012; Ayanu i in., 2012; de Araujo Barbosa i in., 2015; Weiss i in., 2020), to jednak przestrzenne i czasowe rozdzielczości danych są nadal niewystarczające dla większości decyzji politycznych opartych na badaniach ES (Chen i in., 2019). Niestety, zbiory danych o TB i środowisku ich występowania nie są łatwe do pozyskania ze względu na złożoną strukturę TB (np. porowatość TB, ich wysokość i szerokość, skład gatunkowy), niewielka powierzchnia pasów i ich nieregularne rozmieszczenie oraz niewystarczająca skala przestrzenna wejściowych danych środowiskowych, takich jak dane glebowe, hydrologiczne i pokrycia terenu. Powyższa perspektywa wydaje się ograniczać możliwości modelowania ES dostarczanych przez sieci TB w dokładnej skali i na dużych obszarach.

Jednym z najważniejszych zbiorów danych wejściowych w procesie projektowania TB i oceny ES są dane, które bezpośrednio odzwierciedlają strukturę przestrzenną TB. Układ

drzew i krzewów w TB wpływa na efektywność ES, głównie regulując świadczenia umożliwiające ograniczenie siły wiatru oraz modyfikację nasłonecznienia lub efektu zacienienia. Niestety, w ramach naukowych i praktycznych rozważań nad sieciami TB wciąż brakuje metod i narzędzi umożliwiających prowadzenie symulacji rozmieszczenia TB pod kątem ich wpływu na usłonecznienie potencjalne. Z powodu niewłaściwego rozmieszczenia TB w stosunku do kierunków świata oraz wysokość/szerokość i skład gatunkowy pasa, obszary rolnicze, w tym cenne dla poprawy siedlisk marginalnych, takie jak miedze, łąki, małe zbiorniki wodne, strumienie i rowy, stają się zbyt zacienione lub zbyt nasłonecznione. Obecnie dostępne podejścia metodyczne umożliwiające analizę istniejącego lub symulowanego wpływu TB na potencjalne nasłonecznienie uwzględniają jedynie użycie uproszczonego widoku pasa na podstawie jego parametrów i czynników środowiskowych z próbek pochodzących z badań terenowych (Dupraz i in. 2005; Pansak, 2015; Luedeling i in., 2016; Dilla i in., 2018; Onsamrarn i in., 2020; Chemura i in., 2021). Ponadto, żadne z dostępnych podejść nie wykorzystuje pełnej charakterystyki ukształtowania terenu i istniejącego pokrycia terenu, które są istotne przy szacowaniu potencjalnego nasłonecznienia. Drugą ważną cechą wpływającą na skuteczność ES dostarczanych przez TB i wciąż trudno dostępną do oceny ES jest ciągłość pasów. Czynnik ten ma istotny wpływ na skuteczność funkcji wiatrochronnej (Deng i in., 2013), ponieważ brak ciągłości prowadzi do większej prędkości wiatru wiejącego przez luki w TB z prędkością większą niż na polu otwartym (Brandle i in., 2004). Skuteczność tej funkcji zależy również od położenia TB względem dominującego kierunku wiatru (van Eimern i in., 1964; David i Rhyner, 1998; Yuan i in., 2020), wysokości, szerokości pasa, zróżnicowania gatunków drzew i krzewów, liczby i rozmieszczenia przestrzennego poszczególnych osobników, liczby rzędów drzew, rozstawu międzyrzędzi oraz biomasy gałęzi i liści (David i Rhyner, 1998; Brandle i in., 2004; Wu i in., 2013; Van Thuyet i in., 2014). Ponadto, fenologia gatunków drzew i krzewów powoduje, że zagęszczenie pasów zmienia się w ciągu roku (Gardiner i in., 2006; Řeháček i in., 2017). Wcześniejsze badania wykazały, że szacowanie skuteczności funkcji wiatrochronnej TB przy użyciu wskaźnika porowatości optycznej na podstawie fotografii terenowej i/lub pomiarów terenowych jest czaso- i pracochłonne, gdyż potrzebne są dane inwentaryzacyjne o dużej powierzchni (np. Kenney, 1987; Loeffler i in., 1992; Zhang i in., 1995; David i Rhyner, 1998; Torita i Satou, 2007; Wu i in., 2013; Van Thuyet i in., 2014; Vacek i in., 2018). Ze względów praktycznych porowatość jest zwykle

aproksymowana przez porowatość optyczną, która jest dwuwymiarową miarą porowatości opartą na sylwetce wiatrochronu (Loeffler i in., 1992). Niestety, porowatość optyczna jako ujęcie dwuwymiarowe, nie obejmuje wszystkich ścieżek, którymi przepływa wiatr w obrębie pasa (Yang i in., 2017). Aby zminimalizować to ograniczenie, niektórzy badacze próbowali opisać porowatość optyczną na podstawie trójwymiarowych obrazów (Zhu i in., 2003). Takie podejście jest przydatne, ale w terenie można uzyskać tylko próbki punktowe. Wśród kilku badań analizy porowatości TB, przykładowo David i Rhyner (1998) wykorzystali zdjęcia lotnicze do manualnego wykrywania luk w zadrzewieniach. Jednak głównym ograniczeniem teledetekcji obrazowej jest to, że porowatość jest zwykle szacowana z boku, więc trudno ją obliczyć na podstawie obrazów wykonanych w widoku z góry na dół, ponieważ takie podejście uniemożliwia rejestrację struktury roślinności pod okapem (Yang i in., 2017). Istnieją jednak dowody na to, że zdjęcia satelitarne o wysokiej rozdzielczości mogą być wykorzystywane do szacowania porowatości przy użyciu produktów pośrednich obliczanych na podstawie średnicy korony i wskaźnika powierzchni liści (LAI) (Yang i in., 2017). Spośród dostępnych materiałów teledetekcyjnych, dane LiDAR (ang.: Light Detection and Ranging) wydają się być odpowiednie do obliczania porowatości. W technologii tej skanowanie laserowe może przenikać przez korony drzew, dostarczając danych o strukturze roślinności w widoku 3D (Lefsky i in., 1999; Zellweger i in., 2014; Plowright i in., 2016; Alexander i in., 2017). W przypadku danych LiDAR takie parametry jak wielkość, kształt i zagęszczenie poszczególnych koron drzew (Coops i in., 2007; Véga i Durrieu, 2011; Shrestha i Wynne, 2012; Dupuy i in., 2013) czy frakcje LAI i luk (Sasaki i in., 2013) można łatwo zmierzyć na dużych obszarach. Jednak nadal nie ma metody i narzędzia do szacowania porowatości w TB przy użyciu danych LiDAR.

Oprócz jakości tematycznej i przestrzennej danych, a także odpowiednich metod analitycznych, określenie właściwego w kontekście celu badań rozmiaru jednostki badawczej jako minimalnego obszaru analizy w projektowaniu TB i modelowaniu ES jest również istotne. Wynika to z faktu, że analizy przestrzenne powinny być jak najlepiej powiązane z rzeczywistymi problemami środowiska i bardziej przydatne dla praktyków (Norton i in., 2016; Raudsepp-Hearne i Peterson, 2016). Brakuje przykładów przedstawiających wykonanie symulacji sieci zadrzewień oraz ocenę istniejących sieci w dokładności działek ewidencyjnych. Według Chen i in. (2019), jednostką badawczą w

mapowaniu ES powinny być działki katastralne, zwłaszcza dla praktyk urbanistycznych. Przykład wykorzystania tej jednostki badawczej można znaleźć w pracy de Groota i in. (2010), w której wykorzystano oryginalną konfigurację TB (skala działki) do przeprojektowania jej struktury. Na tym samym poziomie Barton i in. (2016) pokazali, w jaki sposób ich model może identyfikować kombinacje drzew, które dostarczają wielu ES z systemów leśno-pastwiskowych. Biorąc pod uwagę założenie, że ewidencyjne lub inne „wewnętrzne” systemy granic działek w krajobrazach rolniczych są najczęściej wykorzystywane do tworzenia TB, należy podkreślić, że położenie granic w odniesieniu do różnych zmiennych środowiskowych może wpływać na obecną i przyszłą strukturę krajobrazu. Dlatego też skuteczność sieci TB w kształtowaniu jakości krajobrazu może w dużej mierze zależeć od układu granic działek, na podstawie których zostaną zaprojektowane TB. Należy również podkreślić, że dostępność ES dostarczanych przez sieci zadrzewień wynika z potrzeb środowiskowych, które są determinowane warunkami środowiskowymi i zdiagnozowanymi zagrożeniami, takimi jak ryzyko erozji wodnej i wietrznej. Te zagrożenia dla środowiska można zmniejszyć dzięki obecności TB jako dostawcy oczekiwanych ES. Obszary o określonych zagrożeniach środowiskowych są powszechnie nazywane jako te z potrzebami zadrzewieniowymi (ang.: afforestation needs (AN)), gdy zarządcy gruntów chcą zmniejszyć ryzyko dla środowiska, wykorzystując wiedzę o korzyściach sieci zadrzewień. Niestety, metodyka modelowania AN w ujęciu przestrzennym nie jest dobrze opisana w literaturze naukowej.

### **Cel naukowy i zakres badań prowadzących do osiągnięcia naukowego**

W mojej pracy badawczej skupiłem się na opracowaniu metod umożliwiających modelowanie przyszłych oraz istniejących sieci zadrzewień pasowych w krajobrazie rolniczym pod kątem ich roli w zaopatrywaniu w główne rodzaje regulacyjnych świadczeń ekosystemowych. Modelowanie to umożliwia określanie dostępności świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez TB. Moja praca nad rozwojem wiedzy o modelowaniu TB opierała się na zmiennych środowiskowych (np. nachylenie i ekspozycje terenu, różnorodność pokrycia terenu, warunki glebowe czy dominujące kierunki wiatrów) oraz na układzie działek ewidencyjnych. Ponadto, zaproponowany przeze mnie proces modelowania został wzbogacony o określanie potrzeb zadrzewieniowych, dzięki którym możliwe jest ograniczanie rzeczywistych lub unikanie potencjalnych zagrożeń



środowiskowych. Dlatego też opracowałem nowe podejście metodyczne umożliwiające modelowanie potrzeb zadrzewieniowych. Dodatkowo, w ramach prac nad rozwojem metod szacowania ES dostarczanych przez TB zaproponowałem dwa modele koncepcyjne i ich implementacje do narzędzi informatycznych umożliwiające szacowanie dwóch głównych czynników wpływających na dostępność ES - porowatość i potencjalne nasłonecznienie w obrębie pasów zadrzewień określone przez układ sieci zadrzewień oraz ich związek z kierunkami świata i ukształtowaniem terenu. Wszystkie prace badawcze przeprowadzono na terenie Polski w obrębie dwóch parków krajobrazowych: Parku Krajobrazowego im. Gen. Dezyderego Chłapowskiego oraz Wiśnicko-Lipnickiego Parku Krajobrazowego.

Powyższe zagadnienia badawcze odnoszą się do koncepcji tzw. rolnictwa zrównoważonego i opartego na bioróżnorodności, czyli holistycznego podejścia do współistniejących zmiennych środowiskowych i ludzkich, które z jednej strony wpływają na jakości środowiska, a z drugiej strony umożliwiają świadczenie usług ekosystemowych świadczonych przez sieci zadrzewień. Analizy przestrzenne w takim podejściu są możliwe do przeprowadzenia tylko przy użyciu szerokiego tematycznie i bardzo dokładnego przestrzennie zbioru danych wejściowych, kompleksowej metodyki i narzędzi GIS. Dlatego głównym celem moich badań jest rozwój wiedzy o metodach i narzędziach, które mogą wesprzeć opracowywanie strategii zarządzania na rzecz jak najefektywniejszego funkcjonowania sieci zadrzewień pasowych w krajobrazach rolniczych w zakresie dostarczania świadczeń ekosystemowych.

W kolejnych częściach autoreferatu zostaną przedstawione najważniejsze wyniki mojego dorobku habilitacyjnego. Osiągnięcie to opiera się na moich badaniach przeprowadzonych w ramach jednego grantu naukowego i opisanych w pięciu artykułach opublikowanych w czasopiśmie naukowych z Journal Citation Reports. Ponadto, dodatkowe aspekty rozważań naukowych dotyczących pasów zadrzewień zawarłem w kilku innych publikacjach (załącznik 4).

## **Opis wyników badań składających się na osiągnięcie naukowe**

### **1. Modelowanie potrzeb zadrzewieniowych (PUBLIKACJA I)**

W skład osiągnięcia naukowego wchodzi pierwsza metodyka pozwalająca na przestrzenne oszacowanie potrzeb zadrzewieniowych, które wyznaczają strefy zagrożeń środowiskowych. Zagrożenia te mogą być redukowane poprzez obecność TB jako źródło określonych usług ekosystemowych. Wyznaczane strefy AN odpowiadają obszarom wymagającym poprawy stanu środowiska, np. potrzeba ograniczenia utraty wody z gleby. Potrzeby te mogą być w znacznym stopniu zaspokojone poprzez wprowadzenie TB o określonych funkcjach w zdefiniowanych strefach AN. Wyznaczenie takich stref opiera się na różnych sposobach użytkowania gruntów i rzeczywistych zagrożeniach środowiskowych. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest wprowadzenie we właściwych miejscach TB dostarczających oczekiwany typ ES. Biorąc pod uwagę najczęściej występujące typy degradacji środowiska, wyróżniłem sześć typów AN na potrzeby opracowania metodyki przestrzennego wyznaczania stref AN:

- ograniczanie utraty wody z gleby (AN1) na podstawie danych o podatności gleb na suszę,
- ograniczenie erozji wodnej gleb (AN2) na podstawie danych o rzeczywistym zagrożeniu erozją wodną,
- ograniczanie erozji wietrznej gleb (AN3) na podstawie danych o zagrożeniu deflacją,
- redukcja spływu związków mineralnych (AN4) na podstawie wartości nachylenia, pochodzącej z modelu ukształtowania terenu oraz rozmieszczenia lasów, użytków zielonych i sieci zadrzewień,
- poprawa poziomu georóżnorodności i różnorodności biotycznej (AN5) na podstawie danych o pokryciu terenu,
  - ochrona ludzi i infrastruktury publicznej (AN6) przed emisją gazów i pyłów, wpływem wiatru i śniegu oraz erozją skarp przydrożnych na podstawie danych o terenach zabudowanych i sieci ciągów komunikacyjnych.

Test zaproponowanej metodyki sześciu kategorii AN przeprowadzono na obszarze dwóch parków krajobrazowych położonych w Polsce: Parku Krajobrazowego im. Gen. Dezyderego Chłapowskiego (strefa A) oraz Wiśnicko-Lipnickiego Parku Krajobrazowego (strefa B). AN związane z ochroną gleb na znacznej części obszaru ( $\geq 50\%$  każdego obszaru badań) były obecne dla AN1 i AN3 w obu strefach. W tej grupie AN, największy udział

powierzchni AN (91% powierzchni badawczej) odnotowano w strefie A i był to AN związany z ograniczeniem utraty wody z gleby. Natomiast udział AN związanego z ograniczaniem erozji wodnej gleb wyniósł 0% powierzchni, również w strefie A. Wytyczenie AN dla poprawy georóżnorodności wykazało, że największy odsetek wystąpił w strefie A (49% badanego obszaru), natomiast znacznie mniejszy udział wystąpił w strefie B, z wartością 12%. Wynik AN dla ograniczenia spływu związków mineralnych w obu strefach był bardzo niski w strefie A (1%) i strefie B (4%). Szósty AN, potrzeba ochrony ludzi i infrastruktury publicznej, jest istotny w strefie B (94%), a mniej ważny w strefie A (56%). Powyższe wartości AN potwierdzają, że ich rozkłady zależą od ukształtowania terenu i sposobu użytkowania gruntów. Przykładowo wysokie zagrożenie erozją wodną gleb występuje tylko w strefie B (31%), co można wiązać ze średnim nachyleniem 6,76°. Wśród badanych obszarów największe znaczenie miały AN dla poprawy georóżnorodności i różnorodności biotycznej oraz dla ograniczenia spływu związków mineralnych w strefie A, co wynikało z bardzo małej lesistości, małej powierzchni użytków zielonych i dużej powierzchni użytków rolnych. Strefa B, pomimo znacznie wyższej wartości nachylenia, charakteryzowała się bardzo niską obecnością tych AN ze względu na korzystniejszy układ form pokrycia terenu.

### **Najważniejsze wnioski:**

W ramach tej pracy zdefiniowałem podstawowe kategorie potrzeb zadrzewieniowych i zaproponowałem pierwsze podejście metodyczne umożliwiające przestrzenne szacowanie zagrożeń środowiskowych wyrażonych potrzebami zadrzewieniowymi. W zaproponowanej metodyce AN odnoszą się do łagodzenia zagrożeń środowiskowych poprzez usługi dostarczania, regulowania i wspierania na potrzeby działalności człowieka i funkcjonowania środowiska w dobrej kondycji. Dzięki oszacowaniu AN w dużej skali dokładności przestrzennej, publiczne lub prywatne środki mogą być efektywniej inwestowane w zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych i ingerencję w ekosystemy poprzez projektowanie odpowiednich sieci zadrzewień pasowych. Jak wykażę w punkcie nr 3 mojego osiągnięcia naukowego, wykorzystanie danych o potrzebach zadrzewieniowych w modelowaniu świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez TB umożliwia weryfikację czy analizowane TB są w stanie dostarczać świadczenia

ekosystemowe, dzięki którym jest możliwe zmniejszanie poziomu degradacji i zagrożeń środowiska.

Jednak zaproponowana metodyka szacowania AN wymaga dalszych prac rozwojowych. Obecnie kartowanie AN4 prowadzone jest wyłącznie na podstawie analizy wartości nachylenia oraz rozmieszczenia lasów, terenów łąkowo-pastwiskowych i pasów zadrzewień. Dalsze prace powinny uwzględniać analizę typów gleb oraz składu gatunkowego i biomasy TB w celu lepszego określenia siły ich potencjału chroniącego przed sptywem nawozów. Należy podkreślić, że oprócz kierunku przepływu, wzorce pozyskiwania składników pokarmowych w systemach rolno-leśnych są w dużym stopniu zależne od zagęszczenia korzeni wraz z odległością od drzew, co będzie silnie kontrolowane przez wiek i gatunek drzewa. Takie podejście pozwoli lepiej obliczyć rozmiary buforów oddziaływania, gdy weźmie się pod uwagę duże wybrane obszary z całą złożonością sieci zadrzewień. Ponadto, maksymalne wartości odległości euklidesowej określone do szacowania AN6 można by w przyszłych badaniach ponownie rozważyć biorąc pod uwagę różną skalę zagrożeń środowiskowych. Ważną kwestią w przyszłości będzie implementacja modelu koncepcyjnego szacowania AN do zestawu narzędzi GIS.

## **2. Modelowanie funkcji pasów zadrzewień w sieciach istniejących i planowanych (PUBLIKACJE II i III)**

Pierwszym wynikiem naukowym jest opracowanie nowego podejścia umożliwiającego prowadzenie modelowania przestrzennego rozkładu funkcji pasów zadrzewień, co jest istotne w projektowaniu wielofunkcyjnej sieci. Zdefiniowałem następujące poziomy operacyjne do procesu modelowania: A – zbiór danych tematycznych do analiz (przygotowanie danych wejściowych), B – wielokryterialna modelowanie poszczególnych funkcji TB, przygotowanie wyniku modelowania na trzech poziomach: C1 – przestrzenny rozkład występowania każdej ze zdefiniowanych funkcji TB (elementarny level), C2 - przestrzenny rozkład zdefiniowanych grup funkcji TB (semi-integrated level), C3 - przestrzenny rozkład dostępności wszystkich funkcji TB (integrated level). Doboru typów danych wejściowych dokonałem na podstawie analizowanych funkcji TB i uwzględniłem te zmienne środowiskowe, które istotnie wpływają na występowanie poszczególnych funkcji. W celu określenia struktury tematycznej modelowania funkcji TB podzieliłem je na trzy główne grupy funkcji (te same grupy zastosowane do poziomu C2) obecne na obszarze

rolniczym: modyfikacja warunków klimatycznych i wodnych, zapobieganie erozji gleb oraz poprawa georóżnorodności i różnorodności biotycznej. Wyróżnione trzy grupy wywodzą się z sześciu typów analiz w obrębie TB: analiza warunków świetlnych w zależności od usytuowania TB w stosunku do kierunków świata i ukształtowania terenu, analiza relacji między usytuowaniem TB, a dominującymi kierunkami wiatru, analiza spadków terenu, analiza wielkości działek (poziomu mozaikowatości) oraz analiza różnorodności pokrycia terenu. Aby umożliwić grupowanie i porównywanie wyników dla poszczególnych funkcji TB, w każdej analizie zastosowano jednolitą skalę oceny dostępności funkcji (1 najniższa dostępność - 5 najwyższa dostępność).

Drugim wynikiem naukowym jest implementacja powyższej procedury do zestawu narzędzi GIS. Zestaw ten, nazwany Tree Belt Modeling (TBM), został opracowany dla oprogramowania ArcGIS przy użyciu języka programowania Python i platformy Model Builder (MB). Pierwsza część zestawu narzędzi TBM umożliwia utworzenie wejściowego zestawu danych składającego się z polilinii reprezentujących przyszły układ sieci TB. Warstwa ta może być wykonana w oparciu o cyfrową bazę katastralną, topograficzną i hydrograficzną lub o istniejącą sieć zadrzewień reprezentowaną również przez zbiór polilinii. W drugiej części skrzynki narzędziowej TBM przygotowałem pięć następujących narzędzi: do analizy warunków nasłonecznienia, do analizy warunków nachylenia terenu, do analizy dominującego kierunku wiatru, do analizy wielkości działek, do analizy różnorodności krajobrazu. Trzecią część skrzynki stanowi narzędzie do przygotowania bazy wynikowej na trzech poziomach dostępności funkcji zadrzewień (C1, C2, C3). Struktura zapisu skrzynki narzędziowej TBM umożliwia jej pełną edycję i modyfikację w celu rozbudowy narzędzi, dodając nowe parametry analityczne lub przenosząc wybrane części do innych narzędzi GIS.

Z testu działania skrzynki TBM przeprowadzonego w północno-wschodniej części Parku Krajobrazowego im. gen. Dezyderego Chłapowskiego (Polska Zachodnia) wynika, że blisko połowa z 1023,12 km analizowanych linii jako potencjalnych lokalizacji TB została zakwalifikowana do czwartej i piątej klasy dostępności funkcji (odpowiednio 43,66% i 5,14%) w ramach analizy kierunku wiatrów dominujących (funkcja wiatrochronna np. ograniczenie nierównomiernej depozycji śniegu oraz redukcja erozji wietrznej). Wynik ten wskazuje na bardzo wysoką dostępność tej funkcji w potencjalnej sieci TB. Z kolei wynik

analizy spadków terenu wskazują, że najwięcej linii kwalifikuje się do pierwszej klasy (97,78%). Niska ocena wskazuje na słabą dostępność funkcji TB chroniącej przed erozją gleb ze względu na płaski charakter badanego terenu. Analiza dostępności funkcji TB na poziomie trzech grup funkcji (poziom C2) wskazuje, że np. dla funkcji redukcji erozji gleb (wietrznej i wodnej) jedynie 8,68% (88,83 km linii) zakwalifikowano do zakresu najniższej dostępności funkcji. W środkowym przedziale dostępności było 44,26% (452,8 km) badanych linii, natomiast w najwyższym 47,06% (481,49 km). Wynik ten sugeruje, że proponowane rozplanowanie działek ewidencyjnych jako potencjalnych lokalizacji pasów zadrzewień dobrze nadaje się do pełnienia funkcji ochronnej przed zjawiskami erozji gleb (w tym przypadku głównie problem erozji wietrznej). Natomiast w ramach zintegrowanego poziomu wyniku (C3) skrzynka TBM umożliwia obliczenie całkowitej dostępności funkcji TB w dwóch wymiarach: jakościowym (wartość średnia dostępności funkcji) oraz ilościowym (liczba funkcji dostępnych dla danej linii). Największa długość badanych linii (480,12 km, 46,93% wszystkich badanych linii) występuje w klasie średniej (ocena 3), a najmniejsza (0,15 km, 0,01%) w klasie najwyższej (ocena 5). Uzyskane wyniki dla trzech badanych poziomów wskazują, że na badanym obszarze dominuje średnia ocena dostępności funkcji TB dla analizowanych linii jako potencjalnych lokalizacji pasów drzew.

### **Najważniejsze wnioski**

W tej pracy zaproponowałem koncepcję modelowania funkcji pasów zadrzewień w oparciu o pięć typów w pełni zautomatyzowanych wielokryterialnych analiz przestrzennych. Zaprojektowany mechanizm umożliwił ocenę form liniowych z dokładnością danych katastralnych jako potencjalnych lokalizacji TB pod kątem ich zdolności do pełnienia funkcji przyrodniczych i gospodarczych. Moja propozycja modelowania TB i jej implementacja do zestawu narzędzi może przyczynić się do wypełnienia luki w narzędziach geoinformatycznych umożliwiającym efektywne projektowanie przyszłych sieci TB i zarządzanie już istniejącymi. Dlatego też, oprócz etapów już zdefiniowanych w literaturze (Baschak i Brown, 1995; Linehan i in., 1995; Shannon i in., 1995; Zajączkowski i in., 2001; Current i in., 2012), zaproponowana metodyka może usprawnić jeden z etapów projektowania skupiając się na poszukiwaniu optymalnej struktury TB w zakresie dostępności różnych ich funkcji. Dzięki zastosowaniu narzędzi TBM możliwe będzie określenie liczby lub długości linii reprezentujących

potencjalne lokalizacje TB lub istniejącej sieci o określonych funkcjach, np. zdolności do ograniczania siły wiatru lub erozji gleby spowodowanej sputkiwaniem. TBM pozwala w ten sposób zweryfikować, czy określone potrzeby zadrzewieniowe na danym obszarze, np. potrzeba ograniczenia erozji gleb, można zaspokoić przy pomocy obecnej lub przyszłej sieci TB. Mapa rozmieszczenia dostępnych funkcji uzyskana za pomocą narzędzi TBM może stanowić podstawę do dalszych prac nad projektowaniem sieci TB lub przebudową istniejących systemów. Ponadto, zaproponowany do analiz przestrzennych TBM układ granic działek ewidencyjnych powoduje, że uzyskany rozkład dostępnych funkcji może być bezpośrednio zastosowany w miejscach odpowiednich dla wprowadzania nowych TB. Do tej pory poziom dokładności katastralnej nie był w pełni wykorzystywany w innych pracach opisujących metody projektowania TB. Dlatego też potrzeby zadrzewieniowe danego obszaru, dokładnie zdefiniowane w pierwszym etapie procesu projektowania TB (punkt 1 mojego osiągnięcia naukowego), mogą zostać zaspokojone dzięki właściwie określonej dostępności funkcji TB. Takie podejście umożliwia odnalezienie najlepszych lokalizacji potencjalnych TB, które mogą zapewnić dostarczanie oczekiwanych przez środowisko funkcji. Zaproponowane rozwiązanie, zarówno na poziomie metodycznym, jak i technologicznym, może znacznie zwiększyć efektywność projektowania i zarządzania sieciami zadrzewień, a tym samym przyczynić się do skuteczniejszych działań na rzecz zrównoważonego rozwoju krajobrazu rolniczego.

Jednak przygotowany zestaw narzędzi TBM wymaga dalszych prac na poziomie modelu koncepcyjnego. Proponowana analiza warunków nasłonecznienia, która umożliwia ocenę wpływu lokalizacji TB na warunki świetlne, uwzględnia jedynie średnie szerokości geograficzne (~40°-60°). Utrudnia to korzystanie z zestawu narzędzi TBM na innych szerokościach geograficznych ze względu na różne kąty padania światła słonecznego. Niezbędne może być zatem przygotowanie skali punktowej odnoszącej się do innych szerokości geograficznych. Ponadto, niewielkie nachylenie terenu nie wpływa znacząco na zmienność ilości światła słonecznego docierającego do podłoża. W analizach nasłonecznienia takie obszary mogą być traktowane jako płaskie. W związku z tym celowe może być uzupełnienie zestawu narzędzi o opcję definiującą próg nachylenia terenu, powyżej którego można przeprowadzić analizę w oparciu o przyjętą skalę punktową oraz o opcję określającą przedział czasowy, dla którego oceniane będą warunki oświetleniowe.

Ponadto, mechanizm oceny stanu świetlnego należy rozszerzyć o analizę parametrów planowanej wysokości i zagęszczenia TB na podstawie wybranych gatunków drzew i krzewów. W przypadku dużej liczby niewielkich powierzchniowo działek i obecności wysokich TB powstaje ryzyko intensywnego zacieniania. Obecnie zaproponowana analiza warunków świetlnych umożliwia jedynie oszacowanie miejsc bardziej zacienionych przez istniejące lub planowane TB, bez informacji o wielkości obszaru zacienionego w wybranym przedziale czasowym. Do analizy nachylenia terenu względem przebiegu istniejących lub planowanych TB, zestaw narzędzi daje możliwość wyboru obszaru powyżej zadanego progu nachylenia, czyli wszystkich gleb podatnych na erozję wodną. Przydatne może być również uzupełnienie zestawu narzędzi o opcję umożliwiającą zdefiniowanie kilku przedziałów gradientowych odnoszących się do podatności poszczególnych typów gleb w zależności od stopnia nachylenia terenu. Dodatkowo, w aktualnej wersji zestawu narzędzi TBM nie ma formuły eliminującej powierzchnie leśne z danych wejściowych zawierających granice działek.

### **3. Wpływ struktury przestrzennej działek ewidencyjnych na dostępność świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez pasy zadrzewień (PUBLIKACJA I)**

Pierwszym wynikiem jest opracowana metodyka szacowania zdolności TB do dostarczania świadczeń ekosystemowych. Pierwsza część metodyki koncentruje się na obliczeniu dostępności potencjalnych TBF dla każdej działki, której granice stanowią potencjalne miejsca dostarczania ES. Na etap obliczeń składa się pięć analiz przestrzennych: różnorodność krajobrazu, struktura wielkości działek, ukształtowanie terenu, usłonecznienie potencjalne i dominujące kierunki wiatru. Bazując na powyższych analizach, wszystkie granice w obrębie każdej działki badanego obszaru oceniono pod kątem dostępności poszczególnych funkcji: wpływ TB na przestrzenne zróżnicowanie form pokrycia terenu (TBF1), kontrola mozaikowości krajobrazu (TBF2), ograniczenie erozji wodnej gleb (TBF3), kontrola warunków nasłonecznienia (TBF4), redukcja erozji wietrznej gleby oraz ochrona przed wiatrem i śniegiem (TBF5). Poziom dostępności każdej z pięciu funkcji oceniano według skali klas dostępności funkcji TB, która została opracowana w drugim punkcie mojego osiągnięcia naukowego „Modelowanie funkcji pasów zadrzewień w sieciach istniejących i planowanych”. Tak zaprojektowany model koncepcyjny został zaimplementowany do postaci skrzynki narzędziowej o nazwie Ecosystem Services from



Tree Belt Functions (EcoSysTBF) w aplikacji ArcGIS. Druga część metodyki koncentruje się na sprawdzeniu, czy oszacowana w pierwszej części koncepcji metodycznej dostępność funkcji potencjalnych TB będzie rzeczywiście w przyszłości zapewniać dostarczanie ES przez te TB, biorąc pod uwagę obliczone potrzeby zadrzewieniowe na badanym terenie. Do każdego z sześciu typów potrzeb zadrzewieniowych opracowanych w pierwszym punkcie mojego osiągnięcia naukowego dopasowano wybrane funkcje TB w obrębie pięciu zdefiniowanych w ramach tych badań. Dopasowanie funkcji do potrzeb zadrzewieniowych polegało na określeniu takich relacji, dzięki którym wytypowane funkcje TB są w stanie odpowiedzieć na potrzeby środowiska wyrażone poprzez potrzeby zadrzewieniowe. Na tej podstawie rozkład przestrzenny każdego typu AN porównano tylko z wybranymi potencjalnymi funkcjami TB, np. dla potrzeb zadrzewieniowych - ograniczanie erozji wodnej gleby (AN2) wybrano następujące funkcje TB: TBF1, TBF2 i TBF3. Takie podejście umożliwia wskazanie obszarów, na których ze względu na znikomy stopień zagrożeń środowiskowych planowane wprowadzenie TB nie dostarczy ES pomimo zdefiniowanej potencjalnej dostępności określonych funkcji, w miejscach granic działek, jako właściwych miejsc dla TB.

Druga część wyników dotyczy sprawdzenia, jaki jest wpływ rozplanowania działek na świadczenie usług ekosystemowych przez TB. Zastosowanie wyżej opisanej propozycji metodycznej umożliwiło pozyskanie informacji o długości granicy w każdej klasie dostępności funkcji TB w obrębie poszczególnych działek. Wynik ten przedstawiony jest również w postaci udziału procentowego długości granicy w każdej klasie dostępności funkcji TB do całkowitej długości granicy działki (procent obwodu działki). W ramach otrzymanych wyników najbardziej oczekiwanym przypadkiem jest odnotowanie dużej liczby działek w przedziale 75-100% długości granicy każdej działki dla średniej i wysokiej dostępności funkcji TB (klasy 3, 4, 5). Najbardziej niekorzystny przypadek występuje, gdy duża liczba działek mieści się w przedziale 75-100%, ale dla niskich klas dostępności (0, 1 lub 2). Szczegółowy przegląd wyników w badanych strefach A i B wskazuje, że wyniki np. dla analizy przeważającego kierunku wiatru wskazują na dominującą liczbę działek w przedziale 0-25% długości każdej granicy działki w klasie dostępności funkcji TB 1 i 5. Największy udział, tj. 95% spośród wszystkich działek w strefie A jest w klasie 5, ale niestety mieszczą się one w najniższym przedziale długości granicy tj. 0-25%. W najbardziej

oczekiwanych przedziałach największe udziały – 18% działek w strefie A i 16% działek w strefie B dotyczą trzeciej klasy dostępności funkcji TB w przedziale 75-100%. Z kolei z analizy nachylenia stoków wynika, że w strefie A 89% działek w klasie dostępności 0 należy do przedziału 75-100%. W strefie B najwięcej działek – 76% należy do klasy 0, ale dotyczy to przedziału 0-25%. Z kolei w układzie klasa dostępności 3/5 pkt. i przedziale 75-100% udziały wynoszą odpowiednio 20% dla klasy 3 i 12% dla klasy 5. Wynik trzeciej analizy – warunki nasłonecznienia, pokazuje, że większość działek występuje w przedziale 0-25% dla klasy dostępności 0 w obydwu strefach, stanowiąc 100% działek. W wyższych klasach dostępności funkcji i przedziałach liczba działek sięga 49% (strefa A) i 45% (strefa B dla klasy 3 i przedziału 75-100%). W analizie zróżnicowania krajobrazu rozkład wyników był najbardziej równomierny. Największą liczbę działek w obu strefach - ponad 68% działek obserwuje się dla przedziału 0-25% w każdej klasie dostępności funkcji TB. Najbardziej oczekiwany przypadek (klasa 5 i 75-100%) jest reprezentowany tylko przez 15% działek w strefie A i 17% działek w strefie B. Wynik analizy kontroli rozkładu przestrzennego wielkości działek pokazuje, że obie strefy mają największy udział działek klasie 0 w przedziale 75-100%, w strefie A na poziomie 82% działek i strefie B na poziomie 98% działek. W najbardziej oczekiwanych relacjach odnotowano jedynie 3% w strefie A i 0% w strefie B. Wynik ten pokazuje, że przy małej powierzchni działek w strefie A, a w szczególności w strefie B, czynnik zróżnicowania mozaiki krajobrazowej jest na dobrym poziomie. Dlatego też potencjalna dostępność TBF2 nie jest dostępna w badanych strefach. Zastosowanie pierwszej części mojej metodyki wykazało, że w dwóch strefach badawczych dostępność TBF w oparciu o położenie granic działek nie była mocno reprezentowana przez najbardziej oczekiwane wartości i wynika z położenia granic działek w stosunku do analizowanych zmiennych środowiskowych.

Ostatni etap proponowanej metodyki tj. porównanie zasięgów potencjalnych świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez TB w relacji z zasięgami poszczególnych typów potrzeb zadrzewieniowych wykazał, że największy spadek liczby działek wystąpił dla AN2 ograniczenie erozji wodnej gleb w strefie A, osiągając 100% spadek. W zakresie tego typu ochrony gleb nie zidentyfikowano AN na tym obszarze. Biorąc pod uwagę wynik tylko dla średnich i najwyższych klas dostępności, największe zmiany liczby działek w obu strefach wystąpiły dla wszystkich przedziałów w porównaniu z zasięgiem AN4 ograniczenie

splywu nawozów mineralnych oraz dla dwóch powiązanych z tym AN funkcji TB: kontroli różnicowania form pokrycia terenu (TBF1) i ograniczenie erozji wodnej gleb (TBF3). W tym przypadku średni spadek liczby działek dla strefy A i B w dwóch powyższych TBF wyniósł odpowiednio 76% i 65% oraz 71% i 76%. Tak duży spadek liczby działek wynika ze znacznie mniejszego pokrycia przez AN4 w porównaniu z potencjalnie dostępnymi funkcjami TB zidentyfikowanymi na dwóch obszarach badawczych. Równie duże spadki liczby działek w obrębie średnich i wysokich klas dostępności we wszystkich przedziałach długości granic działek odnotowano w odniesieniu do AN5 poprawa geo- i bioróżnorodności w strefach A i B dla powiązanych z tym AN funkcji TB tj. kontrola różnicowania form pokrycia terenu (TBF1) i kontrola mozaikowości krajobrazu (TBF2), z wartościami odpowiednio 51% i 43% oraz 75% i 63%. Zasięg tej AN pokazuje, że struktury krajobrazu obu stref nie trzeba pilnie poprawiać poprzez wykorzystanie TB jako dostawców świadczeń ekosystemowych. Najniższe zmiany liczby powierzchni w obrębie wszystkich klas dostępności we wszystkich przedziałach długości granic działek odnotowano w AN1 ograniczanie utraty wody z gleby w strefie A oraz w AN6 ochrony ludzi i infrastruktury publicznej w obu strefach, o wartości 4%, odpowiednio 1% i 3%. Niewielkie spadki liczby działek w tych dwóch AN pokazują, że zdolność potencjalnych TB jako dostawców świadczeń ekosystemowych jest prawie równa rzeczywistym potrzebom środowiskowym oszacowanym poprzez wyznaczanie zasięgów AN.

### **Najważniejsze wnioski:**

W opisaney pracy przedstawiono pierwszą koncepcję oceny dostępności świadczeń ekosystemowych w krajobrazie rolniczym opartej o sieci działek ewidencyjnych jako potencjalnych miejsc dla pasów zadrzewień. W proponowanej metodyce rozważane funkcje TB mogą świadczyć usługi zaopatrzeniowe, regulacyjne i wspierające działalność człowieka i środowiska w ograniczaniu zagrożeń środowiskowych wyznaczonych przez strefy AN. Moje wyniki pokazują, że skuteczność sieci TB zależy od rozplanowania granic działek, w obrębie których mogą być zaprojektowane TB. Otrzymany wynik potwierdził, że istnieje związek między strukturą użytkowania gruntów rozmieszczeniem AN i dostępnością ES pochodzącą z potencjalnych pasów zadrzewień. Jednak ostateczny wniosek w dwóch badanych strefach wykazał, że granice działek jako potencjalny dostawca ES nie zawsze były w stanie sprostać zidentyfikowanym AN ze względu na niskie

wartości dostępności funkcji TB obliczone dla układu granic. Co więcej, w wielu przypadkach w moich dwóch obszarach badawczych dostępność ES zapewnianych przez potencjalne TB, po ograniczeniu narzuconym przez rozkład przestrzenny poszczególnych typów AN, była znacznie niższa niż wynik drugiego kroku pokazujący potencjalne możliwości TB jako dostawców ES. Dlatego też, biorąc pod uwagę założenie, że do tworzenia TB w procesie projektowania najczęściej wykorzystuje się ewidencyjne lub inne „wewnętrzne” systemy granic działek w krajobrazie rolniczym, należy podkreślić, że położenie granic w odniesieniu do różnych zmiennych środowiskowych i potrzeb może wpływać na obecną i przyszłą strukturę krajobrazu.

Biorąc pod uwagę korzyści dla środowiska i działalności człowieka zapewniane przez sieci TB, wiedza na temat metod oceny krajobrazu zorientowanych na świadczenia ekosystemowe ma kluczowe znaczenie w zarządzaniu i kształtowaniu obszarami nieleśnymi. Zaproponowana metodyka może pomóc w szacowaniu indywidualnych korzyści w kategoriach wartości rynkowej produktów rolnych oraz ocenie korzyści publicznych, ponieważ wciąż brakuje mierników ekonomicznych do pomiaru tych wyników. W ten sposób fundusze publiczne lub prywatne mogłyby być inwestowane skuteczniej, gdy gromadzenie danych o składnikach i funkcjach ekosystemów za pomocą metod modelowania stanowi podstawę ocen środowiskowych, a tym samym podstawę zrównoważonego użytkowania różnorodności biologicznej, ekosystemów i zasobów naturalnych. Moja metodyka daje zarządcom krajobrazu rzeczywistą możliwość oszacowania, czy struktura krajobrazu, widziana przez układ działek, może zapewnić rzeczywiste świadczenia ekosystemowe zapewniane przez granice działek jako często wybierana przestrzeń dla TB. Zaproponowane w mojej metodyce podejście oparte na układzie działek i etap szacowania rozmieszczenia sześciu typów AN pozwalają realistycznie określić, które z potencjalnie dostępnych funkcji TB można wykorzystać do redukcji określonych zagrożeń środowiskowych. Co więcej, wykorzystując skumulowany efekt wszystkich sześciu AN, właściciele gruntów mogą określić miejsca o największym zapotrzebowaniu na TB, jako tzw. hotspoty świadczeń ekosystemowych. Ponadto, zaproponowana koncepcja może być również wykorzystana do oceny dostępności świadczeń ekosystemowych istniejącej sieci TB. Jednak biorąc pod uwagę, że układ ewidencyjny nie zawsze odzwierciedla rzeczywisty podział krajobrazu, najmniejsze

przestrzennie układy pól przeznaczonych do wykorzystania jako TB mogą być zupełnie inne. Dlatego moja metodyka nadaje się do zastosowania w każdym typie aranżacji działek krajobrazowych, dzięki czemu proponowana koncepcja może być również zastosowana w różnych skalach i układach przestrzennych.

Zaproponowana metodyka wymaga dalszego rozwoju koncepcyjnego w celu wypuklenia relacji pomiędzy pojedynczym TB, a procesem projektowania całej sieci. Ważnym przedmiotem badań byłaby także analiza dostępności funkcji TB biorąca pod uwagę stosunek powierzchni działki do jej obwodu. W obecnym podejściu brana jest pod uwagę jedynie liczba działek, których granice mają różny poziomy dostępności świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez TB. Duża liczba działek o średniej i wysokiej dostępności funkcji TB w strefie B w niektórych typach AN wynika ze specyfiki obszaru, tj. dużej liczby działek, ale o bardzo małych powierzchniach. Biorąc pod uwagę dominujące kształty działek w strefie B – wąskie i długie formy – istotna jest ocena, czy wszystkie granice działek o wysokim potencjale TBF mogą być wykorzystane jako dostawcy świadczeń ekosystemowych poprzez obecność TB. Istnieje bowiem ryzyko, że TB znajdujące się zbyt blisko siebie nie będą pełnić funkcji wskazanych w procesie modelowania. Istotne jest więc sprawdzenie czy długość i rozmieszczenie przestrzenne granic działek z określonymi w procesie modelowania funkcjami TB, które mają zaspokajać potrzeby zadrzewieniowe, są wystarczające do ich realizacji. Ponadto, dostępność funkcji TB będzie również związana ze składem gatunkowym oraz wiekiem drzew i krzewów. Co więcej, biomasa drzew i krzewów zależna od warunków siedliskowych i odstępu czasowego między datą sadzenia a momentem, w którym TB może dostarczyć świadczenia ekosystemowe, musi być również wzięta pod uwagę w pracach nad rozwojem metodyki.

#### **4. Wykrywanie i szacowanie wskaźnika porowatości w pasach zadrzewień przy użyciu danych LiDAR (PUBLIKACJA IV)**

Wynikiem naukowym jest opracowanie nowego podejścia metodycznego do szacowania i mapowania porowatości TB z wykorzystaniem danych LiDAR. Proces szacowania porowatości jest wyrażony poprzez obliczenie frakcji luk w TB z bardzo dużą dokładnością przestrzenną i w wymiarze 3D. Proces szacowania porowatości TB składa się z trzech części:

- analiza chmury punktów - ta część wymaga użycia danych LiDAR i warstwy z zasięgiem pokrycia przez TB w celu wyodrębnienia podzbioru chmury punktów i obliczenia znormalizowanego modelu pokrycia terenu (nDSM) dla każdego TB. Biorąc pod uwagę gęstość chmury punktów, najbardziej niezawodna rozdzielczość przestrzenna dla opracowanego nDSM opartego na LiDAR wynosiła 1 m i taka dokładność stała się podstawą do oszacowania poziomu porowatości TB. Następnie TB podzielono na przekroje poziome co 1 m wysokości jako trzeci wymiar powstającej macierzy TB, która w ten sposób stała się macierzą wokselową TB. Na podstawie takiej macierzy 3D przeprowadzono obliczenia liczby punktów skanowania laserowego odbitych od roślinności w każdym wokselu TB. Wynik obliczeń jest również prezentowany jako procent punktów w obrębie wszystkich wokseli w danym przekroju poziomym TB o zdefiniowanym przedziale wysokości. Zaproponowana metodyka umożliwia wybór dwóch typów punktów laserowych do analizy - punkty pierwszego odbicia lub wszystkie echa odbicia. Język skryptowy Python w wersji 3.7 został użyty do zaimplementowania proponowanej koncepcji do narzędzia nazwanego Tree Belt Gap Detection w ramach oprogramowania ArcGIS Pro (ESRI).

- wykrywanie porowatości - ta część opiera się na założeniu, że tylko woksele bez reprezentacji punktów ze skanowania laserowego można zaliczyć do luk TB wpływających na porowatość TB. W pierwszym kroku, na podstawie rastrów wynikowych uzyskanych za pomocą narzędzia Tree Belt Gap Detection, określana jest maksymalna wysokość każdego TB dla każdej kolumny wokseli. Etap ten umożliwia obliczenie objętości wokseli z punktami laserowymi i bez nich, biorąc pod uwagę każdy woksel poniżej najwyższego zawierającego punkty laserowe w analizowanym TB. Dzięki temu możliwe jest oszacowanie objętości luk i biomasy TB.

- wizualizacja porowatości - ta część jest oparta o agregację luk (wokseli bez punktów LiDAR) i biomasy (woksela zawierające punkty LiDAR) na całej długości i szerokości analizowanego TB. Oszacowanie procentowej porowatości uzyskano, obliczając stosunek objętości wokseli reprezentujących luki do całkowitej liczby wokseli w TB. To obliczenie przeprowadzono w obrębie całego TB, ale osobno w każdej kolumnie wokseli (wymiar pionowy) i rzędzie (wymiar poziomy). Dzięki wokselizacji co 1 m<sup>3</sup> TB możliwe było określenie, w jaki sposób frakcja luk rozkłada się w ramach długości, szerokości i wysokości TB. Ostateczny wynik jest reprezentowany przez tzw. przekrojowe wykresy diagnostyczne

porowatości TB, na których podstawie możliwe jest wykonanie przestrzennie uogólnionej mapy sylwetki TB przedstawiające jego porowatość. Porowatość obliczana jest w procentach, gdzie 0% to brak luk.

Przeprowadzenie testu oszacowania porowatości TB wyrażonej lukami w drzewostanie wskazuje, że jego objętość wraz z przerwami pod okapem (biomasa roślinności + luki) była istotnie większa niż objętość biomasy roślinności bez luk ( $V = 66$ ,  $p < 0,004$ ). Wynik ten sugeruje, że uwzględnienie luk (pustych wokseli) powoduje przeszacowanie objętości TB. W jedenastu przebadanych TB różnica między objętościami z lukami i bez nich jest zróżnicowana. Na przykład w TB 9 luki stanowiły ponad połowę objętości TB (wysoka porowatość), podczas gdy w TB 8 frakcja luk była niska (niska porowatość). Cienie drzew i krzewów potwierdziły widoczne na ortofotomapie, że wysokość roślinności TB 8 była niższa w porównaniu z innymi TB, a większa powierzchnia była pokryta krzewami, więc pod okapem występowała bardzo mała frakcja luk. Z kolei trudno było potwierdzić wysoką porowatość TB 9 ze względu na jego orientację wschód-zachód i najmniejszy możliwy cień. Weryfikacja wyniku szacowania porowatości poprzez analizę cienia na ortofotomapie na jest możliwa dla największego i najstarszego spośród wszystkich analizowanych TB 11. Warto zauważyć, że wiele starych gałęzi wewnątrz tego pasa było pozbawionych liści. Ponadto, dominującym gatunkiem TB 11 była *Robinia pseudoacacia*, co negatywnie wpływało na wzrost innych roślin w jej otoczeniu. Obecność luk pod okapem potwierdza brak cienia w wielu miejscach wzdłuż tego pasa. Duże zróżnicowanie zagęszczenia roślinności obserwuje się dla TB 10, na które składa się *Alnus glutinosa* wzdłuż cieku wodnego. Dolna część tego pasa jest regularnie przycinana w celu zapewnienia prawidłowego odpływu wody. Taka sama praktyka pielęgnacyjna jest realizowana dla TB 5 i 7, które są typowymi alejami przydrożnymi pozbawionymi krzewów. Przekroje poziome TB uzyskane za pomocą mojego narzędzia potwierdziły, że największa pusta przestrzeń w TB 5 występuje w przedziałach wysokościowych 0-2 i 2-5 metrów nad ziemią. Jednak najmniejszą różnicę w zagęszczeniu TB między klasami wysokości zaobserwowano dla TB 8 ze względu na duży udział krzewów i młody wiek drzew. Ponadto roślinność jest bardzo gęsta i posadowiona blisko poziomu gruntu, a pod okapem nie ma znaczących luk, które zwiększałyby różnice w objętości TB obliczonej z lukami i bez luk. Dlatego też punkty ze skaningu laserowego były licznie reprezentowane na dwóch najniższych przekrojach

poziomych w TB 8. Pas nr 6 zawierał niewielką frakcję luk, mimo że był typową aleją drzew. Dominującym gatunkiem drzewa w TB 6 jest *Ulmus laevis* z młodymi koronami dobrze rozwiniętymi na każdej wysokości analizowanych osobników, w zasadzie bez luk między nimi. Inny wynik wykrywania porowatości uzyskałem dla TB 3, w którym luki występują w dwóch górnych klasach wysokości. Luki te znajdują się między dwoma zewnętrznymi rzędami *Populus alba*, szybko rosnącego drzewa przeznaczonego do produkcji drewna. Chociaż luki te znajdują się w górnej części pasa, zdalne wykrywanie przy użyciu danych obrazowych byłoby trudne. Wysoka porowatość w górnej części pasa może zwiększać turbulencje i prędkość wiatru zawietrzego w pobliżu powierzchni gruntu. Wszystkie powyższe wyniki zostały poparte inspekcją terenową lokalizacji i struktury TB, która wykazała ogólną zgodność ze wskaźnikiem porowatości TB opartym na LiDAR.

### **Najważniejsze wnioski:**

Aby ułatwić szacowanie porowatości TB na dużych obszarach, ale zachowując dobrą dokładnością przestrzenną, zaproponowałem nowy wskaźnik porowatości w pasach zadrzewień oparty o zastosowanie danych LiDAR. Nowa metodyka szacowania i wizualizowania przestrzennego porowatości TB wyrażana jest przez obliczenie frakcji luk pod i wewnątrz okapu drzew. W oparciu o jedenaście różnych TB etap testowy proponowanej metodyki wykazał znaczną poprawę w szacowaniu objętości roślinności i frakcji luk w TB. To podejście wykazało, że dane LiDAR są odpowiednie do szacowania porowatości w TB, w których luki nie zawsze są widoczne na zdjęciach lotniczych, nawet jeśli obrazy mają wysoką rozdzielczość przestrzenną. W oparciu o nową koncepcję metodyki opracowałem wtyczkę ArcGIS Pro o nazwie Tree Belt Gap Detection tool, przeznaczoną do obliczania frakcji luk w pasach drzew. Ponadto, w oparciu o wysokościowe przekroje poziome TB jako wynik zastosowania nowego narzędzia, opracowałem sposób wizualizacji porowatości TB w ujęciu statystycznym (tzw. diagnostyczne wykresy przekrojowe porowatości TB) i graficznym (tzw. mapy sylwetki TB).

Na podstawie rzetelnej oceny porowatości zarządcy terenowi mogą łatwiej planować i monitorować rozmieszczenie świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez pasy zadrzewień (ochrona przed wiatrem, zapobieganie erozji gleby, prawidłowa redystrybucja śniegu, sekwestracja dwutlenku węgla, różnorodność biologiczna, korytarze ekologiczne, usłonecznienie / zacienienie, wilgotność gleby). Jak wspomniałem w punkcie dotyczącym



modelowania funkcji TB, ważnym czynnikiem wpływającym na skuteczność funkcji wiatrochronnej jest również położenie TB względem dominującego kierunku wiatru. Ponadto, jak pokazuje mój wynik, uwzględnienie luk w objętości roślinności zawyża rzeczywistą objętość, a tym samym biomasę roślinności. Tak więc zaproponowana metoda może służyć nie tylko do oceny porowatości pod kątem wydajności funkcji wiatrochronnej, ale także do precyzyjniejszego szacowania objętości roślinności w celu bardziej wiarygodnej oceny możliwości sekwestracji węgla. Ponadto, sieci TB są stosowane w celu łagodzenia skutków zmian klimatu w wielu międzynarodowych ramach i strategiach środowiskowych, np. we wspólnej polityce rolnej UE (CAP, 2017). Dlatego też, jako jeden z oczekiwanych etapów projektowania i zarządzania sieciami TB, moje wyniki mogą wspierać rozwój metod zarządzania w celu poprawy efektywności ES dostarczanych przez sieci pasów zadrzewień w zrównoważonym rolnictwie czy w ramach badań nad ekologią krajobrazu. Ponadto, zaproponowane podejście może być zastosowane do precyzyjnej oceny zwartości również innych nieliniowych typów roślinności, takich jak lasy, sady czy pojedyncze drzewa i krzewy.

Etap testowy proponowanej metodyki wykazał, że jakość danych LiDAR w zakresie stanu ulistnionego i bez liści jest istotna dla skuteczności wyniku. Prawdopodobieństwo dotarcia wiązek laserowych do wnętrza TB w sezonie liściastym nawet przy bardzo dużym zagęszczeniu skaningu laserowego jest ograniczone. W rezultacie oprócz luk rzeczywistych w warunkach liściastych rejestrowane są również tzw. luki fałszywe pod okapem. Fałszywe luki to wewnętrzne części TB, do których nie docierają wiązki laserowe ze względu na gęstą roślinność w zewnętrznej części pasa. Aby zmniejszyć możliwą frakcję fałszywych luk, postanowiłem zaznaczyć wszystkie 1-metrowe woksele z co najmniej 1 punktem laserowym jako roślinnością. Tylko całkowicie puste woksele sklasyfikowałem jako luki. Możliwe zwiększenie rozdzielczości wokseli do rozdzielczości poniżej metra generowałoby więcej możliwych fałszywych luk. Dlatego też rozdzielczość wyniku 1 m uznałem za kompromis między niezawodnością, a precyzją dla testowanej chmury punktów. Ponadto, ryzyko wykrycia fałszywych luk nagle maleje, jeśli powietrzny LiDAR zostałaby pozyskany w warunkach ulistnienia. W okresie opadania liści dane LiDAR mogą dostarczyć informacji na temat wewnętrznej struktury TB, pokazując na przykład gałęzie wewnątrz koron drzew. Z kolei biomasa drzew oparta na danych LiDAR uzyskanych w sezonie ulistnionym może

być niedoszacowana, dlatego fuzja danych LiDAR z obydwu momentów fenologicznych może dostarczyć informacji o pełnej strukturze roślinności w wewnętrznej i zewnętrznej części TB oraz zmniejszając ryzyko wykrycia fałszywych luk. Moje dalsze analizy skupią się na określeniu, w jaki sposób gęstość chmury punktów połączonej z produktów skaningu lotniczego i z pułapu bezzałogowego statku powietrznego, a także zmiany gęstości roślinności zadrzewień w różnych porach roku wpływają na szacowanie porowatości TB. W przyszłych pracach nad porowatością pasów zadrzewień chciałbym postawić następujące pytania badawcze: jaka jest wystarczająca gęstość skanowania i kąt skanowania, aby uzyskać informacje o porowatości TB poniżej metra dokładności, uwzględniając luki pod okapem TB? Jak wielkość woksela wpływa na dokładność wykrywania porowatości TB? Jaką liczbę punktów laserowych w wokselu należy traktować jako obecność roślinności? Jak zmienia się wielkość porowatości w zależności od pory roku, składu gatunkowego i budowy TB?

#### **5. Modelowanie pasów zadrzewień pod kątem szacowania potencjalnego nasłonecznienia i efektu zacienienia (PUBLIKACJA V)**

Uwzględnienie ciągłych przestrzennie informacji na poziomie każdego drzewa lub krzewu w projektowanym TB oraz informacji o ukształtowaniu terenu może dostarczyć dobrych jakościowo danych do zastosowań w rolnictwie i w ramach ekologii krajobrazu. Dlatego też, aby zapewnić naukowcom i praktykom obraz przedstawiający przestrzenne rozmieszczenie TB w ujęciu ich wpływu na usłonecznienie potencjalne, opracowałem wtyczkę do oprogramowania QGIS „Tree Belt Designer” (wtyczka TBD). Wtyczka umożliwia stworzenie własnej biblioteki drzew i krzewów zawierającej atrybuty wybranych gatunków stosowanych w procesie projektowania TB (1), opracowanie odpowiedniego projektu rozkładu przestrzennego TB lub przeprojektowanie istniejących sieci z wykorzystaniem danych o układzie działek i typach gleb (2) oraz dostarczenie trójwymiarowego modelu pokryci terenu zawierającego symulacje sieci TB jako dane wejściowe do dalszych obliczeń potencjalnego usłonecznienia (3). Koncepcja wtyczki TBD składa się z trzech kroków, które są zaimplementowane do trzech narzędzi wtyczki QGIS.

- Pierwszy etap nazwany *Tree and shrub library designer*, pozwala użytkownikowi opracować własną listę gatunków drzew i krzewów potrzebnych do zaprojektowania sieci TB na badanym przez użytkownika obszarze. Krok ten zaimplementowany w narzędziu

wtyczki QGIS składa się z trzech opcji i umożliwia stworzenie użytkownikowi bazy danych gatunków drzew i krzewów oraz ich podstawowych atrybutów. Szablon bazy danych zawiera jedenaście atrybutów skupiających się na morfologii gatunków i preferowanych siedliskach. Narzędzie to pozwala na pobranie szablonu biblioteki (trzecia opcja narzędzia) do wypełnienia informacjami o gatunkach za pomocą pliku w formacie \*.csv oraz zaktualizowanie bazy poprzez wybranie jego drugiej opcji. Pierwsza opcja narzędzia umożliwia edycję biblioteki wyświetlanej bezpośrednio w QGIS. Kluczowym elementem kompletowania biblioteki jest przyporządkowanie występujących na badanym terenie typów gleb do jednej z trzech klas jakościowych przydatności siedliskowej dla każdego gatunku drzew i krzewów. Zaproponowałem jedynie prosty szablon trzech klas przydatności gleb dla gatunków drzew i krzewów, natomiast zadaniem użytkownika jest uzupełnienie biblioteki poprzez wskazanie, jaki typ gleb (np. warunki przydatności dla wybranych gatunków). Klasyfikacja ta ma postać otwartą, która powinna oceniać, czy warunki środowiskowe na podstawie właściwości gleby odpowiadają potrzebom ekologicznym danego drzewa lub krzewu.

- Druga część koncepcji wtyczki TBD jest reprezentowana przez narzędzie nazwane *Tree belt designer*. To narzędzie pozwala użytkownikowi opracować własny projekt sieci TB. Wykorzystując wcześniej opracowaną bibliotekę gatunków, narzędzie pozwala na stworzenie liniowego układu zawierającego różne gatunki drzew i krzewów wybierane z listy najbardziej odpowiednich w zależności od warunków siedliskowych reprezentowanych przez typy gleby na badanym obszarze. Narzędzie składa się z dwóch opcji rysowania TB - w pierwszej kolejności narzędzie „Dodaj pojedynczy obiekt” umożliwia wybór miejsca dodania pojedynczego drzewa lub krzewu. Druga opcja o nazwie „Dodaj wiele obiektów” umożliwia jednoczesne dodanie wielu drzew lub krzewów jednego wybranego gatunku poprzez narysowanie polilinii, wzdłuż której dodawane są drzewa i krzewy w określonych odległościach. Odstęp zależy od docelowej średnicy korony drzewa lub krzewu. Na potrzeby koncepcji przyjąłem, że korony drzew lub krzewów mogą zachodzić na siebie tylko w obrębie 15% docelowej szerokości korony. Punkty reprezentujące drzewa i krzewy są interpolowane liniowo na narysowanej polilinii, gdzie ich liczba zależy od docelowej średnicy korony i długości polilinii. W tym podejściu odległość między punktami (drzewami/krzewami) liczona jest jako rozpiętość korony drzew/krzewów, ale 15% rozpiętości korony pokrywa się z kolejnymi punktami.

- Ostatnia część koncepcji nazywa się *Potential DSM designer tool*. To narzędzie pozwala użytkownikowi na stworzenie zmodyfikowanego modelu pokrycia terenu (DSM), który reprezentuje dwa rodzaje informacji: aktualne pokrycie i ukształtowanie terenu oraz projekt sieci TB wykonany przez użytkownika. Dlatego też zastosowanie narzędzia wymaga użycia dwóch danych wejściowych: rastra DSM i warstwy z projektem układu sieci TB, pochodzących z narzędzia do projektowania pasów drzewa. Na podstawie punktowej warstwy wektorowej (lokalizacje drzew i krzewów), uzyskanej za pomocą narzędzia do projektowania TB, tworzona jest warstwa buforowa, w której wartość bufora odpowiada docelowej średnicy koron drzew i krzewów. Dodatkowo, na podstawie biblioteki drzew i krzewów przypisywane są docelowe wysokości wybranych gatunków drzew i krzewów. W przypadku nachodzących na siebie buforów reprezentujących korony drzew lub krzewów narzędzie przypisuje do części wspólnej buforów wartość wyższego drzewa lub krzewu. Po procesie rasteryzacji tworzony jest raster zawierający jedynie reprezentację liniowego układu drzew i krzewów. Wartość piksela tego rastra zawiera informacje o wysokości drzew i krzewów, natomiast wartości „brak danych” są konwertowane na „0”. Ostatnim procesem w ramach użycia tego narzędzia jest połączenie dwóch modeli rastrowych: DSM reprezentującego aktualne ukształtowanie i pokrycie terenu oraz projektu sieci TB wykonanej przez użytkownika.

Test zaproponowanej metodyki przeprowadzono na niewielkim obszarze (156,25 ha) w Parku Krajobrazowym im. Gen. Dezyderego Chłapowskiego w zachodniej Polsce. W oparciu o bibliotekę gatunków drzew i krzewów użytkownika dodano nowe TB wzdłuż granic działek ewidencyjnych. Ich lokalizacje zostały określone w oparciu o DSM, a w szczególności o układ istniejącej sieci TB. Łącznie zaprojektowano 11,5 km pasów, których korony drzew i krzewów zajmują powierzchnię 12,26 ha. Na podstawie projektu sieci TB uzyskano zmodyfikowany DSM jako symulację sieci w odniesieniu do istniejącego pokrycia i ukształtowania terenu. Korzystając z aktualnego i zmodyfikowanego DSM, potencjalne usłonecznienie dla całego obszaru zostało obliczone jako suma potencjalnego usłonecznienia w każdym pikselu DSM. Różnica między średnią wartością usłonecznienia potencjalnego przed i po dodaniu TB na całym obszarze badań wyniosła wiosną 80,48 Wh/m<sup>2</sup>, latem 119,66 Wh/m<sup>2</sup>, a zimą 36,71 Wh/m<sup>2</sup>. Maksymalna wartość różnicy dla wiosny wyniosła około 65%, ale średnia dla całego obszaru wyniosła 1,5%. Największe różnice były zauważalne w miejscach, w których dodano wielorzędowe TB lub w miejscach,

w których pasy otaczały działkę o niewielkiej powierzchni, całkowicie ją zamykając. Jednym z takich przykładów jest południowo-wschodnia część badanego obszaru, gdzie TB zostały dodane na dość niewielkim obszarze wzdłuż granic działek administracyjnych. Latem maksymalna różnica nasłonecznienia potencjalnego sięgała aż 91%, ale średnia różnica dla całego obszaru kształtowała się na podobnym poziomie jak w przypadku równonocy wiosennej. Jednak różnica w stosunku do północnej strony pasa była większa niż w okresie wiosennym. Najwyższe wartości osiągnęły TB zaprojektowane w kierunku wschód-zachód, a nie w kierunku północ-południe. W ostatnim rozpatrywanym okresie - w zimie, najwyższa wartość różnicy promieniowania wyniosła 29%. Średnia różnica procentowa dla całego obszaru wyniosła 0,8% i była najniższą wartością dla trzech okresów. Podobnie jak w przypadku lata, różnica była większa od strony północnej pasów. Należy jednak podkreślić, że różnice w nasłonecznieniu potencjalnym nie były znaczące, ponieważ pojedyncze powierzchnie na badanym obszarze mają duże rozmiary. Dlatego też TB mają ograniczony wpływ na zmniejszenie nasłonecznienia w obrębie dużych działek rolnych. Jednak skupienie się na strefach buforowych TB wykazało ich znaczący wpływ na zmiany warunków oświetleniowych.

#### **Najważniejsze wnioski:**

W przedstawionej pracy opracowałem pierwszą koncepcję modelowania sieci zadrzewień pod kątem ich wpływu na usłonecznienie potencjalne. Koncepcja jest reprezentowana przez otwartą wtyczkę Tree Belt Designer w oprogramowaniu QGIS, która umożliwia tworzenie symulacji nowych TB lub dopracowywanie istniejących sieci zadrzewień w ciągłej i dokładnej przestrzennie skali. Zaproponowane podejście dostarcza modeli przestrzennego rozmieszczenia drzew i krzewów, które umożliwiają oszacowanie potencjalnego usłonecznienia bez stosowania jedynie średnich wartości parametrów drzew czy podziału powierzchni badawczych na strefy wpływu pasów na usłonecznienie potencjalne. Zaproponowany proces modelowania TB prowadzony jest z uwzględnieniem następujących czynników: dobór gatunków drzew i krzewów, ich docelowa wysokość, szerokość i kształt korony, przydatność siedliska w rozumieniu typów gleb w stosunku do wybranych gatunków, ukształtowanie i pokrycie terenu. Wynik szacowania potencjalnego usłonecznienia wykazał, że wpływ sieci TB przed i po modyfikacji nie był istotny na zmiany rozkładu usłonecznienia w przypadku dużych działek rolnych. Duża powierzchnia

pojedynczej działki i wysokość TB dochodząca do 30 m sprawiły, że znaczna część działki była potencjalnie usłoneczniona przez cały rok. Kiedy jednak skupiłem się na strefach wzdłuż granic działek, wpływ TB był bardzo widoczny. Dlatego ważne jest zastosowanie ciągłej przestrzennej skali podczas szacowania potencjalnego usłonecznienia, na które istotnie oddziałuje układ TB. Niewątpliwie, odpowiednie dane z symulacji wpływu TB na potencjalne usłonecznienie jako dane wejściowe do dalszych analiz przestrzennych podniosłyby efektywność modeli do zastosowań rolniczych, o czym wspomniałem w ogólnym wstępie do mojego osiągnięcia naukowego. Uważam, że istniejące metody modelowania przestrzeni rolniczych mogą być wzmocnione dzięki zastosowaniu zmodyfikowanych DSM uzyskanych przy użyciu wtyczki TBD. Stosując proponowaną metodykę i narzędzia, świadczenia ekosystemowe dostarczane przez TB i powiązane z warunkami oświetleniowymi mogą być skuteczniej szacowane. Pozyskanie symulacji układów przestrzennych TB w ciągłej skali przestrzennej (bez stosowania uśrednionych wartości parametrów drzew i podziałów powierzchni na kilka stref) może zwiększyć wartość modeli oraz zmniejszyć koszty i czas realizacji próbkowania w terenie. Z drugiej strony, jednym z głównych powodów braku zgody rolników z rozwojem sieci TB jest efekt cienia generowany przez nowe pasy. Taka postawa wynika z obawy przed pozorną utratą efektywności gruntów rolnych. Dlatego przestrzennie ciągła analiza lokalizacji nowych TB w oparciu o zastosowanie wtyczki TBD może wesprzeć planistów krajobrazu poprzez rzetelne informacje o tym, które scenariusze sieci dostarczą mniej lub więcej efektu cienia w strefach marginalnych gruntów ornych, łąk lub zbiorników wodnych. Dodatkowo, modelowanie warunków oświetleniowych w obrębie sieci TB może odgrywać ważną rolę w ekologicznym zarządzaniu warunkami przyrodniczymi siedlisk marginalnych, takich jak miedze, łąki, strumienie, zbiorniki wodne i drogi (np. modyfikacja mikroklimatu i wilgotności gleby), w zależności od potrzeb flory, fauny i grzybów. Stosując moje podejście, szacowanie usłonecznienia potencjalnego za pomocą symulacji aranżowania rozkładu nowych drzew i krzewów wzdłuż brzegów rzek, co modyfikuje warunki świetlne w zbiornikach wodnych, mogłoby być bardziej efektywne. Ponadto, wynik otrzymany dzięki użyciu wtyczki TBD umożliwia oszacowanie efektu nasłonecznienia/zacienienia również w obrębie nieliniowych grup drzew i krzewów lub wręcz pojedynczych osobników. Oprócz zastosowania w kształtowaniu krajobrazu rolniczego, informacje o warunkach świetlnych w obrębie sieci TB mogą być wykorzystywane do oceny wydajności farm

fotowoltaicznych w krajobrazach rolniczych. Ponadto, potencjalne zastosowanie wtyczki TBD mogłoby stać się częścią planowania przestrzennego w obszarach zurbanizowanych i ocen oddziaływania inwestycji na środowisko, ponieważ istnieje potrzeba oceny wpływu drzewostanów na promieniowanie słoneczne w obrębie chociażby istniejących lub planowanych budynków lub innej infrastruktury technicznej. Informacje te mogą pomóc w doborze gatunków drzew, mając na uwadze ich docelową wysokość i szerokość korony oraz lokalizację, co bez wątpienia przyczyni się do optymalizacji warunków świetlnych.

Ważnym zagadnieniem w opracowanej koncepcji jest analiza ryzyka nakładania się koron drzew i krzewów. W aktualnej wersji koncepcji zastosowałem podejście pozwalające na nakładanie się koron w 15% ich wspólnej powierzchni. Zakładam jednak, że użytkownicy powinni samodzielnie określać wartości nakładania się koron. Dlatego wtyczka TBD powinna zawierać definiowany przez użytkowników parametr wielkości nakładania się koron. Dodatkowo, chciałbym w przyszłości uwzględnić kształty drzew i krzewów jako istotne parametry w określaniu optymalnych gatunków dla TB poprzez wzgląd na relacje przestrzenne poszczególnych osobników tworzących pas. Należy podkreślić, że rosnące osobno drzewo lub krzew wykształci inny kształt korony niż osobniki rosnące w bezpośrednim sąsiedztwie. Ponadto, docelowa wysokość i szerokość drzew lub krzewów, która zależy, między innymi, od właściwości gleby, mogłaby być lepiej dopasowana do rodzaju gleby używanego w modelowaniu rozmieszczenia TB. W aktualnej wersji wtyczki wybór gatunków drzew lub krzewów zapewnia taką samą docelową wysokość i szerokość osobników niezależnie od wyboru klasy przydatności gleby dla drzew i krzewów. Ponadto, użycie parametru średniego rocznego wzrostu drzew mogłoby zwiększyć dokładność symulacji TB wykorzystywanych do szacowania usłonecznienia potencjalnego. Oprócz użycia informacji o właściwościach gleb we wtyczce TBD, w przyszłej jej wersji będzie można zaimplementować zastosowanie aktualnych warunków świetlnych wynikających z pokrycia i ukształtowania terenu, jako dodatkowego czynnika wpływającego na wzrost drzew i krzewów.

### **Podsumowanie osiągnięcia naukowego**

Wyniki przedstawione w moim osiągnięciu naukowym dają nowe możliwości analiz przestrzennych w zakresie sieci pasów zadrzewień na terenach rolniczych, co bezpośrednio wpisuje się w zakres ekologii krajobrazu. Ze względu na silny wpływ

człowieka na środowisko, skutkujący pogarszaniem stanu siedlisk przyrodniczych oraz wpływem zmian klimatycznych w ujęciu lokalnym i globalnym, sieci TB są obecnie często stosowane jako narzędzie wspierające ludzi i przyrodę w ograniczaniu negatywnych skutków zagrożeń środowiskowych i adaptacji do coraz trudniejszych warunków siedliskowych. Biorąc zatem pod uwagę, że znaczną część Ziemi stanowią użytki rolne, należy spodziewać się stosowania sieci zadrzewień w wielu miejscach świata. Jednak ze względu na brak zbiorów danych o dużej dokładności przestrzennej, metod i narzędzi właściwe zarządzanie i rozwój sieci TB dotychczas nie było to możliwe. Dlatego też, biorąc pod uwagę powyższy stan, postanowiłem wypełnić lukę w zakresie analiz przestrzennych rozmieszczenia sieci zadrzewień w odniesieniu do różnych czynników środowiskowych. Głównym celem mojego zainteresowania w naukowych rozważaniach z zakresu analiz sieci TB było opracowanie metodyki umożliwiającej szacowanie dostępności świadczeń ekosystemowych w potencjalnych i już istniejących sieciach. Ponadto, istotnym warunkiem w opracowaniu metodyki estymacji świadczeń ekosystemowych, nie spotykanym dotychczas w literaturze, było zastosowanie skali o wysokiej dokładności przestrzennej reprezentowanej przez układ działek ewidencyjnych. Zastosowanie tego poziomu skali umożliwiło precyzyjną ocenę, czy istniejące lub planowane TB w odniesieniu do wybranych zmiennych środowiskowych mogą dostarczać świadczeń ekosystemowych. Ponadto, dzięki opracowaniu pierwszego podejścia metodycznego umożliwiającego szacowanie potrzeb zadrzewieniowych, można jeszcze wzmocnić precyzyjność oceny dostępności ES dostarczanych przez TB. Gdy warunki siedliskowe na danym terenie nie są osłabione, nie ma potrzeby wprowadzania TB, które mogłyby poprawić np. warunki glebowe czy wodne. Dlatego też samo wykazanie dostępności ES dostarczanych przez TB wydaje się nie być istotne. Ponadto, efektywność szacowania dostępności ES może być większa, gdy dostępne są do analizy odpowiednie dane wejściowe tj. dane charakteryzujące pasy w dokładnej skali przestrzennej. W tym przypadku jednym z kluczowych typów zbiorów danych jest wiedza o zwartości TB reprezentowana przez wskaźnik porowatości oraz o wpływie sieci zadrzewień na warunki oświetleniowe. Te dwa czynniki odgrywają istotną rolę, ponieważ wpływają na dostępność kluczowych ES dostarczanych przez TB. Dlatego też, opierając się na zastosowaniu danych LiDAR, zaproponowałem pierwsze podejście metodyczne umożliwiające uzyskanie zbioru danych zawierającego informacje o porowatości TB reprezentowanej przez frakcję luk pod i



wewnątrz drzew i krzewów tworzących TB. Natomiast moja druga opracowana metoda w zakresie pozyskiwania informacji o TB daje możliwość przygotowania zbioru danych zawierającego informacje o potencjalnych warunkach świetlnych, na które ma wpływ struktura gatunkowej planowanej sieci zadrzewień i jej usytuowanie względem kierunków świata i innych form pokrycia terenu.

Podsumowując, wszystkie moje propozycje metodyczne, zaimplementowane do narzędzi GIS w otwartym środowisku informatycznym, umożliwiają wykonywanie analiz przestrzennych na potrzeby oceny dostępności świadczeń ekosystemowych dostarczanych przez sieci zadrzewień. Ponadto, wszystkie narzędzia opracowane na potrzeby mojego osiągnięcia naukowego mają bardzo prosty interfejs i wymagają jedynie minimalnej wiedzy z zakresu GIS. Jednak, jak wspomniałem w opisie mojego osiągnięcia naukowego, każda moja propozycja metodyczna wymaga dalszych prac rozwojowych w ujęciu naukowym i praktycznym. Opracowany zestaw metod umożliwia projektowanie i kształtowanie krajobrazu w celu efektywniejszego dostarczania świadczeń ekosystemowych, jako istotnego punktu rozważań w zarządzaniu krajobrazem. Stosowanie zaproponowanego podejścia może przynieść korzyści ekonomiczne rolnikom, społecznościom lokalnym i przede wszystkim środowisku przyrodniczemu. Co więcej, w oparciu o zastosowaną skalę przestrzenną analiz bazującą na działkach ewidencyjnych, znajomość wskaźnika porowatości istniejących TB oraz warunków usłonecznienia potencjalnego w ramach symulacji planowanych sieci zadrzewień, otrzymany wynik analiz może dostarczyć danych do dalszych rozważań np. wyceny pieniężnej świadczeń ekosystemowych dostarczonych przez planowane lub istniejące TB. Uważam, że opisane w osiągnięciu naukowym pierwsze kompleksowe podejście metodyczne do analiz sieci zadrzewień może znacznie zwiększyć efektywność ich planowania, a tym samym przyczynić się do skuteczniejszych działań na rzecz zrównoważonego rozwoju krajobrazów wiejskich.

### **Pozostałe kierunki i osiągnięcia naukowo-badawcze**

W ramach mojej pracy badawczej zajmowałem się również innymi zagadnieniami naukowymi związanymi z rozwojem metod GIS i możliwości ponownego wykorzystania archiwalnych zbiorów przyrodniczych, a także biogeografią i ekologią przestrzenną drzew. Poniżej opisałem moje dwie aktywności badawcze i najważniejsze wyniki.

- **Rozwój metod GIS i możliwości ponownego wykorzystania archiwalnych zbiorów przyrodniczych** (Nowak i in., 2021; Nowak i in., 2022; Jackowiak i in., 2022a; Jackowiak i in., 2022b; Lawenda i in., 2022)

Oprócz wyżej wymienionych badań nad rozwojem i zastosowaniami GIS w badaniach środowiskowych, byłem również zaangażowany w zagadnienie związane z zastosowaniem środowiska GIS i badań nad możliwościami ponownego wykorzystania danych w zakresie zbiorów historii naturalnej (NHC), np. opracowywanie kompleksowego modelu funkcjonalnego NHC w zakresie procesu digitalizacji, metadanych, sposobu udostępniania danych NHC (Jackowiak i in., 2022a; Jackowiak i in., 2022b), opracowanie metod geotagowania NHC (Nowak i in., 2021), opracowanie struktury i narzędzi portalu, aplikacji mobilnej i interfejsu graficznego (Nowak i in., 2022) opracowanie struktury metadanych i bazy danych, a także procedur operacyjnych umożliwiających dostęp online do NHC (Lawenda i in., 2022).

Dostępność archiwalnych zbiorów danych przyrodniczych w wymiarze przestrzennym, które są jednym z kluczowych sposobów pozyskiwania cennych informacji w badaniach biologicznych i ekologicznych, jest często ograniczona ze względu na analogową formę danych. Dlatego też projekty digitalizacji NHC są obecnie coraz częściej uruchamiane. Przykładem tego typu projektu jest „AMU Nature Collections – digitalizacja i udostępnianie zasobów danych przyrodniczych Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (AMUNATCOLL)”. Wszystkie opisane w tym punkcie zagadnienia naukowe zostały zrealizowane dzięki mojemu udziałowi w projekcie AMUNATCOLL. Pierwszym z nich jest nowe podejście metodyczne do udostępniania danych NHC nazwane modelem naukowym, edukacyjnym, publicznym i praktycznym (SEPP). Ponieważ grono interesariuszy w zakresie danych NHC jest szerokie, model SEPP w swoim założeniu zawiera następujące kluczowe punkty: pełny otwarty dostęp do zdigitalizowanych zbiorów, strukturę metadanych zgodną z określonymi standardami oraz wszechstronny zestaw narzędzi do eksploracji danych czy analiz statystyczno-przestrzennych. Model SEPP został zaimplementowany w systemie informatycznym AMUNATCOLL, na który składa się portal internetowy wyposażony w szeroki zestaw funkcjonalności eksploracyjnych i aplikacja mobilna przeznaczona do badań terenowych, umożliwiająca użytkownikom prowadzenie badań porównujących własne dane terenowe z danymi AMUNATCOLL.

Opracowany system informatyczny jest dostosowany do różnych grup użytkowników: naukowców, studentów, urzędników, pasjonatów przyrody. Drugim wynikiem naukowym jest metodyka procesu geotagowania, czyli nadawania współrzędnych geograficznych i atrybutów przestrzennych okazom zebranych w terenie. Chociaż w wielu badaniach zbadano proces digitalizacji NHC, nadal istnieje potrzeba opracowania przewodników dobrych praktyk oraz ujednoczonej bazy danych lub wykazu zasobów informacji geograficznej na potrzeby procesu geotagowania NHC. Dlatego też, mając na uwadze potrzebę opracowania metodyki umożliwiającej standaryzację metod geotagowania, postanowiłem stworzyć listę dostępnych on-line źródeł informacji przestrzennej oraz opracować przewodnik dobrych praktyk geotagowania NHC w oparciu o ograniczenia wynikające z specyfiki danych archiwalnych. Wyniki zaproponowanej metodyki wskazują, że dane przyrodnicze są na tyle niejednorodne pod względem jakości opisu lokalizacji miejsca zbioru lub obserwacji okazu, że nie zawsze możliwe jest ich jednoznaczne i precyzyjne geotagowanie. W związku z tym zaproponowałem wdrożenie systemu oceny i komentowania jakości przestrzennej geotagowanych rekordów. Trzeci wynik związany jest z opracowaniem interfejsów graficznych i programistycznych do udostępniania i przetwarzania online zdigitalizowanych danych NHC. Koncepcja opracowana jest w dwóch formach: portalu, który jest głównym interfejsem dostępu do danych zgromadzonych w bazie danych oraz aplikacji mobilnej, która uzupełnia funkcje związane z badaniami terenowymi i tworzeniem kolekcji użytkownika. Aby dostarczyć wymagany zestaw operacji, portal został wyposażony w uproszczone i zaawansowane wyszukiwanie, analizę statystyczną i przetwarzanie przestrzenne (narzędzia BioGIS). Ponadto, uwzględniając potrzebę otwartości i kompatybilności danych, opracowany interfejs umożliwia eksport zdigitalizowanych danych NHC z projektu AMUNATCOLL do samodzielnego przetwarzania za pomocą zewnętrznych narzędzi użytkownika. Zaproponowane interfejsy graficzne adresują wszystkie grupy docelowych odbiorców, uwzględniając ich różne cele i poziom wiedzy, a także dostosowując poziom interakcji ze względu na ograniczenia w korzystaniu z interfejsu. Czwarty wynik zawiera propozycję kompleksowego modelu opisującego strukturę metadanych określonych dla danych NHC oraz kluczowe kroki umożliwiające informatyczną operacyjność bazy danych NHC. W ramach badań opisano procedury i aspekty operacyjne związane z właściwym przechowywaniem i obsługą danych o okazach i obserwacjach biologicznych zdigitalizowanych w ramach projektu AMUNATCOLL. We

wstępnej fazie tego procesu zdefiniowano zakres metadanych, będących formalnym odzwierciedleniem struktury opisowej danych opartej o istniejące międzynarodowe standardy (w przypadku projektu AMUNATCOLL - ABCD 2.06 oraz Darwin Core (Wieczorek i in., 2012; ABCD, 2022)). Dodatkowo, zestaw parametrów wywodzący się ze standardu Darwin Core został rozszerzony o parametry istotne z punktu widzenia specyfiki i funkcjonalności opracowywanego systemu oraz zdigitalizowanych danych. Zdigitalizowana baza danych NHC w rozumieniu informatycznym została stworzona do przechowywania danych wraz z odpowiednią strukturą wzmacniającą jej efektywność operacyjną. W związku z tym proces przygotowania dużej ilości danych wymagał zautomatyzowanych procedur z dołączonymi dedykowanymi narzędziami. Takie podejście dotyczyły różnych procesów, począwszy od przygotowania danych, gdzie cyklicznie musi nastąpić konwersja, agregacja i wreszcie walidacja, która gwarantuje, że dane stosują się do określonych reguł.

- **Biogeografia i ekologia przestrzenna drzew** (Bogawski i in., 2019a; Bogawski i in., 2019; Razafimahefa et al., 2022)

Drugi zakres badawczy powiązany z moim głównym kierunkiem badań naukowych dotyczy analiz wybranych gatunków drzew w wymiarze przestrzennym, np. obecnym i przyszłym potencjalnym rozmieszczeniu wybranych gatunków draczen afrykańskich przy użyciu różnych scenariuszy zmian klimatu (Bogawski i in., 2019), zastosowaniu danych LiDAR w przestrzennym wyznaczaniu stężenia pyłku *Betula* sp. (Bogawski i in., 2019b) oraz wpływ fragmentacji siedlisk na reprodukcję generatywną *Adansonia rubrostipa* w suchych lasach liściastych zachodniego Madagaskaru (Razafimahefa i in., 2022).

Roślinność podszytu jest ściśle związana z zacienionymi i wilgotnymi warunkami panującymi pod okapem lasów tropikalnych. Jednak przewidywane zmiany klimatyczne, takie jak zmniejszenie opadów i wzrost temperatury, negatywnie wpływają na środowiska podszytu, promując gatunki światłolubne i odporne na suszę. Dlatego ważne jest ilościowe określenie wpływu zmian klimatycznych na rozmieszczenie przestrzenne trzech wybranych roślin podszytu, *D. Vand. ex L. species*, *D. afromontana* Mildbr., *D. cameroniana* Baker i *D. surculosa* Lindl., tworząc jednocześnie bazę danych lokalizacji osobników tych gatunków poprzez kwerendę kilku światowych baz zielnikowych. Łącznie zebrano, zweryfikowano i wprowadzono do bazy danych 1223 rekordy zielnikowe z obszaru Afryki pochodzące z 93

kolekcji zielnikowych. Przygotowanie tej bazy umożliwiło przeprowadzenie modelowania rozmieszczenia analizowanych gatunków wykorzystując 11 zmiennych bioklimatycznych (w dwóch kontrastowych scenariuszach przyszłej emisji CO<sub>2</sub>) z bazy danych WorldClim. Na podstawie tego zbioru danych i przy użyciu algorytmu maksymalnej entropii (Jaynes, 1957) przeprowadzono kwantyfikację zmian przyszłego potencjalnego rozmieszczenia gatunków (do 2050 r.) trzech gatunków Draceny. Wynik pokazuje, że *D. afromontana* jest najbardziej wrażliwa na temperaturę w najbardziej mokrym miesiącu i przewiduje się, że jej potencjalny zasięg geograficzny zmniejszy się (o 63,7%). Optymalne warunki dla *D. cameroniana* to niski zakres temperatur dobowych (6–8°C) oraz opady w porze najbardziej wilgotnej przekraczające 750 mm. Zasięg tego gatunku również się zmniejszy, ale nie tak drastycznie jak *D. afromontana*. *D. surculosa* preferuje wysokie opady w najzimniejszych miesiącach. Przewiduje się, że jego potencjalny obszar siedliskowy wzrośnie w przyszłości i rozszerzy się w kierunku wschodniej Afryki. *D. afromontana*, naturalnie związana z górskimi zbiorowiskami roślinnymi, była najbardziej wrażliwa na przewidywane ocieplenie klimatu. Natomiast *D. surculosa* rozszerzy swój zasięg geograficzny, niezależnie od scenariusza zmian klimatu.

Brzozy występują obficie w środkowej i północnej Europie i dominują w lasach liściastych. Brzozy są drzewami pionierskimi, które wytwarzają duże ilości alergizujących pyłków skutecznie rozpraszanych przez wiatr. Poziom obciążenia pyłkiem zależy od wielkości i lokalizacji źródeł pyłku, co jest ważne w modelowaniu prognozowania stężeń pyłku. Jednak prace na ten temat są bardzo ograniczone w porównaniu z badaniami nad antropogenicznymi zanieczyszczeniami powietrza. Dlatego, aby wypełnić ten brak naukowy, wykorzystano dane LiDAR do szacowania wielkości i lokalizacji źródeł pyłku brzozy w przestrzeni oraz do określenia ich wpływu na stężenie pyłku w Poznaniu (Polska). Zastosowanie danych LiDAR, pomiarów stężeń pyłku brzozy w powietrzu oraz danych o prędkości i kierunku wiatru umożliwiło wytyczenie 18 740 brzóz o średniej gęstości 14,9/0,01 km<sup>2</sup> na badanym obszarze. Całkowita powierzchnia korony brzozy w strefie buforowej 500–1500 m od pułapki pyłkowej była istotnie skorelowana z koncentracją pyłku agregowanego według kierunku wiatru ( $r = 0,728$ ,  $p = 0,04$ ). Wytyczenie poszczególnych koron drzew wypadło dobrze ( $r^2 \geq 0,89$ ), ale przy dużym zagęszczeniu brzozy (> 30 drzew/poletko) zaobserwowano przeszacowania. Wyniki te pokazały, że

drzewa poza lasami znacząco przyczyniają się do całkowitej puli pyłkowej. Główne przesłanie płynące z tych otrzymanego wyniku wskazuje, że uwzględnienie wymiaru pionowego i drzew poza lasem na mapach źródeł pyłkowych może potencjalnie poprawić jakość modeli prognozowania pyłkowego.

*Adansonia rubrostipa* to zagrożony endemiczny gatunek baobabu z zachodniego Madagaskaru, który jest sklasyfikowany jako gatunek najmniejszej troski (LC) na Czerwonej Liście Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody. Ze względu na wzmożoną działalność rolniczą siedlisko badanego gatunku jest intensywnie modyfikowane i poddawane fragmentacji. Aby ocenić wpływ fragmentacji siedlisk na reprodukcję generatywną *Adansonia rubrostipa*, podjęto pilotażowe badania. Produkcję owoców i nasion porównano w okresie owocowania na czterech stanowiskach: 2 stanowiskach w niezakłóconym środowisku (Rezerwat Specjalny Andranomena i Las Ampataka) oraz 2 stanowiskach w siedlisku zaburzonym (wsie Andranomena i Mangily) za pomocą uogólnionego modelu liniowego (GLM). Wynik pokazał, że produkcja owoców i nasion różniła się znacznie między dwoma typami siedlisk. Produkcja owoców była znacznie wyższa wśród osobników w siedlisku naruszonym niż osobników w siedlisku niezakłóconym (GLM: Wald  $X^2 = 31,475$ ,  $df = 1$ ,  $p < 0,001$ ), podczas gdy produkcja nasion na owoc była wyraźnie wyższa wśród osobników w siedlisku niezakłóconym niż osobników w zaburzonym siedlisku. Wydaje się, że drzewa *A. rubrostipa* poza lasem równoważą niższą liczbę nasion na owoc wyższą produkcją owoców. Jednak ten mechanizm przeciwwagi może nie wystarczyć, biorąc pod uwagę dalszą degradację siedlisk leśnych. W związku z tym należy podkreślić, że fragmentacja lasów wpływa na reprodukcję generatywną *Adansonia rubrostipa*. Dlatego też należy zaplanować w przyszłości działania ochronne oparte na teorii zrównoważonego rozwoju w krajobrazach rolniczych w celu utrzymania populacji baobabu w dobrych warunkach.

## Piśmiennictwo

ABCD, 2021. Access to Biological Collections Data standard. <https://www.tdwg.org/standards/abcd/> (dostęp 20 kwietnia 2020)

Alam, M., Olivier, A., Paquette, A., Dupras, J., Revéret, J.P., Messier, C., 2014. A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agrofor. Syst.*, 88, 679-691.

- Alexander, C., Korstjens, A.H., Hill, R.A., 2017. Structural attributes of individual trees for identifying homogeneous patches in a tropical rainforest. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, 55, 68–72.
- Ayanu, Y.Z., Conrad, C., Naus, T., Wegmann, M., Koellner, T., 2012. Quantifying and mapping ecosystem services supplies and demands: a review of remote sensing applications. *Environ. Sci. Technol.*, 46, 16, 8529-8541.
- Barton, D.N., Benjamin, T., Cerdán, C.R., DeClerck, F., Madsen, A.L., Rusch, G.M., Salazar, Á.G., Sanchez, D., Villanueva, C., 2016. Assessing ecosystem services from multifunctional trees in pastures using Bayesian belief networks. *Ecosyst. Serv.*, 18, 165–174.
- Baschak, L.A., Brown, R.D., 1995. An ecological framework for the planning, design and management of urban river greenways. *Landsc. Urban Plan.*, 33, 2, 211-225
- Bogawski, P., Damen, T., Nowak, M.M., Pędziwiatr, K., Wilkin, P., Mwachala, G., Pierzchalska, J., Wiland-Szymańska, J., 2019a. Current and future potential distributions of three *Dracaena* Vand. ex L. species under two contrasting climate change scenarios in Africa. *Ecol. Evol.*, 9, 6833–6848.
- Bogawski, P., Grewling, Ł., Dziób, K., Sobieraj, K., Dalc, M., Dylawerska, B., Pupkowski, D., Nalej, A., Nowak, M., Szymańska, A., Kostecki, Ł., Nowak, M.M., Jackowiak, B., 2019b. Lidar-derived tree crown parameters: Are they new variables explaining local birch (*Betula* sp.) pollen concentrations? *Forests*, 10.
- Brandle, J.R., Hodges, L., Zhou, X.H., 2004. Windbreaks in North American agricultural systems. *Agrofor. Syst.*, 61-62, 1-3, 65-78.
- Bueno, J.A., Tsihrintzis, V.A., Alvarez, L., 1995. South Florida greenways: a conceptual framework for the ecological reconnectedness of the region. *Landsc. Urban Plan.*, 33, 1-3, 247-266.
- Burkhard, B., Kandziora, M., Hou, Y., Müller, F., 2014. Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landsc. Online*, 34, 1-32.
- CAP, 2017. Common Agricultural Policy. Calculating the potential impacts of Ecological Focus Areas on biodiversity and ecosystem services. <https://ec.europa.eu/jrc/en/science-update/calculating-potential-impacts-ecological-focus-areas-biodiversity-and-ecosystem-services>. (dostęp: 15 maja 2022)
- Cardinael, R., Chevallier, T., Barthès, B.G., Saby, N.P.A., Parent, T., Dupraz, C., Bernoux, M., Chenu, C., 2015. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon - a case study in a Mediterranean context. *Geoderma*, 259-260, 288-299.
- Chemura, A., Yalew, A.W., Gornott, C., 2021. Quantifying agroforestry yield buffering potential under climate change in the smallholder maize farming systems of Ethiopia. *Front. Agron.*, 3, 609536.
- Chen, C., Wang, Y., Jia, J., Mao, L., Meurk, C.D., 2019. Ecosystem services mapping in practice: A Pasteur's quadrant perspective. *Ecosyst. Serv.*, 40, 101042.
- Chendev, Y.G., Sauer, T.J., Ramirez, G.H., Burras, C.L., 2015. History of East European Chernozem soil degradation; protection and restoration by tree windbreaks in the Russian steppe. *Sustainability*, 7, 1, 705-724.

- Cleugh, H.A., 1998. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agrofor. Syst.*, 41, 1, 55.
- Coops, N.C., Hilker, T., Wulder, M.A., St-Onge, B., Newnham, G., Siggins, A., Trofymow, J.A., 2007. Estimating canopy structure of Douglas-fir forest stands from discrete-return LiDAR. *Trees*, 21, 295–310.
- Current, D., Sackett, J., Wyatt, G., Zamora, D., 2012. Selecting trees and shrubs in Windbreaks. University of Minnesota Extension. <http://www.extension.umn.edu/environment/agroforestry/selecting-trees-shrubswindbreaks/selecting-trees-shrubs-windbreaks.html> (dostęp 20 marca 2023)
- David, C.A., Rhyner, V., 1998. An assessment of windbreaks in Central Wisconsin. *Agrofor. Syst.*, 44, 313–331.
- de Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., Dearing, J.A., 2015. Remote sensing of ecosystem services: A systematic review. *Ecol. Indic.*, 52, 430–443.
- de Araujo Barbosa, C.C., Atkinson, P.M., Dearing, J.A., 2015. Remote sensing of ecosystem services: a systematic review. *Ecol. Indic.*, 52, 430–443.
- de Groot, J.C.J., Jellema, A., Rossing, W.A.H., 2010. Designing a hedgerow network in a multifunctional agricultural landscape: balancing trade-offs among ecological quality, landscape character and implementation costs. *Eur J Agron*, 32, 1, 112–119.
- Deng, R.X., Li, Y., Wang, W.J., Zhnag, S.W., 2013. Recognition of shelterbelt continuity using remote sensing and waveform recognition. *Agrofor. Syst.*, 87, 827–834.
- Dilla, A., Smethurst, P.J., Barry, K., Parsons, D., Denboba, M., 2018. Potential of the APSIM model to simulate impacts of shading on maize productivity. *Agrofor. Syst.*, 92, 1699–1709.
- Dupraz, C., Burgess, P., Gavaland, A., Graves, A., Herzog, F., Incoll, L.D., van der Werf, W., 2005. Synthesis of the Silvoarable Agroforestry for Europe Project. INRA-UMR System Editions, European Union
- Dupuy, S., Lainé, G., Tassin, J., Sarrailh, J.-M., 2013. Characterization of the horizontal structure of the tropical forest canopy using object-based LiDAR and multispectral image analysis. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, 25, 76–86.
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.A., Justes, E., Journet, E.P., Aubertot, J.N., Savary, S., Bergez, J.E., Sarthou, J.P., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 35,4 ,1259-1281.
- El Bilali, H., Strassner, C., Ben Hassen, T., 2021. Sustainable agri-food systems: Environment, economy, society, and policy. *Sustainability*, 13, 11.
- FAO, 2022. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture - Systems at breaking point. Synthesis report 2022.
- Flink, C.A., Searns, R.A., 1993, *Greenways: a guide to design and planning*. Island Press, Washington, D.C.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K., 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309, 570-574.



- Fremier, A.K., Kiparsky, M., Gmur, S., Aycrigg, J., Craig, R.K., Svancara, L.K., Goble, D. D., Cosens, B., Davis, F.W., Scott, J.M., 2015. A riparian conservation network for ecological resilience. *Biol. Conserv.*, 191, 29-37.
- Fuller, R.J., Trevelyan, R.J., Hudson, R.W., 1997. Landscape composition models for breeding bird population in lowland English farmland over a 20 year period. *Ecography*, 20, 295-307.
- Gardiner, B., Palmer, H., Hislop, M., 2006. The principles of using woods for shelter. Forestry Commission Information Note, 81. Forestry Commission, Edinburgh.
- Giordano, L., Riedel, P., 2008. Multi-criteria analysis for demarcation of greenway: a case study of the city of Rio Claro, Sao Paulo, Brazil. *Landsc. Urban Plan.*, 84, 3-4, 301-311.
- IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- Iwasaki, K., Torita, H., Abe, T., Uraike, T., Touze, M., Fukuchi, M., Sato, H., Iijima, T., Imaoka, K., Igawa, H., 2019. Spatial pattern of windbreak effects on maize growth evaluated by an unmanned aerial vehicle in Hokkaido, northern Japan. *Agrofor. Syst.*, 93, 1133-1145.
- Jackowiak, B., Lawenda, M., Nowak, M. M., Wolniewicz, P., Błoszyk, J., Urbaniak, M., Szkudlarz, P., Jędrasiak, D., Wiland-Szymańska, J., Bajaczyk, R., Meyer, N., 2022b. Open Access to the Digital Biodiversity Database: A Comprehensive Functional Model of the Natural History Collections. *Diversity*, 14, 596.
- Jackowiak, B., Błoszyk, J., Dylewska, M., Nowak, M.M., Szkudlarz, P., Lawenda, M., Meyer, N., 2022a. Digitization of and online access to data from the natural history collections of Adam Mickiewicz University in Poznań: Assumptions and implementation of the AMUNATCOLL project. *Biodivers. Res. Conserv.*, 65, 23–34.
- Jaynes, E.T., 1957. Information Theory and Statistical Mechanics. *Physical Review*. 106: 620-630.
- Jensen, M., 1985. The aerodynamics of shelter. In: Sand dune stabilization, shelterbelts and afforestation in dry zones. FAO Conservation Guide 10. Rome
- Jose, S., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agrofor. Syst.*, 76, 1-10.
- Kędziora, A., Olejnik, J., Kapuściński, J., 1989. Impact of landscape structure on heat and water balance. *Ecol. Intern. Bul.*, 17, 1-11.
- Kenney, W.A., 1987. A method for estimating windbreak porosity using digitized photographic silhouettes. *Agric. For. Meteorol.*, 39, 2-3, 91–94.
- Koohafkan, P., Altieri, M.A., Holt Gimenez, E., 2012. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *Int. J. Agric. Sustain.*, 10, 61-75.
- Kort, J., Bank, G., Pomeroy, J., Fang, X., 2012. Effects of shelterbelts on snow distribution and sublimation. *Agrofor. Syst.*, 86, 335-344.

- Larcher, F., Baudry, J., 2013. Landscape grammar: A method to analyse and design hedgerows and networks. *Agrofor. Syst.*, 87, 181-192.
- Lawenda, M., Wiland-Szymańska, J., Nowak, M.M., Jędrasiak, D., Jackowiak, B., 2022. The Adam Mickiewicz University Nature Collections IT system (AMUNATCOLL): metadata structure, database and operational procedures. *Biodivers. Res. Conserv.*, 65, 35–48.
- Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Acker, S., Parker, G.G., Spies, T., Harding, D., 1999. Lidar remote sensing of the canopy structure and biophysical properties of Douglas-fir western hemlock forests. *Remote Sens. Environ.*, 70, 3, 339–361.
- Liknes, G.C., Meneguzzo, D.M., Kellerman, T.A., 2017. Shape indexes for semi-automated detection of windbreaks in thematic tree cover maps from the Central United States. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 59, 167–174.
- Lin, B.B., 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agric For Meteorol.*, 150, 4, 510-518.
- Linehan, J., Gross, M., Finn, J., 1995. Greenway planning: developing a landscape ecological network approach. *Landsc. Urban Plan.*, 33, 1-3, 179-193.
- Loeffler, A.E., Gordon, A.M., Gillespie, T.J., 1992. Optical porosity and windspeed reduction by coniferous windbreaks in Southern Ontario. *Agrofor. Syst.*, 17, 119-133.
- Luedeling, E., Smethurst, P.J., Baudron, F., Bayala, J., Huth, N.I., van Noordwijk, M., Ong, C.K., Mulia, R., Lusiana, B., Muthuri, C., Sinclair, F.L., 2016. Field-scale modeling of tree-crop interactions: Challenges and development needs. *Agric. Syst.*, 142, 51–69.
- Malinga, R., Gordon, L.J., Jewitt, G., Lindborg, R., 2015. Mapping ecosystem services across scales and continents – A review. *Ecosyst. Serv.*, 13, 57–63.
- Marconi, L., Armengot, L., 2020. Complex agroforestry systems against biotic homogenization: the case of plants in the herbaceous stratum of cocoa production systems. *Agric Ecosyst Environ*, 287, 106664.
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M.J., 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277, 504-509.
- MEA -The Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington D.C.
- Moreno, G., Aviron, S., Berg, S., Crous-Duran, J., Franca, A., de Jalón, S.G., Hartel, T., Mirck, J., Pantera, A., Palma, J.H.N., Paulo, J.A., Re, G.A., Sanna, F., Thenail, C., Varga, A., Viaud, V., Burgess, P.J., 2018. Agroforestry systems of high nature and cultural value in Europe: provision of commercial goods and other ecosystem services. *Agrofor. Syst.*, 92, 877-891.
- Muraoka, H., Koizumi, H., 2009. Satellite ecology (SATECO)-linking ecology, remote sensing and micrometeorology, from plot to regional scale, for the study of ecosystem structure and function. *J. Plant Res.*, 122, 3–20.
- Norton, L., Greene, S., Scholefield, P., Dunbar, M., 2016. The importance of scale in the development of ecosystem service indicators? *Ecol. Ind.*, 61, 1, 130–140.

- Nowak, M.M., Lawenda, M., Wolniewicz, P., Urbaniak, M., Jackowiak, B., 2022. The Adam Mickiewicz University Nature Collections IT system (AMUNATCOLL): portal, mobile application and graphical interface. *Biodiv. Res. Conserv.*, 65, 49–67.
- Nowak, M.M., Stupecka, K., Jackowiak, B., 2021. Geotagging of natural history collections for reuse in environmental research. *Ecol. Indic.*, 131.
- Onsamrarn, W., Chittamart, N., Tawornpruek, S., 2020. Performances of the WEPP and WaNuLCAS models on soil erosion simulation in a tropical hillslope, Thailand. *PLoS One*, 15, 11.
- Osorio, R.J., Barden, C.J., Ciampitti, I.A., 2019. GIS approach to estimate windbreak crop yield effects in Kansas-Nebraska. *Agrofor. Syst.*, 93, 1567-1576.
- Ottomano Palmisano, G., Govindan, K., Loisi, R.V., Dal Sasso, P., Roma, R., 2016. Greenways for rural sustainable development: an integration between geographic information systems and group analytic hierarchy process. *Land Use Policy*, 50, 429–440.
- Palacios-Orueta, A., Huesca, M., Whiting, M.L., Litago, J., Khanna, S., Garcia, M., Ustin, S.L., 2012. Derivation of phenological metrics by function fitting to time-series of spectral shape indexes AS1 and AS2: Mapping cotton phenological stages using MODIS time series. *Remote Sens. Environ.* 126, 148–159.
- Pansak, W., 2015. Assessing rubber intercropping strategies in northern Thailand using the water, nutrient, light capture in agroforestry systems model. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 49, 785–794.
- Peichl, M., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Huss, J., Abohassan, R.A., 2006. Carbon sequestration potentials in temperate tree-based intercropping systems, southern Ontario, Canada. *Agrofor. Syst.*, 66, 243-257.
- Pena, S.B., Abreu, M.M., Teles, R., Espirito-Santo, M.D., 2010. A methodology for creating greenways through multidisciplinary sustainable landscape planning. *J. Environ. Manage.*, 91, 4, 970–983.
- Plowright, A.A., Coops, N.C., Eskelson, B.N.I., Sheppard, S.R.J., Aven, N.W., 2016. Assessing urban tree condition using airborne light detection and ranging. *Urban For Urban Green*, 19, 140–150.
- Power, A.G., 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, 365, 2959-2971.
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G.D., 2016. Scale and ecosystem services: how do observation, management, and analysis shift with scale—lessons from Quebec. *Ecol. Soc.* 21 (3), 16.
- Razafimahefa, A.L., Nowak, M.M., Bogawski, P., Leong Pock Tsy, J.M., Faramalala, M.H., Rabakonandrianina, E., Roger, E., Razanamaro, O.H., 2022. Effect of habitat fragmentation on the generative growth of *Adansonia rubrostipa* in dry deciduous forest in western Madagascar. *Glob. Ecol. Conserv.*, 34, e02022.
- Řeháček, D., Khel, T., Kučera, J., Vopravil, J., Petera, M., 2017. Effect of windbreaks on wind speed reduction and soil protection against wind erosion. *Soil Water Res.*, 12, 2, 128-135.
- Ritchie, H., Roser, M., 2021. Deforestation and Forest Loss - Our World in Data. <https://ourworldindata.org/deforestation#the-world-has-lost-one-third-of-its-forests-but-an-end-of-deforestation-is-possible> (dostęp 20 marca 2023)

- Ruiz-Martinez, I., Marraccini, E., Debolini, M., Bonari, E., 2015. Indicators of agricultural intensity and intensification: a review of the literature. *Ital. J. Agronomy*, 10, 2, 74–84.
- Sahin, H., Anderson, S.H., Udawatta, R.P., 2016. Water infiltration and soil water content in claypan soils influenced by agroforestry and grass buffers compared to row crop management. *Agrofor. Syst.*, 90, 839-860.
- Salici, A., 2013. Greenways as a sustainable urban planning strategy. In: Ozyavuz, M. (Ed.), *Advances in Landscape Architecture*. InTech, pp. 645e660.
- Santos, P.Z.F., Crouzeilles, R., Sansevero, J.B.B., 2019. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. *For. Ecol. Manag.*, 433, 140-145.
- Sasaki, T., Imanishi, J., Ioki, K., Song, Y., Morimoto, Y., 2016. Estimation of leaf area index and gap fraction in two broad-leaved forests by using small-footprint airborne LiDAR. *Landsc. Ecol. Eng.*, 12, 117–127.
- Shannon, S., Sardon, R., Knudson, M., 1995. Using visual assessment as a foundation for greenway planning in the St. Lawrence River Valley. *Landsc. Urban Plan.*, 33, 1-3, 357-371.
- Shrestha, R., Wynne, R.H., 2012. Estimating biophysical parameters of individual trees in an urban environment using small footprint discrete-return imaging Lidar. *Remote Sens.*, 4, 2, 484–508.
- Smith, D.S., Hellmund, P.A., 1993. *Ecology of Greenways: Design and Function of Linear Conservation Areas*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Song, C., 2007. Estimating tree crown size with spatial information of high resolution optical remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.*, 28, 15, 3305-3322.
- Szajdak, L.W., Gaca, W., 2010. Nitrate reductase activity in soil under shelterbelt and an adjoining cultivated field. *Chem Ecol*, 26, sup2, 123-134.
- Takatsuka, Y., Cullen, R., Wilson, M., Wratten, S.D., 2007. Values of ecosystem services associated with intensive dairy farming in New Zealand. In: *Australian Agricultural and Resource Economics Society 51st Annual Conference*, Queenstown, NZ.
- Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J.-P., Richard, G., 2014. The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. *Ecosyst. Serv.*, 10, 35–48.
- Ticknor, K.A., 1988. Design and use of field windbreaks in wind erosion control systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 22-23, 123-132.
- Tocolini, A., Fumagalli, N., Senes, G., 2006. Greenways planning in Italy: the Lambro river valley greenways system. *Landsc. Urban Plan.*, 76, 1-4, 98-111.
- Torita, H., Satou, H., 2007. Relationship between shelterbelt structure and mean wind reduction. *Agric. For. Meteorol.*, 145, 3-4, 186-194.
- Tsonkova, P., Quinkenstein, A., Böhm, C., Freese, D., Schaller, E., 2014. Ecosystem services assessment tool for agroforestry (ESAT-A): an approach to assess selected ecosystem services provided by alley cropping systems. *Ecol. Indic.*, 45, 285-299.
- Türk, E., 2018. Multi-criteria decision-making for greenway: the case of Trabzon, Turkey. *Plan. Pract. Res.*, 33, 3, 326–343.

- Vacek, Z., Řeháček, D., Cukor, J., Vacek, S., Khel, T., Sharma, R.P., Kučera, J., Král, J., Papaj, V., 2018. Windbreak Efficiency in Agricultural Landscape of the Central Europe: Multiple Approaches to Wind Erosion Control. *Environ. Manage.*, 62, 942–954.
- Van Eimern, J., Karschon, R., Razumava, L.A., Robertson, G.W., 1964. Windbreaks and Shelterbelts. Technical Note No. 59, WMO-No.147.TP.70, Geneva, Switzerland.
- Van Thuyet, D., Van Do, T., Sato, T., Hung, T.T., 2014. Effects of species and shelterbelt structure on wind speed reduction in shelter. *Agrofor. Syst.*, 88, 237–244.
- Véga, C., Durrieu, S., 2011. Multi-level filtering segmentation to measure individual tree parameters based on Lidar data: Application to a mountainous forest with heterogeneous stands. *Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.*, 13, 4, 646–656.
- Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G., 2020. Remote sensing for agricultural applications: a meta-review. *Remote Sens. Environ.*, 236, 11402.
- Wieczorek, J.; Bloom, D.; Guralnick, R.; Blum, S.; Döring, M.; Giovanni, R.; Robertson, T.; Vieglias, D., 2012. Darwin Core: An Evolving Community-Developed Biodiversity Data Standard. *PLoS ONE*, 7, e29715.
- Wu, T., Yu, M., Wang, G., Wang, Z., Duan, X., Dong, Y., Cheng, Y., 2013. Effects of stand structure on wind speed reduction in a *Metasequoia glyptostroboides* shelterbelt. *Agrofor. Syst.*, 87, 251–257.
- Wurz, A., Tscharntke, T., Martin, D.A., Osen, K., Rakotomalala, A.A.N.A., Raveloaritiana, E., Andrianisaina, F., Dröge, S., Fulgence, T.R., Soazafy, M.R., Andriafanomezantsoa, R., Andrianarimisa, A., Babarezoto, F.S., Barkmann, J., Hänke, H., Hölscher, D., Kreft, H., Rakouth, B., Guerrero-Ramírez, N.R., Ranarijaona, H.L.T., Randriamanantena, R., Ratsavina, F.M., Raveloson Ravaomanarivo, L.H., Grass, I., 2022. Win-win opportunities combining high yields with high multi-taxa biodiversity in tropical agroforestry. *Nat. Commun.*, 13, 4127.
- Yang, X., Yu, Y., Fan, W., 2017. A method to estimate the structural parameters of windbreaks using remote sensing. *Agrofor. Syst.*, 91, 37–49.
- Yuan, F., Wu, J., Wang, A., Guan, D., Zhang, Y., Rajah-Boyer, K.I., Xu, X., 2020. A semiempirical model for horizontal distribution of surface wind speed leeward windbreaks. *Agrofor. Syst.*, 94, 499–516.
- Zaady, E., Katra, I., Shuker, S., Knoll, Y., Shlomo, S., 2018. Tree Belts for Decreasing Aeolian Dust-Carried Pesticides from Cultivated Areas. *Geosciences*, 8, 8, 286.
- Zajączkowski, K., 2001. Dobór drzew i krzewów do zadrzewień na obszarach wiejskich. IBL, Warszawa.
- Zellweger, F., Morsdorf, F., Purves, R.S., Braunisch, V., Bollmann, K., 2014. Improved methods for measuring forest landscape structure: LiDAR complements field-based habitat assessment. *Biodivers. Conserv.*, 23, 289–307.
- Zhang, H., Brandle, J.R., Meyer, G.E., Hodges, L., 1995. The relationship between open windspeed and windspeed reduction in shelter. *Agrofor. Syst.*, 32, 297–311.
- Zhu, J.J., Matsuzaki, T., Gonda, Y., 2003. Optical stratification porosity as a measure of vertical canopy structure in a Japanese coastal forest. *For. Ecol. Manag.*, 173, 89-104.

**5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

Dotychczas uczestniczyłem w dwóch miesięcznych stażach podoktorskich, tj. w Uniwersytecie Paris Diderot (Paris 7) i w Uniwersytecie Paris Sorbonne (Paris 4), podczas których brałem udział w pracach badawczych oraz prowadziłem zajęcia ze studentami (wykłady, ćwiczenia, w tym zajęcia terenowe). Ponadto, w ramach konkursu Uniwersytetu Paris Sorbonne, otrzymałem tytuł profesora wizytującego w Instytucie Geografii i Zagospodarowania Przestrzennego tego Uniwersytetu na okres dwóch miesięcy. Dzięki powyższym mobilnościom, decyzją Rady Instytutu Geografii i Zagospodarowania Przestrzennego Uniwersytetu Paris Sorbonne otrzymałem od dnia 1 stycznia 2022 status badacza stowarzyszonego w Laboratorium Médiations jako jednostki badawczej tego Instytutu. Dzięki temu uczestniczę w badaniach i pozyskiwaniu projektów naukowych korzystając w pełni z francuskich praw i systemu nauki. Obecnie, w ramach inicjatywy Horyzont Europa - The SOLU-BIOD Paris Living Lab otrzymałem z francuskim zespołem grant GREen COrridors of Freshness for human well-being and biodiversity in the Metropole du Grand Paris (GRECOF). Moja aktywność w Laboratorium zaowocowała również przygotowaniem publikacji "Measuring the Supply, Transport, and Deposition of Large In-Stream Wood during an extreme flood (Alex Storm, October 2020, Roya Valley, France)" (obecnie w recenzji w czasopiśmie Geomorphology (Elsevier)). Dodatkowo, w roku 2011 odbyłem tygodniowy staż podoktorski w Edynburgu poznając techniki modelowania predyktywnego emisji azotu w krajobrazach rolniczych, a w 2014 w Botanical Museum Berlin Dalhem ucząc się pracy w zielniku. Powyższe aktywności pozwoliły mi wzbogacić warsztat badawczy i metodyczny także na potrzeby pracy na Wydziale Biologii UAM, zwłaszcza pod kątem użycia danych zielnikowych i teledetekcyjnych (dane LiDAR, obrazy multispektralne), analiz geostatystycznych, modelowania przestrzennego i programowania w języku skrypcyjnym Python. Zdobyłem umiejętności pracy w takich programach jak Envi, SAGA GIS, MaxEnt, Fusion czy w środowisku R. Dzięki nabytym umiejętnościom opracowałem kilka przedmiotów dla studentów trzech stopni studiów, w tym studiów w języku angielskim (lista modułów znajduje się w punkcie 6). Zdobyta wiedza i umiejętności przygotowały mnie do

samodzielnej realizacji projektów badawczych, które w znacznym stopniu opierały się właśnie na włączeniu metod teledetekcyjnych, modelowania przestrzennego i programowania Python. W 2012 roku podjąłem współpracę z Uniwersytetem Antananarivo na Madagaskarze poprzez zaproszenie na Wydział Biologii UAM dwóch studentek w ramach zdobytego przez mnie grantu UNESCO. Aktywność ta zaowocowała zaproszeniem mnie w kolejnych latach do udziału w realizacji projektu finansowanego przez NFOŚiGW „Ginące gatunki”, otrzymanego przez Polskie Towarzystwo Ochrony Przyrody „Salamandra”. W ramach projektu byłem odpowiedzialny za przygotowanie merytoryczne (scenariusz i konsultacja naukowa) filmu dokumentalnego o nielegalnym pozyskiwaniu drewna na Madagaskarze, w ramach serii pt. „Mapa ginącego świata”. Ponadto, w latach 2018 - 2022 byłem wykonawcą w projekcie “Sustainable management of precious wood *Dalbergia* and *Diospyros* of Madagascar, scientific support to the implementation of the CITES action plan” realizowanym przez Uniwersytet Antananarivo i Missouri Botanical Garden. Od 2019 z powodzeniem aplikuję o środki w programie Erasmus Plus (trzy edycje), dzięki któremu możliwa jest mobilność studencka i naukowa pomiędzy Uniwersytetem Antananarivo, a Wydziałem Biologii UAM. Ta współpraca zaowocowała przygotowaniem publikacji naukowej na temat rozmnażania generatywnego gatunku Baobabu (jej opis znajduje się w punkcie 4 autoreferatu).

Poza wymienioną działalnością naukową, współpracuję również z ośrodkami krajowymi w ramach wspólnych projektów. Wymiernym efektem tej współpracy są publikacje naukowe opracowane przede wszystkim z Poznańskim Centrum Komputerowo-Sieciowym i Instytutem Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach.

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.**

A. Rozwój kadry naukowej i osiągnięcia dydaktyczne:

Obecnie jestem promotorem pomocniczym jednej pracy doktorskiej:

- mgr Katarzyna Byczkowska, tytuł rozprawy: Uwarunkowania siedliskowe i modelowanie rozmieszczenia inwazyjnej trawy *Anthoxanthum aristatum* Boiss. na obszarze Sandru Nowotomyskiego.

Dotychczas byłem promotorem dwóch, zagranicznych prac magisterskich:

- Kévin Bourrand, Uniwersytet Paris Diderot, tytuł pracy: Adaptation d'une base de données floristique aux SIG: Enjeux et difficultés liés la spatialisation des données, 2014,
- Pierre Lubszynski, Uniwersytet Paris Sorbonne, tytuł pracy : Anticiper pour mieux gérer les espèces exotiques envahissantes. Vitesse de croissance et maturité sexuelle des ailantes dans le Bois de Boulogne (Paris, Ile-de-France), 2022.

Ponadto byłem promotorem pięciu prac magisterskich:

- Antkowiak Michał, Teledetekcja flory inwazyjnej - przykład aglomeracji Poznańskiej, jako źródło danych w monitoringu środowiska przyrodniczego. Kierunek Ochrona środowiska, 2014,
- Meissner Mariusz, Użyteczność obrazów lotniczych i satelitarnych w zarządzaniu środowiskiem przyrodniczym na przykładzie ekspansji roślin obcego pochodzenia. Kierunek Ochrona środowiska, 2015,
- Kańkowski Karol, Teledetekcyjna analiza wieloczasowych zmian w strukturze przestrzennej drzewostanów nieleśnych na terenie Parku Krajobrazowego im. Gen. D. Chłapowskiego. Kierunek Ochrona środowiska, 2019,
- Pacholski Tomasz, Wpływ fenologii na wydajność klasyfikacji roślin przy użyciu zdjęć z drona na potrzeby monitoringu środowiska. Kierunek Ochrona środowiska, 2022,
- Nalej Artur, Możliwości wykorzystania danych archiwalnych do modelowania rozmieszczenia inwazyjnego gatunku drzewa *Ailanthus altissima*. Kierunek Ochrona środowiska, 2022,

oraz siedmiu prac licencjackich:

- Lorych Radosław, Elektrownie wiatrowe i możliwość ich zaprojektowania wzdłuż obwodnicy w gminie Rokietnica. Kierunek Ochrona środowiska, 2013,
- Meissner Mariusz, Możliwości wykorzystania zasobów danych środowiskowych w analizach przestrzennych flory inwazyjnej. Kierunek Ochrona środowiska, 2013,
- Wojtkowiak Mikołaj, Środowiskowe uwarunkowania rozmieszczenia flory chronionej na obszarze Pałuk. Kierunek Ochrona środowiska, 2013,



- Robak Jacek, Wpływ struktury terenu na rozmieszczenie kruka (*Corvus corax*) w Wielkopolsce. Kierunek Ochrona środowiska, 2014,
- Tyrakowska Martyna, Raporty ocen oddziaływania na środowisko - analiza struktury na przykładzie dokumentów z Polski i Hiszpanii. Kierunek Ochrona środowiska, 2014,
- Lesiak Anna, Raport oceny oddziaływania inwestycji na środowisko - stopień wykorzystania danych przestrzennych, a charakter inwestycji. Kierunek Ochrona środowiska, 2015,
- Stobieniecki Piotr, Wykorzystanie automatycznej detekcji roślinności na terenie kopalni wapienia w Wapienniu przy użyciu danych LiDAR. Kierunek Ochrona środowiska, 2017.

Wychodząc na przeciw potrzebie rozwoju kierunków studiów Ochrona środowiska i Biologia na Wydziale Biologii UAM, opracowałem następujące nowe przedmioty:

- Remote sensing and GIS in environmental applications (Szkola Doktorska Nauk Przyrodniczych UAM),
- Exploring biodiversity using GIS (Erasmus AMU-PIE system),
- Natura 2000 - European habitats (Environmental Protection),
- Principles of Geographical Information System (Environmental Protection),
- Remote Sensing Data (Environmental Protection),
- Teledetekcja i narzędzia GIS w pozyskiwaniu informacji przyrodniczej (Ochrona Środowiska, Biologia),
- Wykorzystanie Systemów Informacji Geograficznej w ekologii organizmów i populacji (Ochrona Środowiska, Biologia).

Ponadto, opracowałem sylabusy dla prowadzonych przeze mnie przedmiotów : Geografia w nauczaniu biologii i przyrody, Systemy Informacji Geograficznej w ochronie środowiska, Bazy danych o środowisku przyrodniczym, Projekty i plany ochrony przyrody, Oceny oddziaływania na środowisko, Zrównoważony rozwój, Programy rolno-środowiskowe, Oceny środowiskowe (zajęcia terenowe), które są obecnie realizowane na Wydziale Biologii UAM i Skaning laserowy realizowany przeze mnie na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM.

W 2017 roku uzyskałem państwowe uprawnienia do obsługi bezzałogowych statków powietrznych (kurs „*Pozyskiwanie informacji przestrzennej przy wykorzystaniu dronów*”, 25-29.09.2017, w ramach projektu Zintegrowane Centrum Podnoszenia Kompetencji (POWR.03.04.00-00-D107/16)), co umożliwiło mi wdrożenie pracy z dronem w ramach prowadzonych przeze mnie zajęć dydaktycznych. Natomiast w roku 2018 uzyskałem certyfikat tutora (Nr STA-Z/223/2018/8) przyznany przez Collegium Wratislaviense w ramach eksperckiego szkolenia z tutoringu. W 2022 roku zostałem powołany na członka zespołu ds. Nowego Programu Nauczania na kierunku Ochrona Środowiska I i II stopnia na Wydziale Biologii UAM.

Poza moją aktywnością w obrębie statutowej dydaktyki na Wydziale Biologii UAM, chciałbym wykazać następujące moje działania:

- Stworzenie Sekcji BioGIS Koła Naukowego Przyrodników (2011) i opieka naukowa nad nią,
- Organizacja Wiosennej Szkoły GIS dla przyrodników w Gołąbkach koło Trzemeszna (7 edycji w latach 2012-2019),
- Współorganizacja Letniej Szkoły Hydrologicznej w Wągrowcu (koordynacja modułu analityki przestrzennej, 5 edycji 2014-2022),
- Organizacja Szkoły GIS dla Zielonych – warsztaty z podstaw GIS dla studentów i pracowników współprowadzone przez studentów z Sekcji BioGIS KNP UAM (3 edycje),
- Przeprowadzenie warsztatów LiDAR w Słowińskim Parku Narodowym dla studentów w ramach projektu CEEPUS Summer School on Biota Research II (2014),
- Wykorzystanie drona w monitorowaniu zmian fenologicznych roślin – warsztaty dla studentów,
- Realizacja, wraz z Kołem Naukowym Przyrodników UAM, projektu dydaktyczno - naukowego „Interaktywny atlas różnorodności biologicznej Moraska” (flora synantropijna i dane sozologiczne),
- Prowadzenie zajęć z przedmiotu „Données LiDAR dans l’aménagement de l’espace” i zajęć terenowych „Transitions environnementales” w Alpach Nadmorskich w ramach współpracy z Uniwersytetem Paris Sorbonne,
- Warsztaty GIS dla nauczycieli we współpracy z ODN Poznań,

- Warsztaty „GIS dla Botaników” w Lublinie (2017) we współpracy z Polskim Towarzystwem Botanicznym,
- Realizacja projektu „Wyższe kompetencje – większa szansa na rynku pracy. Program rozwoju kompetencji studentów Wydziału Biologii Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu”, projekt finansowany przez NCBiR w ramach systemu POWER, 2017-2019, zadanie pn. Wizyty studyjne w Paryżu w zakresie *Biodiversity planning in the city* dla studentów Wydziału Biologii UAM; miejsce realizacji: Uniwersytet Paris Sorbonne, Urząd Miasta Paryża; koordynator zadania Maciej Nowak (trzy edycje, łącznie udział 60 studentów Wydziału Biologii UAM),
- Udział w projekcie „Akademia talentów przyrodniczych – podwyższenie jakości kształcenia kompetencji naukowych i przyrodniczych w szkołach ponadgimnazjalnych w ramach przedmiotu ekologia krajobrazu”, finansowanym ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, 2013, opracowanie zajęć z tematu „Jak zmienia się krajobraz”; prowadzenie konsultacji eksperckich z nauczycielami,
- Współprowadzenie warsztatów w ramach projektu ABC in Biodiversity: 4EU+ complementary joint courses (Uniwersytet Paris Sorbonne, Uniwersytet Karola w Pradze, Uniwersytet Warszawski).

#### B. Osiągnięcia organizacyjne:

Do moich najważniejszych osiągnięć organizacyjnych chciałbym zaliczyć:

- inicjator powstania Laboratorium Biologicznych Informacji Przestrzennych na Wydziale Biologii UAM i jego kierownik od 2013 roku,
- pomysłodawca cyklu konferencji i warsztatów Forum BioGIS - System Informacji Przestrzennej w badaniach nad różnorodnością biologiczną (siedem edycji w latach 2012 - 2019):
  - I Forum BioGIS - System Informacji Przestrzennej w badaniach różnorodności biologicznej. Źródła danych przestrzennych i wykorzystanie GIS w badaniach nad różnorodnością biologiczną. 2012, Wydział Biologii UAM, przewodniczący komitetu naukowo – organizacyjnego,

- II Forum BioGIS - System Informacji Przestrzennej w badaniach różnorodności biologicznej. Uwarunkowania naukowe, technologiczne i prawne w budowaniu baz danych przyrody ożywionej. 2013, Wydział Biologii UAM, przewodniczący komitetu naukowo – organizacyjnego,
- III Forum BioGIS - System Informacji Przestrzennej w badaniach różnorodności biologicznej. Narzędzia GIS w edukacji ekologicznej – precyzyjny sposób pozyskiwania i analizowania informacji o środowisku przyrodniczym. 2014, Wydział Biologii UAM, przewodniczący komitetu naukowo – organizacyjnego,
- IV Forum BioGIS - System Informacji Przestrzennej w badaniach różnorodności biologicznej. Narzędzia analityczne i dane przestrzenne w Ocenach Oddziaływania na Środowisko. 2015, Wydział Biologii UAM, przewodniczący komitetu naukowo – organizacyjnego,
- V Forum BioGIS - System Informacji Przestrzennej w badaniach różnorodności biologicznej. Teledetekcja i narzędzia GIS w badaniach różnorodności flory i siedlisk przyrodniczych. 2016, Wydział Biologii UAM, przewodniczący komitetu naukowo – organizacyjnego,
- VI Forum BioGIS - Narzędzia GIS i źródła danych w modelowaniu rozprzestrzeniania się ziarna pyłku i zarodników grzybów. 2017, Wydział Biologii UAM, przewodniczący komitetu naukowo – organizacyjnego,
- VII Forum BioGIS - Użytkownik GIS = autor narzędzi i wtyczek GIS, aplikacji mobilnych oraz WebGIS dla badań środowiskowych, 2019, Wydział Biologii UAM, przewodniczący komitetu naukowo – organizacyjnego,
- IV konferencja GIS w Nauce, 2015, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM, członek komitetu naukowego, organizacja sesji referatowej nauk biologicznych,
- Ogólnopolska Konferencja Środowisko Informacji, 2016, organizator Ministerstwo Środowiska, Warszawa, organizator sesji „Monitoring”,
- Ogólnopolskie Sympozjum Aerobiologiczne: Ziarna pyłku i zarodniki grzybów oraz ich alergeny: od badań molekularnych do analiz geoinformacyjnych. 2017, Wydział Biologii UAM, członek komitetu organizacyjnego,
- Współorganizator akcji społecznej “Nie-boska ambrozja” mającej na celu popularyzację wiedzy o silnie alergennej roślinie – ambrozji bylicolistnej, wśród mieszkańców Poznania, opracowanie mapy występowania ambrozji na terenie

Poznania oraz przygotowanie raportu o zagrożeniu alergicznym, którego źródłem są ziarna pyłku wytwarzane przez tę roślinę (<http://anc.amu.edu.pl/ambrozja.php>).

C. Osiągnięcia popularyzujące naukę i sztukę:

Brałem aktywny udział w licznych festiwalach popularnonaukowych (np. Festiwalu Nauki i Sztuki, Nocy Biologów, „Fascynującym Świecie Roślin”, GIS Day) prowadząc warsztaty oraz wykłady dla dzieci i młodzieży. W 2015 roku na podsumowanie realizacji grantu MNiSW Uniwersytet Młodych Wynalazców zorganizowałem konferencję popularyzującą wyniki projektu „Stymulujemy geo- i bioróżnorodność. Projektowanie sieci zadrzewień w krajobrazie rolniczym, czyli informatyka dla przyrodnika”. Wydarzenie odbyło się w I Liceum Ogólnokształcącym im. O. Kolberga w Kościanie. Aby szerzej promować wyniki powyższego grantu, opublikowałem broszurę informacyjną „Zadrzewienia w krajobrazie rolniczym - czyli co młody przyrodnik wiedzieć powinien” (Wydawnictwo Naukowe UAM, 2016). Ponadto, w roku 2019, na zaproszenie Fundacji Ekologicznej „Zielona Akcja” oraz Fundacji Ekorozwoju przy współpracy Zespołu Parków Krajobrazowych Województwa Wielkopolskiego, wygłosiłem wykład „Planowanie przestrzenne zielonej infrastruktury w formie systemów zadrzewień w skali lokalnej” w ramach seminarium „Zadrzewienia jako zielona infrastruktura w kontekście adaptacji do zmian klimatu na terenie województwa wielkopolskiego”. W 2015 roku wzięłem udział w realizacji projektu „Ginące gatunki”, finansowanego przez NFOŚiGW odpowiadając za przygotowanie merytoryczne (scenariusz i konsultacja naukowa) i udział w filmie dokumentalnym o nielegalnym pozyskiwaniu drewna na Madagaskarze, w ramach serii pt. Mapa ginącego świata (<http://beta.nfosigw.gov.pl/bazawiedzy/edukacja/aktualnosc-edukacja/art,351,mapa-ginacego-swiata-mateusz-damiecki-na-tropie-ginacych-gatunkow.html>). W tym samym roku, na zaproszenie Ogrodu Botanicznego w Poznaniu, przeprowadziłem wykład „Madagaskar – człowiek i przyroda”. W 2016 roku, na zaproszenie Fundacji Bibliotek Ekologiczna w Poznaniu, przeprowadziłem wykład „Madagaskar – ginące skarby natury”. Dodatkowo, w roku 2022 przygotowałem artykuł popularno-naukowy w kwartalniku *Wszechświat*, zatytułowany *Lasy deszczowe Madagaskaru i ludzie – życie w symbiozie czy katastrofa ekologiczna?* W 2015 roku, na zaproszenie Ośrodka Doradztwa Nauczycieli w Poznaniu, przedstawiłem referat „System Informacji Geograficznej (GIS) - sprzymierzeniec czy niepotrzebny gadżet w nauczaniu

przedmiotów przyrodniczych?”, w ramach konferencji dydaktycznej "Nawigacja na edukację w Europejskim Roku na Rzecz Rozwoju". W ramach współpracy z Esri Polska, w 2017 roku przygotowałem artykuł do folderu Esri Polska - Edukacja „System Informacji Geograficznej na Wydziale Biologii? Dlaczego nie!” (artykuł o wykorzystaniu GIS na Wydziale Biologii UAM). Współprowadziłem webinarium popularnonaukowe dotyczące roślin alergicznych skierowane do mieszkańców Poznania (18.09.2021 – „*Nie-boska ambrozja w Poznaniu: tworzymy mapę występowania najbardziej alergicznej rośliny świata*”). Webinarium jest dostępne na kanale You Tube ([https://www.youtube.com/watch?v=jsE\\_8wtX8iU](https://www.youtube.com/watch?v=jsE_8wtX8iU)).

**7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.**

Przyznane nagrody i stypendia naukowe:

- Laureat konkursu 008 „Wsparcie publikowania w prestiżowych czasopismach naukowych” w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości-Uczelnia Badawcza” (2020-2022) organizowanego przez Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, premia za publikację: Nowak M.M, Pędziwiatr K., Słupecka K., Wawer R., 2020. Parcel-based layout as a factor affecting the potential availability of ecosystem services provided by tree belts. *Ecological Indicators*, 119 (2020) 106836,
- Laureat konkursu 008 „Wsparcie publikowania w prestiżowych czasopismach naukowych” w ramach programu „Inicjatywa Doskonałości-Uczelnia Badawcza” (2020-2022) organizowanego przez Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, premia za publikację: Nowak M.M., Pędziwiatr K., Bogawski P., 2022. Hidden gaps under the canopy: LiDAR-based detection and quantification of porosity in tree belts. *Ecological Indicators*, 142, 109243,
- Nagroda Rektora UAM za działalność organizacyjną - organizacja siedmiu edycji konferencji i warsztatów na Wydziale Biologii UAM „Forum BioGIS” w latach 2012 - 2019,
- Nagroda Rektora UAM I stopnia za działalność organizacyjną - kierowanie zadaniem w projekcie „AMU Nature Collections – online (AMUNATCOLL): digitalizacja i udostępnianie zasobu danych przyrodniczych Wydziału Biologii

Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa (PO PC), 2022,

- Grant Uniwersytetu Paris Sorbonne na pobyt badawczy i dydaktyczny w ramach programu Visiting Professor (łącznie dwa miesiące w latach 2020 - 2021),
- Stypendium program ERASMUS Plus, Madagascar, edycje 2019, 2022, 2023 (stypendium 2023 otrzymane, wyjazd jest planowany),
- Stypendium program ERASAMUS Teaching Staff Mobility, Uniwersytet Paris Sorbonne, luty 2017,
- Stypendium post-doc w ramach programu Unikatowy Absolwent UAM, Uniwersytet Paris Sorbonne (Laboratoire EneC), listopad 2015 r.,
- Stypendium post-doc w ramach programu Unikatowy Absolwent UAM, Uniwersytet Paris Diderot, wrzesień 2012 r.

.....  
(podpis wnioskodawcy)