

Załącznik 3a

AUTOREFERAT

Dr inż. Agata Hościło

**Instytut Geodezji i Kartografii
Centrum Teledetekcji**

Warszawa, 2019

1. IMIĘ I NAZWISKO

Agata Hościło

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

- 18.12.2009 **Doktor**
Uniwersytet w Leicester, Wydział Geografii, Wielka Brytania
Temat rozprawy doktorskiej: „Fire regime, vegetation dynamics and land cover changes in tropical peatland, Indonesia”.
- 21.12.2001 **Inżynier**
Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii
Specjalizacja: Kataster i Systemy Informacji Przestrzennej
Temat pracy inżynierskiej: „Zarządzanie danymi drogowymi w systemach informacji przestrzennej”.
- 12.01.1999 **Magister**
Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Specjalizacja: Geoekologia i Teledetekcja Środowiska
Temat pracy magisterskiej: „Zmiany użytkowania ziemi w latach 1956-1997 dla fragmentu Narwiańskiego Parku Narodowego”.

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

- 1.06.2014 – Instytut Geodezji i Kartografii, Centrum Teledetekcji
aktualnie Adiunkt, kierownik Laboratorium Teledetekcyjnych Metod Badań Zagrożeń Środowiska w Centrum Teledetekcji, IGIK
- 1.10.2011 – Instytut Geodezji i Kartografii, Centrum Teledetekcji
30.05.2014 Adiunkt
- 1.05.2009 – Uniwersytet w Leicester, Wydział Geografii, Wielka Brytania
14.09.2011 Post-Doctoral Research Associate
- 1.04.2005 – Uniwersytet w Leicester, Wydział Geografii, Wielka Brytania
30.04.2009 Studia Doktoranckie
- 10.05.2002 – Instytut Geodezji i Kartografii, Centrum Teledetekcji
30.03.2005 Asystent
- 1.11.1999 – Instytut Geodezji i Kartografii, Centrum Teledetekcji
09.05.2002 Geograf

4. OSIĄGNIĘCIE BĘDĄCE PODSTAWĄ UBIEGANIA SIĘ O STOPIEŃ DOKTORA HABILITOWANEGO

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego oraz monotematyczny cykl publikacji

Jako osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) wskazuję monotematyczny cykl sześciu oryginalnych publikacji naukowych pod zbiorczym tytułem:

Ocena możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej do określania rozmieszczenia i zróżnicowania przestrzennego obszarów leśnych oraz wykrywania zmian w lasach.

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego zostało zawarte w czterech artykułach znajdujących się w części „A” wykazu czasopism Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) oraz dwóch artykułach w części „B”. Sumaryczny impact factor osiągnięcia naukowego (zgodnie z punktacją dla roku opublikowania artykułu) wynosi **8,119**, natomiast dla całego dorobku wynosi **37,621**. Sumaryczna liczba punktów osiągnięcia naukowego według punktacji MNiSW (zgodnie z punktacją na rok opublikowania artykułu) wynosi **114**, natomiast dla całego dorobku **445**.

Wyniki badań składających się na osiągnięcie naukowe zostały opublikowane w następujących artykułach (w kolejności odzwierciedlającej postępowanie):

P1: Hoscilo A., Balzter H., Bartholome E., Boschetti M., Brivio P.A., Brink A., Clerici M., Pekel J.F., **2015**, A conceptual model for assessing rainfall and vegetation trends in sub-Saharan Africa from satellite data. *International Journal of Climatology*, 35, 3582-3592, doi:10.1002/joc.4231. **IF₂₀₁₅ = 3.609 / Pkt MNiSW₂₀₁₆ = 35**

Mój udział w publikacji wynosił 70% i polegał na opracowaniu koncepcji modelu, zgromadzeniu i przetworzeniu danych, przygotowaniu skryptów w języku programowania IDL niezbędnych do implementacji modelu, wykonaniu analiz, obliczeniu statystyk, przygotowaniu rycin oraz publikacji.

P2: Hoscilo A., Tomaszewska M., **2015**, CORINE Land Cover 2012 – 4th CLC inventory completed in Poland, *Geoinformation Issues*, no 1 (6), 49-58. **Pkt MNiSW₂₀₁₆ = 7 (B)**

Mój udział w publikacji wynosił 90% i polegał na kierowaniu projektem na wszystkich jego etapach, kontroli, jakości wykonywanej interpretacji zmian pokrycia terenu, interpretacji wyników projektu, opracowaniu tabel i przygotowaniu publikacji.

P3: Hościło A., Mirończuk A., Lewandowska A., **2016**, Określenie rzeczywistej powierzchni lasów w Polsce na podstawie dostępnych danych przestrzennych. *Sylwan*, 160, 627-634. **IF₂₀₁₆ = 0.481 / Pkt MNiSW₂₀₁₆ = 15**

Mój udział w publikacji wynosił 65% i polegał na przygotowaniu projektu, opracowaniu metody określania rzeczywistej lesistości kraju, w tym koncepcji integracji danych wieloźródłowych, współudział w kontroli jakości danych wejściowych i produktów końcowych oraz przygotowaniu publikacji.

P4: Mirończuk A., Hościło A., 2017, Mapping tree cover with Sentinel-2 data using the Support Vector Machine (SVM), *Geoinformation Issues*, 9 (1), 27-38. **Pkt MNiSW₂₀₁₆ = 7 (B)**

Mój udział w publikacji wynosił 50% i polegał na opracowaniu koncepcji i założeń metodycznych, opiece merytorycznej, interpretacji wyników oraz współudziale w przygotowaniu publikacji.

P5: Hoscilo A., Lewandowska A., **2019**, Mapping forest type and tree species on a regional scale using multi-temporal Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 11 (8), 929. **IF₂₀₁₉ = 3.406 / Pkt MNiSW₂₀₁₆ = 35**

Mój udział w publikacji wynosił 70% i polegał na pozyskaniu środków, kierowaniu zadaniem, opracowaniu koncepcji metodycznej, wykonaniu klasyfikacji gatunków drzew, opracowaniu i interpretacji wyników, przygotowaniu tabel i rycin prezentowanych w publikacji oraz przygotowaniu publikacji.

P6: Hoscilo A., Lewandowska A., 2018, Zastosowanie danych z satelity Sentinel-2 do szacowania rozmiaru szkód spowodowanych w lasach huraganowym wiatrem w sierpniu 2017 roku. *Sylwan*, 162, 619-627. IF₂₀₁₈ = 0.623 / Pkt MNiSW₂₀₁₈ = 15

Mój udział w publikacji wynosił 80% i polegał na opracowaniu koncepcji i założeń metodycznych, wykonaniu przeglądu literatury, wykonaniu analiz na zdjęciach wieloczasowych, interpretacji wyników oraz przygotowaniu publikacji.

4.2. Omówienie celu pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wprowadzenie i uzasadnienie badań

Zaproponowany, jako rozprawa habilitacyjna monotematyczny cykl sześciu publikacji dotyczy ważnego i aktualnego problemu pozyskiwania informacji o rzeczywistym rozmieszczeniu i zróżnicowaniu przestrzennym obszarów leśnych oraz wykrywaniu zmian w lasach z wykorzystaniem zaawansowanych metod teledetekcji satelitarnej.

Wiedza na temat rozmieszczenia i zróżnicowania przestrzennego obszarów leśnych oraz wykrywanie i monitorowanie zmian zachodzących w lasach jest istotna w procesie zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi (Franklin, 2001; Naudts i in., 2016), określaniu rzeczywistej lesistości kraju, w ocenie stanu środowiska przyrodniczego, podejmowaniu właściwych decyzji w sytuacjach kryzysowych. Jest również bardzo ważna z punktu widzenia poprawności raportowania danych na potrzeby krajowych i międzynarodowych statystyk, ze względu na międzynarodowe zobowiązania w ramach Konwencji Klimatycznej i Protokołu z Kioto do określenia zawartości węgla, szacowanie emisji i możliwości sekwestracji CO₂ (IPCC, 2018; UNFCCC, 2008). Naukowcy zajmujący się analizami bilansu węgla uwzględniającymi zmiany pokrycia terenu i użytkowania ziemi, zwrócili uwagę na ograniczenia spowodowane brakiem dokładnej informacji odnośnie: a) rozmieszczenia i zróżnicowania przestrzennego lasów, b) kierunku zmian powierzchni leśnych, często dane statystyczne zawierają informacje o zaistniałej zmianie bez informacji, w którym kierunku zmienił się sposób użytkowania, c) ograniczone dane na temat obszarów podlegających naturalnej sukcesji, które są często pomijane w statystykach dotyczących zmian na terenach nieleśnych (Houghton i in., 2012). W wielu krajach, w tym w Polsce, powierzchnia lasów oraz ocena stanu lasów określane są w oparciu o dane pochodzące z tradycyjnej szczegółowej inwentaryzacji stanu lasu prowadzonej na powierzchniach próbnych. Ograniczeniem tego podejście jest brak dokładnej informacji o rzeczywistym rozmieszczeniu i zróżnicowaniu przestrzennym lasów wewnątrz jednostek nadrzędnych (np.: wydzielenie, obręb leśny czy województwo).

W Polsce, lasy zajmują 29,5% powierzchni kraju (GUS, 2017), w tym 77% lasów pozostaje w zarządzie Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe, 19,2% stanowią lasy prywatne, pozostałe lasy należą do parków narodowych (2%), gmin, innych własności Skarbu Państwa (po 1%) (CILP, 2017). Lasy Państwowe są zarządzane zgodnie z planami urządzania lasu, które są aktualizowane w cyklu 10 lat, przy użyciu tradycyjnych metod inwentaryzacji lasów, z uwzględnieniem zrównoważonej gospodarki leśnej. Dane inwentaryzacyjne są przypisywane do wydzieleń leśnych zawartych w Systemie Informatycznym Lasów Państwowych. Lasy prywatne, w

przeciwieństwie do lasów państwowych, zinwentaryzowane są znacznie mniej szczegółowo. Zgodnie z zapisem art. 5 Ustawy o lasach z dn. 28.09.1991 r. nadzór nad lasami niepaństwowymi sprawuje starosta. Głównym problem przy sprawowaniu nadzoru jest brak uproszczonych planów urządzenia lasu dla lasów niepaństwowych lub ich nieaktualność, nieaktualne dane ewidencyjne (rozbieżność między ewidencją a stanem na gruncie) oraz duże rozdrobnienie działek leśnych (Ziemblicki, 2015). Ograniczone środki finansowe przeznaczone na wykonywanie nowych opracowań uniemożliwiają często zakup aktualnych materiałów fotogrametrycznych, co w konsekwencji utrudnia proces sporządzania uproszczonych planów i jego rzetelnego odbioru oraz kontroli decyzji zwłaszcza w przypadku terenów górskich czy rozproszonych działek leśnych.

Zagadnienie rozbieżności pomiędzy rzeczywistym stanem lasów na gruncie a oficjalnym stanem według ewidencji gruntów i budynków (EGiB), raportowanym przez Główny Urząd Statystyczny było sygnalizowane przez kilku autorów (Jabłoński, 2015; Jabłoński i in., 2018; Kolecka i in., 2018). Od 2005 r. Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej (BULiGL) rozpoczęło prace nad wielkoobszarową inwentaryzacją stanu lasów (WISL) wszystkich form własności, której celem jest ciągła ocena stanu i kierunku zmian stanu lasów, na stałych powierzchniach pomiarowych ulokowanych na obszarze całego kraju, zgrupowanych po pięć w tzw. trakty i rozmieszczonych w sieci 4 x 4 km. Pierwszy i drugi cykl pomiarów WISL, obejmowały powierzchnie położone wyłącznie na gruntach leśnych według ewidencji, zaś cykl trzeci objął również powierzchnie pokryte roślinnością leśną, nieujęte w ewidencji. W sumie sieć powierzchni próbnych WISL obejmuje 98,9 tys. powierzchni próbnych (BULiGL, 2018). Aktualizacja stanu lasów w skali kraju prowadzona jest na podstawie obliczeń analitycznych, tym samym może nie odzwierciedlać rzeczywistego stanu lasu na gruncie i uniemożliwia generowanie map przedstawiających przestrzenne rozmieszczenie lasów.

W związku z brakiem aktualnych danych o przestrzennym rozmieszczeniu i dynamice zmian lasów oraz sygnalizowanych rozbieżnościach między oficjalnymi statystykami, a rzeczywistym stanem lasów na gruncie zasadnym było podjęcie zagadnienia wykorzystania najnowszych technik i danych teledetekcyjnych do opracowania metod mapowania powierzchni leśnej oraz śledzenia dynamiki zmian na obszarach o większym zasięgu, np. regionalnym bądź krajowym. Proces zarządzania zasobami leśnymi różni się pod względem skali zarządzania (drzewo, wydzielenie, obręb, krajobraz, region, kraj), poziomu planowania (strategiczny, taktyczny czy operacyjny) oraz celu (np.: pozyskanie drewna, ochrona przyrody, zachowanie różnorodności biologicznej) (Bergsang i in., 2015). Na poziomie europejskim i krajowym wiedza o stanie lasów zapewnia wsparcie dla władz odpowiedzialnych za politykę środowiskową i leśną kraju i Unii Europejskiej. Na poziomie regionalnym precyzyjne określenie powierzchni i rozmieszczania lasów jest niezbędna dla funkcjonowania systemu planistyczno – prognostycznego w leśnictwie, koniecznego do sprawowania nadzoru nad lasami wszystkich form własności, kontroli wdrażania Krajowego Programu Zwiększania Lesistości oraz dostarczania informacji wymaganych do prowadzenia trwale zrównoważonej gospodarki leśnej, planowania przestrzennego, ochrony krajobrazu oraz w analizach bioróżnorodności.

Szybki rozwój metod zdalnego pozyskiwania informacji o obiektach i zjawiskach zachodzących na powierzchni Ziemi, zwanych metodami teledetekcyjnymi, spowodował wzrost zainteresowania technologiami teledetekcyjnymi. Dane teledetekcyjne mogą być pozyskane z pułapu niskiego, przypowierzchniowego (np.: drony, platformy pomiarowe), lotniczego bądź satelitarnego. Rodzaj możliwych do wykorzystania technik i danych teledetekcyjnych zależy od poziomu i celu zarządzania. Teledetekcja lotnicza (np.: lotniczy skanিং laserowy, dane hiperspektralne) czy niskiego pułapu dostarcza informacji o wysokim poziomie szczegółowości i precyzji dla stosunkowo niewielkich obszarów, stąd jest najczęściej wykorzystywana do identyfikacji pojedynczych obiektów w skali

lokalnej. Pozyskanie i przetworzenie danych z pułapu lotniczego dla większego obszaru, przykładowo w skali regionalnej bądź krajowej jest przedsięwzięciem kosztownym i trudnym do zrealizowania z krótkim okresem czasu.

W przypadku opracowań wielko-powierzchniowych oraz obejmujących trudnodostępne tereny rozwiązaniem jest zastosowanie teledetekcji satelitarnej. W ostatnich dekadach obserwuje się szybki rozwój technologii satelitarnych w dziedzinie obserwacji Ziemi, zarówno pod względem postępu technologicznego, związanego z konstrukcją nowych sensorów, jak również rozwoju zaawansowanych metod przetwarzania i analizy danych satelitarnych wykorzystujących sztuczną inteligencję oraz rozwiązań chmurowych. Na orbitę wynoszone są nowe konstelacje satelitów ze zwiększoną rozdzielczością przestrzenną (aktualnie minimalna wielkość piksela osiągalna z satelitów komercyjnych to 0,3 m), zwiększoną częstotliwością pozyskania danych, ten sam fragment Ziemi może być obserwowany nawet codziennie (konstelacja Planet Labs). Niezaprzeczalną zaletą wykorzystania danych satelitarnych jest możliwość cofnięcia się w czasie do lat 60-70-tych ubiegłego wieku, za sprawą wojskowych satelitów szpiegowskich systemu Corona (dane odtajnione w latach 90-tych) czy serii cywilnych satelitów misji Landsat zapoczątkowanej w 1972 r. Prawie pięćdziesięcioletni okres pozyskania danych satelitarnych to nieodzowny atut pozwalający na śledzenie zmian zachodzących na powierzchni Ziemi. Istnieje wiele przykładów wykorzystania danych satelitarnych z misji Landsat do określania stanu obszarów leśnych, głównie dotyczących struktury powierzchniowej lasów, tj.: zasięgu lasów, typu lasu, fenologii (Banskota i in., 2014; Ji i Wang, 2016; Liu i in., 2018), czy monitorowania zmian lasu w skali globalnej (Hansen i in., 2013).

Wraz z wyniesieniem na orbitę konstelacji europejskich satelitów Sentinel-2 rozpoczęła się nowa era inwentaryzacji i monitorowania zasobów naturalnych. W czerwcu 2015 r., za sprawą europejskiego programu Copernicus, na orbitę wyniesiony został pierwszy z dwóch satelitów optycznych Sentinel-2A. Dwa lata później, w kwietniu 2017 r., wystrzelony został satelita Sentinel-2B. Atutem misji Sentinel-2 jest skrócony czas rewizyty. Ten sam fragment powierzchni Ziemi rejestrowany jest co 5 dni (w przypadku Landsata to 16 dni), tym samym zwiększa się prawdopodobieństwo rejestracji bezchmurnego obrazu, co umożliwia uchwycenie dynamiki zmian. Sentinel-2 ma też trzykrotnie wyższą rozdzielczość przestrzenną w porównaniu do satelitów Landsat. Rozdzielczość przestrzenna danych Sentinel-2 wynosi 10 m w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni (niebieski B2: 490 nm, zielony B3: 560 nm, czerwony B4: 665 nm, bliska podczerwień B8: 842 nm), 20 m w zakresie bliskiej podczerwieni (red-edge: B5: 705 nm, B6: 740 nm, B7: 783 nm, B8a: 865 nm) i krótkiej podczerwieni (ang. Short-Wavelength InfraRed – SWIR B11: 1610 nm i B12: 2190 nm) oraz 60 m w zakresie przeznaczonym do analizy aerozoli (B1: 443 nm), pary wodnej (B9: 945 nm) and chmur (B10: 1375 nm). W sumie rejestracja odbywa się w 13 kanałach spektralnych. Jedną z największych zalet misji Sentinel-2 jest szeroki pas obrazowania sięgający 290 km (o 100 km szerszy niż Landsat), który sprawia, że są to idealne dane do wykonywania analiz stanu lasów i monitorowania dynamiki zmian w skali wielko-powierzchniowej (regionalnej i krajowej). Aktualnie wielu naukowców prowadzi badania nad możliwościami wykorzystania danych Sentinel-2 do określania struktury lasu w ujęciu przestrzennym, tj.: określanie zasięg obszarów leśnych (Escobar-Flores i in., 2018), typu lasu (Liu i in., 2018), klasyfikacji gatunków drzew (Immitzer i in., 2016; Persson i in., 2018; Wessel i in., 2018; Wittke i in., 2019). Jednak wiele z tych badań prowadzonych jest wciąż w skali lokalnej, ograniczona jest natomiast liczba opracowań obejmujących zasięgiem większe obszary, na poziomie regionalnym i większym (Fassnacht i in., 2016).

Cel pracy badawczej

Głównym celem monotematycznego cyklu publikacji jest ocena możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej do określania rozmieszczenia i zróżnicowania przestrzennego obszarów leśnych oraz wykrywania zmian w lasach. Pojęcie „rozmieszczenie” obszarów leśnych odnosi się do występowania, zasięgu lasów na gruncie, zaś sformułowanie „zróżnicowanie przestrzenne” do możliwości wyodrębnienia różniących się od siebie elementów wewnątrz lasów. W przypadku prowadzonych przeze mnie badań „zróżnicowanie przestrzenne” obszarów leśnych dotyczy podziału powierzchni leśnej na drzewostany liściaste i iglaste oraz klasyfikacji głównych (podstawowych) gatunków drzew. Istotnym elementem pracy badawczej jest również wykrywanie zmian w lasach w oparciu o dane satelitarne, opracowanie nowatorskiej koncepcji modelu umożliwiającego interpretację czynnika powodującego zmiany szaty roślinnej, w tym lasów oraz ocenę przydatności wieloczasowych danych satelitarnych Sentinel-2 do wyznaczania zasięgu zniszczeń w lasach spowodowanych huraganowym wiatrem. Pojęcie „obszar leśny” odnosi się do gruntów pokrytych roślinnością leśną, które według krajowej definicji lasu zapisanej w Ustawie o lasach z dnia 28 września 1991 r. (Dz. U. 1991 nr 101, poz. 444, art.3) zajmują zwartą powierzchnię co najmniej 0,1 ha, są ujęte bądź nieujęte w ewidencji gruntów i budynków.

Pierwsza część moich badań naukowych dotyczyła rozwiązań metodycznych związanych z analizą zmian szaty roślinnej, w tym lasów w skali sub-kontynentalnej i krajowej (**P1: Hościło i in., 2015**) oraz określania rozmieszczenia przestrzennego lasów i wykrywania zmian w skali krajowej (**P2: Hościło i Tomaszewska, 2015; P3: Hościło i in., 2016**). Druga część moich badań obejmuje opracowanie metody klasyfikacji obszarów leśnych, typu drzewostanu w podziale na liściaste i iglaste oraz głównych gatunków drzew w oparciu o najnowsze trendy w analizie obrazów satelitarnych jakimi jest m.in. wykorzystanie sztucznej inteligencji do klasyfikacji wieloczasowych obrazów satelitarnych zarejestrowanych przez najnowsze europejskie satelity misji Sentinel-2 (**P4: Mirończuk i Hościło, 2017, P5: Hościło i Lewandowska, 2019**) oraz ocena przydatności danych Sentinel-2 do wyznaczania zasięgu zniszczeń w lasach spowodowanych huraganowym wiatrem (**P6: Hościło i Lewandowska, 2018**).

Zaprezentowane osiągnięcie badawcze wpisuje się w najnowsze trendy badawcze w dziedzinie teledetekcji satelitarnej. Prowadzone przeze mnie badania dotyczą aspektu metodycznego, poznawczego oraz aplikacyjnego. Wypracowana metoda klasyfikacji obszarów leśnych i dominujących typów drzewostanu ma również przełożenie aplikacyjne, czego przykładem jest aplikacja SAT4EST będąca narzędziem wspomagającym proces zarządzania lasami niepaństwowymi bazująca na danych teledetekcyjnych, o której będzie mowa w dalszej części autoreferatu.

Realizacja założonego celu badawczych i osiągnięte wyniki wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Bezpośrednim czynnikiem, który wpłynął na moje zainteresowania związane z wykorzystaniem teledetekcji satelitarnej do badania obszarów leśnych były badania dynamiki zmian tropikalnych lasów bagiennych, położonych w pld. części Borneo, pod wpływem pożarów będących efektem niezrównoważonej gospodarki człowieka. Badania te prowadziłam w ramach studiów doktoranckich w latach 2005-2009 na Wydziale Geografii na Uniwersytecie w Leicester (Wielka Brytania). W trakcie półrocznej przerwy w studiach doktoranckich pracowałam jako konsultant naukowy w projekcie badawczo-naukowym „*Kampar Peninsula Science Based Management Support Project (SBMSP)*”, w którym byłam odpowiedzialna za opracowywanie mapy typów lasów, mapy przedstawiającej stopień zniszczenia lasów tropikalnych na skutek nielegalnego pozyskania drewna na półwyspie Kampar

(Sumatra) oraz za odtworzenie przebiegu kanałów odwadniających na podstawie archiwalnych i aktualnych obrazów satelitarnych.

Punktem wyjścia do badań, których wynikiem jest prezentowane osiągnięcie naukowe, były prace nad koncepcją **modelu umożliwiającego ocenę dynamiki zmian szaty roślinnej, w tym lasów oraz automatyczną identyfikacją obszarów wrażliwych**, które podlegają zmianom w wyniku zmian klimatycznych i nie zrównoważonej działalności człowieka. Badania te wykonywałam w trakcie stażu podoktorskiego na Wydziale Geografii na Uniwersytecie w Leicester, pod kierunkiem Prof. Heiko Balzter. Praca ta była realizowana w ramach Europejskiego projektu FP7 Geoland2, WP: Monitorowanie Zasobów Naturalnych dla Afryki (ang. Natural Resource Monitoring in Africa - NARMA). Moje badania dotyczyły ważnego zagadnienia aplikacyjnego, jakim jest opracowanie wskaźników środowiskowych opartych na obserwacjach satelitarnych, które mogłyby posłużyć decydentom w procesie zarządzania zasobami naturalnymi na poziomie Unii Europejskiej, kraju i regionu. W tym celu analizowałam wieloletnie trendy i anomalie w ilości opadów (na podstawie rocznych danych FEWSNET RFE 2.0 z NOAA Climate Prediction Center) oraz kondycji roślinności z wykorzystaniem znormalizowanego różnicowego wskaźnika roślinnego (ang. *Normalised Difference Vegetation Index* - NDVI) obliczonego na podstawie niskorozdzielczych danych z sensora SPOT-Vegetation o rozdzielczość przestrzenną 1 km². Badania objęłam w sumie 759 jednostek administracyjnych zlokalizowanych na obszarze Afryki Sub-Saharyjskiej. Zaproponowany model bazuje na wieloletnich trendach w ilości opadów i kondycji roślinności. Model oparty jest na czasoprzestrzennych związkach pomiędzy trendami w zmienności rocznego max NDVI i opadami atmosferycznymi w podziale na cztery kategorie reprezentujące obszary, na których: 1) odnotowano pozytywny trend w ilości opadów, co przełożyło się na poprawę kondycji roślinności (ang. „*climatic greening*”), 2) ujemny trend w ilości opadów przełożył się na spadek kondycji roślinności (ang. „*climatic degradation*”), 3) zaobserwowano spadek kondycji roślinności pomimo wzrostu ilości opadów (ang. „*non-climatic degradation*”), najczęściej wskazujące na zmiany będące wynikiem działalności człowieka oraz 4) obserwuje się poprawę kondycji roślinności mimo negatywnego trendu opadów (ang. „*non-climatic greening*”), efekt zmian pokrycia terenu bądź użytkowania ziemi, np.: sztucznego nawadniania. Zaproponowany model został przeze mnie w całości zaimplementowany z użyciem języka programowania IDL (Interactive Data Language). Założenia modelu oraz wyniki jego zastosowania opublikowałam w **P1: Hoscilo i in., 2015**.

Według opracowanego modelu poprawa kondycji roślinności w związku ze zwiększającą się ilością opadów („*climatic greening*”) obserwowana była głównie w regionach zachodniego Sahelu, gdzie wielu autorów wskazywało na efekt tzw. „zazielenienia” po długotrwałych suszach w latach 80-tych ubiegłego wieku. Poprawa kondycji roślinności było również widoczne we wschodniej Afryce, wschodniej części Sahelu oraz centralnej części południowej Afryki, głównie na obszarach będących mozaiką obszarów rolniczych, co mogłoby być efektem zwiększającej się produktywności w związku z wydłużającym się okresem wegetacyjnym. Poprawę kondycji roślinności, niemającej związku z ilością opadów, zaobserwowano fragmentarycznie w centralnej części Sahelu, co prawdopodobnie ma związek z procesem sztucznego nawadniania (27% obszarów w tej kategorii położonych jest na terenach rolniczych). Interesujący jest fakt, że „zazielenienie” niezwiązana z opadami obserwuje się w strefie lasów tropikalnych, gdzie nieznaczna redukcja ilości opadów nie ogranicza rozwoju roślinności ze względu na panujące tam na ogół bardzo wilgotne warunki. Jednak w dłuższej perspektywie przedłużające się warunki stresu wodnego mogą doprowadzić do zmniejszenia pierwotnej produktywności netto i zmian bioróżnorodności biologicznej (Gritti i in., 2010).

Obszary wykazujące degradację pokrywy roślinnej bez związku z opadami zajmują często niewielkie fragmenty, położone głównie we wschodniej części Sub-Saharyjskiej Afryki (Etiopia,

centralna Somalia), południowa część Mali, centralny Kamerun. Najczęstszą przyczyną degradacji szaty roślinnej jest niezrównoważone użytkowanie ziemi, związane ze zwiększającym się popytem na tereny rolnicze, pastwiska, „rozrastaniem” miast, zwiększoną intensywnością użytkowania pastwisk, zmianą reżimu pożarowego czy nielegalnego pozyskania drewna. Według przeprowadzonych przeze mnie analiz, aż 8% wszystkich obszarów, które model wskazał jako zdegradowane bez związku na ilość opadów znajduje się w lasach, co może wskazywać na intensywny proces wylesiania.

Zaproponowany model, może być z powodzeniem wykorzystany do szybkiej oceny dynamiki szaty roślinnej i identyfikacji obszarów wrażliwych w skali od regionalnej po kontynentalną. Odnosząc wyniki modelu do opublikowanych wyników innych autorów, model ten może być stosowany na obszarach, gdzie opady są podstawowym czynnikiem regulującym wzrost roślinności. Model jest mniej dokładny w strefie tropikalnej, gdzie promieniowanie jest ważnym czynnikiem wpływającym na rozwój roślinności, ponadto model bazuje na wartościach wskaźnika NDVI, który ma tendencję saturacji w gęstym lesie. Zaproponowana koncepcja modelu oraz otrzymane wyniki zainteresowały innych naukowców, według Web of Science artykuł **Hościło i in., 2015 [P1]** był 14 razy cytowany przez innych autorów.

Zaproponowany model pozwala na szybkie identyfikowanie obszarów wrażliwych, jednakże interpretacja wskazanych obszarów wymaga dodatkowych, szczegółowych analiz sytuacji na wyższym poziomie szczegółowości z wykorzystaniem danych o wyższej rozdzielczości przestrzennej.

W związku z tym, w dalszym etapie pracy badawczej zajęłam się zagadnieniem mapowania zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi w skali kraju na podstawie wielospektralnych danych satelitarnych. Zagadnienie to zgłębiałam będąc kierownikiem dwóch projektów realizowanych w ramach europejskiego programu obserwacji Ziemi - Copernicus dotyczących programu CORINE Land Cover. Oba projekty były finansowane przez Europejską Agencję Środowiska (EEA). Program CORINE Land Cover (CLC) został zapoczątkowany w 1985 r. Głównym celem programu CLC jest dostarczanie aktualnej informacji dotyczącej pokrycia terenu i użytkowania ziemi w regularnym 6 letnim cyklu na obszarze całej Europy oraz wykazanie zmian zachodzących między kolejnymi cyklami. Zarówno szczegółowość, jak i zakres tematyczny zbieranych danych zostały dostosowane przede wszystkim do potrzeb Unii Europejskiej, w tym Wspólnej Polityki Rolnej oraz polityki środowiskowej prowadzonej przez Dyrektoriat Generalny oraz Europejską Agencję Środowiska (EEA). W ramach programu CORINE, w Instytucie Geodezji i Kartografii opracowane zostały krajowe bazy pokrycia terenu i użytkowania ziemi Corine Land Cover (CLC) dla roku 1990, 2000, 2006, 2012 i 2018, zawierające również informację o zmianach zachodzących między kolejnymi okresami inwentaryzacji. Ostatnie dwie edycje krajowych CLC2012 i CLC2018 były opracowywane pod moim kierownictwem. Źródłem informacji potrzebnymi do opracowania poszczególnych baz były zdjęcia wykonane przez satelity Landsat TM (CLC1990, 2000), SPOT4/5 i IRS-P6 (CLC2006), IRS-P6 i Rapid Eye (CLC2012) oraz Sentinel-2, Landsat 8 (CLC2018). Klasy pokrycia terenu w bazie CLC zorganizowane są hierarchicznie. Spośród 31 klas pokrycia terenu występujących w Polsce, 4 klasy dotyczą bezpośrednio obszarów leśnych: lasy liściaste, iglaste, mieszane oraz klasa lasów i roślinności krzewiastej w stanie zmian. Inwentaryzacja zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi wykonywana jest według jednolitych zasad metodą eksperckiej wizualnej interpretacji zdjęć satelitarnych zarejestrowanych w dwóch analizowanych okresach.

Celem kierowanej przeze mnie inwentaryzacji zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi w latach 2006-2012 było skartowanie wszystkich zmian o powierzchni powyżej 5 ha widocznych na zdjęciach satelitarnych, następnie zbudowanie bazy zmian 2006-2012 (CLC-change) oraz wygenerowanie ciągłej bazy danych CLC2012. Wykonana przeze mnie interpretacja wyników analizy

ilościowej i jakościowej zmian podstawowych form pokrycia terenu w okresie 2006-2012, wykazała, że ponad 75% wszystkich zmian pokrycia terenu w Polsce miało miejsce na obszarach leśnych i w ekosystemach semi-naturalnych, 19% na terenach antropogenicznych, 5% na terenach rolnych i pozostałe 1% objęło obszary podmokłe i wodne (**P2: Hoscilo i Tomaszewska, 2015**). W przypadku klasy lasów i roślinności semi-naturalnej bilans był pozytywny (plus 28 tys. ha), należy jednak pamiętać, że lasy podlegały największym zmianom powierzchniowym w badanym okresie. Ponad 100 tys. ha lasów uległo przekształceniu w inne formy pokrycia terenu, w tym 94% w klasę „las i roślinność krzewiasta w stanie zmian”, zawierającą zarówno powierzchnie zrębowe, jak również nasadzenia i grunty podlegające naturalnej sukcesji. Spadek powierzchni leśnej był także związany z konstrukcją dróg i nowych obiektów (2,5%) oraz zwiększonym wydobyciem surowców naturalnych (1,3%). Powierzchnia leśnej zwiększyła się o 99,7 tys. ha, 99,6% stanowiły grunty w klasie „las i roślinność krzewiasta w stanie zmian” przekształcone w klasę „las liściasty, iglasty bądź mieszany”.

W 2018 r. kierowałam pracami związanymi z inwentaryzacją zmian pokrycia terenu w latach 2012-2018 na podstawie danych z satelity Sentinel-2 i Landsat 8 oraz produkcją krajowej bazy CLC2018. Prace te były realizowane w ramach projektu ramowego będącego częścią usług Copernicus Land Monitoring, finansowanego przez Europejską Agencję Środowiska. Po zakończeniu projektu wykonałam przestrzenną analizę zmian pokrycia terenu w badanym okresie i wykazałam, że całkowita powierzchnia zmian była o około 30 tys. ha większa niż w przypadku okresu 2006-2012 i wyniosła 335,7 tys. ha (Hościło, 2019). Ponownie ponad 75% wszystkich zmian, jakie zaszły w analizowanym okresie dotyczyło terenów leśnych i roślinności semi-naturalnej. Około 169,7 tys. ha lasów zostało przekształconych w inne formy pokrycia terenu, w tym 96% (163 tys. ha) dotyczyło przekształcenia klasy „las” w klasę „las i roślinność krzewiasta w stanie zmian”. Przekształcenia te objęły głównie tereny leśne, które uległy zniszczeniu na skutek huraganowych wiatrów w sierpniu 2017 r. Dalszy spadek powierzchni leśnej nastąpił na skutek przekształcenia lasów w tereny pod budowę (1,3%), miejsca eksploatacji odkrywkowej (0,8%) i tereny komunikacyjne (0,4%). W okresie 2012-2018 przybyło 67,7 tys. ha lasów, które w 98% stanowiły przejście z klasy „las i roślinność krzewiasta w stanie zmian” w klasę „las” (liściasty, iglasty bądź mieszany). Około 1,5% gruntów ornych i użytków zielonych zostało przekształconych w tereny leśne. Analiza struktury powierzchniowej lasów według baz CLC kształtuje się następująco: lasy ogółem zajmowały 31,1% kraju w 2012 r. i 31% w 2018 r., w tym lasy liściaste stanowiły 16%, iglaste 58% i lasy mieszane 26%.

Analizując strukturę przestrzenną i dynamikę zmian obszarów leśnych w oparciu o krajowe bazy CLC, należy pamiętać, iż bazy te zawierają dane powierzchniowe o minimalnej powierzchni 25 ha i szerokości powyżej 100 m, zaś bazy zmian zawierają zmiany rzeczywiste o minimalnej powierzchni 5 ha i szerokości powyżej 100 m widoczne na zdjęciach satelitarnych. W konsekwencji obiekty, np.: lasy, zabudowa o powierzchni poniżej 25 ha lub drogi węższe niż 100 m nie pojawią się w bazie. Ulegają one procesowi generalizacji i zostają włączone do dominującej klasy pokrycia terenu stanowiącej jednorodny wielobok o powierzchni powyżej 25 ha, bądź przynależą do klas o charakterze mozaiki różnych klas pokrycia terenu. Analiza szczegółowa kierunku zmian zachodzących na terenach leśnych jest dodatkowo utrudniona ze względu na istnienie klas o dużym stopniu ogólności, np.: klasa „las i roślinność krzewiasta w stanie zmian” zawiera zarówno zręby, jak również lasy, które uległy zniszczeniu na skutek wiatrolomów czy gradacji kornika oraz tereny podlegające naturalnej sukcesji bądź nasadzenia. Przyjęte założenia techniczne są dostosowane do potrzeb użytkowników odpowiadających za politykę środowiskową na poziomie krajowym i europejskim.

Biorąc pod uwagę ograniczenia baz CLC związane z przyjętym podejściem metodycznym, uniemożliwiające szczegółowe analizy pokrycia terenu, rozdzielczością przestrzenną, dużym stopniem generalizacji oraz 6-cio letnim cyklem produkcji, niewystarczającym do uchwycenia dynamicznie

zmieniających się obiektów, w swojej dalszej pracy badawczej skupiłam się na pozyskaniu szczegółowej informacji o rozmieszczeniu przestrzennym lasów w Polsce bez względu na prawo własności. Dodatkową motywacją były wskazane przez kilku autorów rozbieżności pomiędzy rzeczywistym stanem lasów na gruncie, a danymi oficjalnymi pochodzącymi z rejestrów ewidencyjnych raportowanymi przez Główny Urząd Statystyczny (Jabłoński, 2015; Jabłoński i in., 2018; Kolecka i in., 2015).

Znając z jednej strony ograniczenia krajowych baz CLC, z drugiej zaś potrzebę wygenerowania szczegółowej numerycznej mapy przedstawiającej rzeczywiste rozmieszczenie lasów w skali kraju, **opracowałam założenia metodyczne określenia rzeczywistej lesistości kraju oraz generowania cyfrowej mapy lasów odnoszącej się do krajowej definicji lasu zapisanej w Ustawie o lasach (1991) oraz definicji lasu wg Protokołu z Kioto w oparciu o dostępne dane przestrzenne** pochodzące z różnych źródeł. Prace badawcze związane z tym zagadnieniem były realizowane pod moim kierownictwem w trakcie projektu „*Inwentaryzacja rzeczywistej lesistości kraju z wykorzystaniem istniejących danych fotogrametrycznych, teledetekcyjnych oraz innych dostępnych danych przestrzennych*” finansowanego przez Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych (DGLP).

Inwentaryzacja rzeczywistej lesistości kraju odnosi się do krajowej definicji lasu określonej w Ustawie o lasach z dnia 28 września 1991 r. (Dz. U. 1991 nr 101, poz. 444, art.3). Za „las” przyjęliśmy grunty pokryte roślinnością leśną, ujęte i nieujęte w ewidencji gruntów i budynków o zwartej powierzchni co najmniej 0,1 ha; wyłączone zostały natomiast grunty związane z gospodarką leśną z wyjątkiem szkółek leśnych. Dodatkowo przyjęliśmy kryterium 10% pokrycie koronami drzew oraz założenie minimalnej szerokości kompleksu leśnego – 10 m. Do rzeczywistej powierzchni lasu podlegającej raportowaniu w ramach Protokołu z Kioto włączone zostały, oprócz lasów spełniających kryterium krajowej definicji lasy (opisane powyżej), również lasy przeznaczone lub wykorzystywane na cele mieszkaniowe, rekreacyjne, infrastrukturalne i inne komunalne, przemysłowe oraz tereny zagospodarowane rolniczo (np.: uprawy trwałe: sady, plantacje roślin drzewiastych).

Zaproponowana przeze mnie metoda określania rzeczywistej lesistości kraju polegała na synergii dostępnych danych przestrzennych zawierających informację o zasięgu lasów, tj.: Leśna Mapa Numeryczna (LMN), Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10K), Baza Danych Systemu Identyfikacji Działek Rolnych (LPIS) - pola zagospodarowania (PZ-LPIS) i Plany Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW-LPIS), Bank Danych o Lasach (BDL) oraz warstwa wysokorozdzielcza lasów z programu Copernicus (High Resolution Layers - HRL), opracowana na podstawie wysokorozdzielczych danych satelitarnych (Hościło i Mirończuk, 2016b). Aby zapewnić wysoką dokładność i wiarygodność produktu końcowego w pierwszym etapie wykonana została szczegółowa analiza aktualności, zawartości, kompletności i spójności poszczególnych źródłowych danych przestrzennych. Do wykonania analizy dokładności zastosowaliśmy metodę „próbki losowego” za pomocą losowo rozrzuconych powierzchni kontrolnych o wymiarach 10 × 10 m. Wyniki analizy dokładności danych o zasięgu krajowym wykazały, że warstwa wysokorozdzielcza HRL obciążona jest największym błędem „nadmiaru” (7,5%), zaś warstwa BDL największym błędem „pominięcia” (16,7%). Najniższy błąd „pominięcia” mają warstwy BDOT (2,4%), HRL (2,5%) i PZ-LPIS (4,0%). Błędy nadmiaru warstw BDOT, BDL i PZ-LPIS osiągają zbliżone wartości, odpowiednio: 5,0%, 4,6% i 4,4%. Ważnym aspektem określania zarówno rzeczywistej lesistości oraz lesistości wg Protokołu z Kioto było wypracowanie metody integracji danych źródłowych. W tym celu zaproponowałam zastosowanie algebry map z parametrami wagowymi, będącymi wynikiem oceny dokładności poszczególnych danych źródłowych. Najwyższą wagę otrzymały piksele, których źródłem była wyłącznie LMN i PROW bądź ich kombinacja z innymi danymi oraz piksele, które pochodzą z trzech lub czterech źródeł. Mniejszą wagę otrzymały piksele pochodzące z dwóch źródeł o najniższym błędzie pominięcia: BDOT i LPIS. Najniższą wagę

otrzymały zaś grupy pikseli pochodzące z dwóch i jednego źródła. Piksele pochodzące wyłącznie z HRL zostały usunięte ze względu na stosunkowo duży błąd nadmiaru (**P3: Hościło i in., 2016**).

Przyjęta metodyka pozwoliła na określenie powierzchni lasów z dokładnością 99%; błąd „nadmiaru” wyniósł 0,42%, zaś błąd „pominięcia” 0,89%. Na podstawie wyników badań, powierzchnia rzeczywista lasów wg definicji krajowej wyniosła 9997,7 tys. ha, co stanowi 32,0% powierzchni kraju i jest o prawie 800 tys. ha większa niż powierzchnia lasów podawana oficjalnie przez GUS. Według GUS powierzchnia lasów w Polsce w 2014 r. wyniosła 9197,9 tys. ha, co stanowi 29,4% powierzchni kraju. Zgodnie z definicją zawartą w Protokole z Kioto powierzchnia lasów według przeprowadzonych analiz wyniosła 33,5% terytorium kraju. Dla porównania, według Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) odpowiedzialnego za szacowanie i raportowanie emisji gazów cieplarnianych do konwencji klimatycznej powierzchnia lasów w Polsce wynosiła 9382,6 tys. ha, co stanowi 30% powierzchni kraju (stan na 1 stycznia 2014 r.).

Wyniki wykonanych badań (**P3: Hościło i in., 2016**) potwierdziły rozbieżności między rzeczywistą lesistością kraju (stanem na gruncie), a danymi zawartymi w ewidencji gruntów i budynków. Rzeczywista powierzchnia lasów w kraju wg naszego opracowania jest o 213 tys. ha niższa niż obliczona w oparciu o analizy statystyczne na podstawie wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasów (WISL) przez zespół Jabłońskiego i in. (2018). Dla porównania powierzchnia lasu wg Protokołu z Kioto obliczona przez zespół Jabłoński i in. (2018) jest o 178 tys. ha niższa niż obliczona według naszego podejścia.

Aktualizacja stanu lasów oraz obliczanie rzeczywistej lesistości kraju prowadzona na podstawie obliczeń analitycznych uniemożliwia generowanie przestrzennych map rozmieszczenia lasów oraz map zmian pokazujących lokalizację, kierunek i faktyczną powierzchnię zmian w lasach. Ponadto, należy pamiętać, że każda definicja lasu zawiera kryterium powierzchniowe, które może być zastosować wyłącznie do danych przestrzennych. Dane WISL, jak słusznie zauważył Jabłoński i in. (2018), nie pozwalają na weryfikację kryterium powierzchniowego.

Analiza rozbieżności w stosunku do powierzchni województwa pokazała, że największe rozbieżności dotyczyły województwa podkarpackiego, gdzie „nadwyżki” lasu objęły 3,8% powierzchni województwa, następnie świętokrzyskiego (3,7%), zachodnio-pomorskiego (3,6%), lubuskiego (3,3%) i śląskiego (3,2%). Zakładając, że lasy publiczne, będące własnością Skarbu Państwa (Lasy Państwowe i parki narodowe), są prawidłowo ujęte w ewidencji gruntów, można uznać, że otrzymane rozbieżności związane są prawdopodobnie z gruntami prywatnymi nieujętych w rejestrze geodezyjnym jako „las”. Czynniki wpływające na tę sytuację to: brak aktualnych uproszczonych planów urządzania lasu, prowadzenie prac urzędniowych wyłącznie na gruntach figurujących w ewidencji gruntów i budynków jako „las”, problem z przeklasyfikowaniem gruntów (Jabłoński, 2015). Ważnym czynnikiem jest również wzrost lesistości wywołany sukcesą naturalną, czyli powrotem lasu na nieużytki porolne (Kolecka i in., 2018).

Zaletą zaproponowanej metody określenia rzeczywistej lesistości kraju jest możliwość wygenerowania cyfrowych map przedstawiających przestrzenne rozmieszczenie lasów w skali kraju według a) krajowej definicji lasu i b) ustaleń Protokołu z Kioto, obejmujących zasięgiem cały kraj. Mapy te dostarczają informacji o przestrzennym, szczegółowym rozmieszczeniu wszystkich lasów na gruncie, czyli zarówno lasów ujętych w ewidencji jak i obszarów pokrytych roślinnością leśną a niebędących lasem według EGiB. Wypracowane metodyczne podejście określania rzeczywistej lesistości kraju wymaga jednak dostępu do aktualnych, precyzyjnych i kompletnych danych przestrzennych. Dokładność uzyskanych wyników zależy w znaczącym stopniu, od jakości danych

wejściowych. Niektóre krajowe bazy, takie jak np.: BDOT10K posiadają warstwy pokrycia terenu dla całego kraju, ale ich wadą jest nieregularny sposób aktualizacji, co skutkuje niejednorodnym stanem czasowym dostępnej bazy. Zarówno w analizach środowiskowych, jak i w procesie raportowania bardzo ważną informacją jest stan czasowy prezentowanych danych.

Jednorodny stan czasowy w ujęciu wielkoobszarowym jest możliwy do uchwycenia za sprawą najnowszych europejskich satelitów Sentinel-2. Wraz z wyniesieniem na orbitę siostrzanych satelitów Sentinel-2 możliwe stało się obrazowanie powierzchni Ziemi z wysoką rozdzielczością przestrzenną i czasową, pozwalającą na uzyskanie, co najmniej kilku bezchmurnych zobrazowań tego samego obszaru w przeciągu roku. Ważnym aspektem w przypadku analiz wielko-powierzchniowych, umożliwiających uchwycenie jednorodnego stanu czasowego jest szeroki pas obrazowania sięgający w przypadku Sentinel-2 aż 290 km.

Znając zalety zobrazowań Sentinel-2, w dalszej części moich badań skupiłam się na aspekcie automatycznej klasyfikacji obszarów leśnych w oparciu o najnowsze, zaawansowane algorytmy klasyfikacyjne. Ze względu na postęp technologiczny w zakresie mocy obliczeniowych komputerów, rozwiązań chmurowych, jak również nieustannie zwiększającej się liczby danych satelitarnych, udoskonalane są zaawansowane algorytmy klasyfikacyjne. W ostatnich latach dowiedziono, że algorytmy oparte na uczeniu maszynowym i sztucznej inteligencji pozwalają uzyskać dokładniejsze wyniki klasyfikacji dużych zbiorów danych w porównaniu do konwencjonalnych parametrycznych metod klasyfikacji obrazów (Mountrakis i in., 2011; Rodriguez-Galiano i in., 2012). Aktualnie najczęściej wykorzystywanymi algorytmami uczącymi są drzewa decyzyjne - ang. Random Forest - RF (Rodriguez-Galiano i in., 2012), metoda wektorów nośnych - ang. Super Vector Machines – SVM (Mountrakis i in., 2011), czy konwolucyjne sieci neuronowe - ang. Convolution Neural Network – CNN (Ayrey i Hayes, 2018; Hafemann i in., 2014).

Swoje badania w tym zakresie rozpoczęłam od **klasyfikacji obszarów leśnych z wykorzystaniem metody wektorów nośnych Support Vector Machines (SVM)**. Klasyfikacje wykonaliśmy dla fragmentu obszaru Leśnego Kompleksu Promocyjnego Puszczy Knyszyńskiej (**P4: Mirończuk i Hościło, 2017**). Metoda SVM należy do nieparametrycznych metod uczenia maszynowego, oparta jest na koncepcji przestrzeni decyzyjnej, którą dzieli się budując granice separujące obiekty o różnej przynależności klasowej. Celem wykonanych analiz była ocena przydatności pierwszych zobrazowań z satelity Sentinel-2A do kartowania obszarów leśnych metodą SVM. Klasyfikacja została wykonana na pojedynczych zobrazowaniach Sentinel-2A zarejestrowanych wczesną wiosną (23.03.2016) i latem (31.08.2015) oraz dla kombinacji dwóch zobrazowań klasyfikowanych jednocześnie. Dodatkowo testowaliśmy wpływ poszczególnych kanałów spektralnych Sentinel-2A na wynik klasyfikacji. Największą dokładność osiągnęliśmy w przypadku klasyfikacji z wykorzystaniem dwóch zdjęć jednocześnie (dokładność całkowita 99,6%), zaś nieco niższą wykorzystując pojedyncze zobrazowanie zarejestrowane latem (99,2%). W obu przypadkach klasyfikacja była wykonana z wykorzystaniem wyłącznie kanałów spektralnych o rozdzielczości przestrzennej 10 m. Zastosowanie kombinacji kanałów 10 i 20 m nieznacznie pogorszyło wynik klasyfikacji, odpowiednio o około 0,8 i 0,4%, w przypadku użycia dwóch dat i pojedynczej sierpniowego obrazu. Klasyfikacja na pojedynczych obrazach cechowała się również wysokim błędem pominięcia równym 1,7% w przypadku kanałów 10 m i 2,5% w przypadku kombinacji kanałów 10 i 20 m. Błąd „nadmiaru” był również wyższy w przypadku pojedynczego obrazu (3,3 - 4,8%), dla porównania w przypadku kombinacji dwóch obrazów wynosił 0,8 - 2,4%. Wizualna ocena otrzymanych wyników potwierdziła liczne błędy „pominięcia” i „nadmiaru” w przypadku klasyfikacji na pojedynczych obrazach oraz błędy „pominięcia” na krawędziach lasów w przypadku kombinacji obrazów z dwóch dat.

Wraz z wyniesieniem na orbitę bliźniaczego satelity Sentinel-2B, czas rewizyty satelitów w misji Sentinel-2 zwiększył się do 5 dni, tym samym wzrosło prawdopodobieństwo rejestracji bezchmurnych obrazów. W trakcie dalszej pracy badawczej zgłębiałam wiedzę na temat zaawansowanych technik klasyfikacji obszarów leśnych, nie tylko pod kątem mapowania rzeczywistego rozmieszczenia lasów, ale także ich przestrzennego zróżnicowania, czyli podziału powierzchni leśnej na drzewostany liściaste i iglaste oraz klasyfikacji gatunku panującego w oparciu o wieloczasowe dane z misji Sentinel-2. Szczegółową klasyfikację obszarów leśnych wykonywałam z zastosowaniem nieparametrycznej metody uczenia maszynowego - Random Forest (RF) (Breiman, 2001). RF działa skutecznie na dużych i wielozakresowych zestawach danych i jest stosunkowo odporny na wartości „odstające”, na redukcję danych treningowych. Klasyfikator RF jest mniej wrażliwy, niż inne klasyfikatory oparte na uczeniu maszynowym na jakość danych referencyjnych i efekty „przeuczenia” modelu, ze względu na dużą liczbę drzew decyzyjnych (Pelletier i in., 2016; Isuhuaylas i in., 2018; Wessel i in., 2018).

Głównym celem moich badań był: i) **zbadanie potencjału wielo-czasowych danych Sentinel-2 i ich kombinacji ze zmiennymi topograficznymi (DEM, nachylenie, aspekt) do mapowania obszarów leśnych / nieleśnych i typu lasu (w podziale na liściaste i iglaste), ii) zidentyfikować osiem gatunków drzew: buk, dąb, olcha, brzoza, świerk, sosna, jodła i modrzew na dużym obszarze górskim w skali regionalnej.** Badaniu poddaliśmy również wpływ stratyfikacji typu lasu na wyniki klasyfikacji gatunków drzew według dwóch podejść: i) wszystkie gatunki zostały sklasyfikowane razem w masce leśnej, ii) gatunki drzew liściastych i iglastych zostały sklasyfikowane oddzielnie w maskach typu lasu (**P5: Hościło i Lewandowska, 2019**).

Badania prowadzone były na obszarze około 380 tys. ha obejmującym powiat nowotarski, rejon Podhala i fragment Beskidów. Powiat nowotarski jest jednym z powiatów o największej powierzchni lasów niepaństwowych, które stanowią około 67% powierzchni powiatu (GUS, 2017). Klasyfikacja została wykonana metodą Random Forest w oparciu o cztery obrazy Sentinel-2 zarejestrowane w różnych fazach fenologicznych roślin: wiosna (20.04.2018), lato (8.08.2016), wczesna i środkowa jesień (2.10.2017 i 12.10.2018). Jako dane referencyjne posłużyły powierzchnie próbne z wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasów (WISL) z okresu 2015-2016 oraz gatunkowo jednorodne wydzielienia zawarte w Leśnej Mapie Numerycznej (LMN) - Mapa drzewostanów dostępna w Banku Danych o Lasach. Powierzchnie referencyjne, reprezentujące osiem głównych gatunków drzew zostały automatycznie wybrane wewnątrz jednorodnych wydzieleni leśnych, gdzie jeden gatunek stanowił powyżej 90% udziału. Dane referencyjne zostały podzielone na zbiór treningowy i testowy w proporcji 60% do 40%.

W badaniach zaproponowałam hierarchiczny model klasyfikacji, gdzie w pierwszej kolejności wykonany został podział przestrzeni na obszary leśne i nieleśne, następnie powierzchnię leśną podzielono na drzewostany liściaste i iglaste. Dodatkowo, biorąc pod uwagę aspekt ukształtowania terenu klasyfikacja była wykonywana na dwóch zestawach danych zawierających: 1) wieloczasowe zdjęcia z Sentinel-2 (kanały o rozdzielczości przestrzennej 10 i 20 m) oraz 2) wieloczasowe zdjęcia z Sentinel-2 w połączeniu z numerycznym modelem terenu (ang. Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model - SRTM DEM) oraz spadkami i ekspozycją stoków obliczonymi z danych SRTM DEM. W sumie, w przypadku pierwszego zestawu danych analizie poddaliśmy 40 zmiennych, czyli 10 kanałów spektralnych dla każdego z czterech obrazów Sentinel-2. W przypadku zestawu drugiego, do 40 kanałów spektralnych Sentinel-2 dodane zostały trzy zmienne dotyczące ukształtowania terenu – w sumie 43 zmienne. Wszystkie dane wejściowe zostały doprowadzone do jednolitej rozdzielczości przestrzennej równej 10 x 10 m.

W przypadku klasyfikacji głównych gatunków drzew liściastych (buk, brzoza, dąb, olcha) i iglastych (sosna, świerk, modrzew, jodła) testowane były dwa podejścia: 1) bez stratyfikacji, kiedy klasyfikacja gatunkowa była wykonana jednocześnie dla wszystkich gatunków wewnątrz maski lasów oraz 2) ze stratyfikacją, kiedy gatunki liściaste były klasyfikowane wewnątrz maski lasów liściastych, zaś iglaste wewnątrz maski lasów iglastych.

Dokładność całkowita klasyfikacji obszarów leśnych i nieleśnych z zastosowaniem metody Random Forest wyniosła ponad 98%, zaś podział powierzchni leśnej na drzewostany liściaste i iglaste prawie 95%. Otrzymane wyniki pokazały, że dodanie zmiennych charakteryzujących ukształtowanie terenu do informacji spektralnej z Sentinel-2 nie poprawiło wyniku klasyfikacji obszarów leśnych oraz drzewostanów liściastych i iglastych. Tym samym klasyfikacja obszarów leśnych i drzewostanów liściastych i iglastych może odbywać się z powodzeniem w oparciu o wieloczasowe zdjęcia z Sentinel-2. Do takich samych wniosków doszedł Zhu i Liu (2014) klasyfikując lasy w Ohio (USA) w oparciu o wieloczasowe zdjęcia z satelity Landsat. Jest to bardzo istotne wnioski w przypadku operacyjnego zastosowania tej metody na obszarze o większym zasięgu.

Inaczej sytuacja wygląda w przypadku klasyfikacji głównych gatunków drzew, gdzie uwzględnienie dodatkowo numerycznego modelu terenu podniosło znacząco wynik klasyfikacji. Dokładność całkowita wzrasta z 76% w przypadku scenariusza bez numerycznego modelu terenu, do 82% w przypadku dodania numerycznego modelu terenu. Dodatkowy znaczący wzrost dokładności do 89,5% w przypadku gatunków drzew liściastych oraz 82% w przypadku gatunków drzew iglastych, uzyskano po zastosowaniu podejścia ze stratyfikacją, gdzie w masce lasów liściastych dokonano klasyfikacji dominujących gatunków drzew liściastych: buk, brzoza, dąb, olcha, zaś w masce lasów iglastych dominujących gatunków drzew iglastych: sosna, świerk, modrzew, jodła. Znaczenie numerycznego modelu terenu w klasyfikacji gatunków było również podkreślane przez innych autorów (Dorren i in., 2003; Liu i in., 2018).

Otrzymane wyniki potwierdziły, że zastosowanie podejścia ze „stratyfikacją” polepszyło znacząco wyniki klasyfikacji gatunków liściastych. W przypadku zastosowania stratyfikacji uzyskaliśmy największą dokładność dla dębu (95,1%), buku (92,3%) i brzozy (90,6%), a najniższą dla olchy (83,1%). Są to znacznie wyższe dokładności niż uzyskiwane przez autorów, którzy nie stosowali stratyfikacji (Immitzer i in., 2016; Stoffels i in., 2015; Waser i in., 2014). Stratyfikację do klasyfikacji dwóch gatunków: buki i dębu na zdjęciach Sentinel-2 wykorzystali również Wessel i in. (2018) otrzymując wyższe wyniki dla buku (94%) i dębu (100%), analizy te były jednak wykonywane w skali lokalnej. Wynik klasyfikacji gatunków iglastych był niższy w porównaniu do gatunków liściastych. Najwyższą dokładność uzyskano dla świerku (85%) i sosny (85,1%), zaś najniższą dla modrzewia i jodły (prawie 80%). Rezultaty te były porównywalne z wynikami (Stoffels i in., 2015; Waser i in., 2014) i znacznie wyższe od uzyskanych przez Immitzer i in. (2016).

Metoda klasyfikacji Random Forest umożliwia wyznaczenie rankingu zmiennych, a tym samym określenie, które zmienne mają lepsze właściwości predykcyjne. Otrzymane wyniki potwierdziły, że największe znaczenie w klasyfikacji gatunków drzew miał numeryczny model terenu, przy czym należy podkreślić, że miał on większe znaczenia w przypadku gatunków iglastych niż liściastych. W klasyfikacji gatunków liściastych duże znaczenie miały kanały rejestrujące odbicie spektralne w zakresach promieniowania czerwonego (kanał B4), bliskiej podczerwieni, tzw. „red-edge” (kanały: B5, B6, B7) oraz w zakresie krótkiej podczerwieni SWIR (kanały: B12 i B11). Dla porównania, w klasyfikacji gatunków iglastych największy udział miały, oprócz numerycznego modelu terenu, kanały rejestrujące promieniowanie w zakresie widma widzialnego (kanały: B4 i B3) oraz w zakresie krótkiej podczerwieni (kanały: SWIR: B12 i B11). Uzyskane wyniki potwierdziły, że o ile włączenie

numerycznego modelu terenu do procesu klasyfikacji nie miało wpływu na wynik klasyfikacji lasów i drzewostanów liściastych i iglastych o tyle miało wpływ na klasyfikację głównych gatunków drzew, zarówno liściastych, jaki i iglastych.

Ważnym aspektem, mającym duży wpływ na wynik końcowy klasyfikacji z wykorzystaniem maszyn uczących i sztucznej inteligencji jest jakość zbioru danych referencyjnych. W trakcie wyboru powierzchni referencyjnych do klasyfikacji gatunków głównych wykorzystano gatunkowo jednorodne wydzielania z Leśnej Mapy Numerycznej. Wstępne analizy automatycznie wybranych powierzchni referencyjnych wewnątrz gatunkowo jednorodnych wydzieleni leśnych potwierdziły konieczność przeprowadzenia dodatkowej, manualnej weryfikacji danych referencyjnych. Przykładowo, niektóre losowo wybrane powierzchnie referencyjne dla świerka „trafiły” w wydzielania, wewnątrz których postępująca gradacja kornika drukarza spowodowała całkowitą bądź znaczną degradację drzewostanów świerkowych. W kilku przypadkach losowo wybrane gatunkowo jednorodne wydzielania okazały się nie całkowicie jednorodne.

Opracowana metoda klasyfikacji obszarów leśnych oraz drzewostanów liściastych i iglastych pozwala na automatyczne generowanie cyfrowych map przedstawiających rozmieszczenie i zróżnicowanie przestrzenne obszarów leśnych w skali regionalnej. Mapy te w wersji cyfrowej zasilają serwis internetowy SAT4EST będący przykładem aplikacyjnego wykorzystania produktów satelitarnych w zarządzaniu lasami niepaństwowymi. Mapy te zostały wskazane przez użytkowników serwisu SAT4EST, jako najbardziej pożądane i niezbędne w procesie zarządzania lasami niepaństwowymi.

Aktualna i dokładna numeryczna mapa przedstawiająca rozmieszczenie lasów jest niezbędna do ograniczenia analizowanej przestrzeni w przypadku wykrywania zmian w lasach bądź szybkiej analizy zasięgu zniszczeń. W związku z tym, kolejnym podjętym przeze mnie ważnym zagadnieniem jest ocena możliwości wykorzystania danych Sentinel-2 do wykrywania wielkoobszarowych zmian w lasach. Ocena i śledzenie dynamiki zmian w środowisku wymaga dostępu do zarówno archiwalnych jak i najbardziej aktualnych danych dostarczanych z dużą częstotliwością. Jest to szczególnie ważne w przypadku gwałtownych, nieprzewidywalnych zmian, takich jak przykładowo zniszczenia spowodowane przez huraganowe wiatry, które przeszły nad Polską w sierpniu 2017 r. W tym przypadku szacowanie zniszczeń na dużym obszarze było utrudnione skalą zjawiska oraz ograniczonym dostępem do zniszczonych obszarów. Znając, z jednej strony utrudnienia związane z wielkoobszarowymi analizami z pułapu lotniczego, z drugiej zaś strony możliwości aktualnej teledetekcji satelitarnej, zaproponowałam **wykorzystanie wieloczynowych zobrażeń satelitarnych z misji Sentinel-2 do szacowania zasięgu i stopnia zniszczeń w lasach spowodowanych huraganowym wiatrem w sierpniu 2017 r.** Wysokorozdzielcze zobrażenia z satelitów Sentinel-2 rejestrowane z wysoką częstotliwością umożliwiły odtworzenie sytuacji przed i po przejściu nawałnicy, tym samym pozwalając na określenie powierzchni zniszczeń (P6: Hoscilo i Lewandowska, 2018). Analiza zasięgu zniszczeń w lasach została wykonana w oparciu o spektralny znormalizowany różnicowy wskaźnik wilgotności (NDMI), obliczony na podstawie danych Sentinel-2. Wskaźnik spektralny NDMI wykorzystuje promieniowanie z zakresu krótkiej podczerwieni (SWIR – B11: 1610 nm), która jest wrażliwa na zmiany zawartości wody w liściach i zmiany struktury gąbczastej mezofilu oraz zakresu bliskiej podczerwieni (NIR – B8 = 842 nm), wrażliwą na zmiany w wewnętrznej strukturze liścia. Następnie dla każdej pary zdjęć pokrywających ten sam obszar, zarejestrowanych przed przejściem i po przejściu nawałnicy, zostały obliczone różnice wartości wskaźnika (dNDMI). Podjęliśmy również próbę wydzielenia klas zniszczeń: a) powierzchni, na których nastąpiło całkowite zniszczenie drzewostanu bądź zniszczony drzewostan został w znacznym stopniu uprzątnięty oraz b) powierzchni częściowo zniszczonych, stanowiących mozaikę uszkodzonego i nieuszkodzonego

drzewostanu. Dwie klasy zniszczeń zostały wydzielone na podstawie wizualnej analizy tekstury obrazu oraz dominujących odbić spektralnych.

Uzyskane wyniki analiz wieloczasowych zobrażeń Sentinel-2 wykazały, że uszkodzeniu uległy lasy o łącznej powierzchni 35,8 tys. ha, z czego 27,7 tys. ha stanowią uszkodzenia lasów będących w zarządzie Lasów Państwowych, zaś pozostałe ponad 8,1 tys. ha to uszkodzenia w lasach niebędących własnością Lasów Państwowych. Określona na podstawie danych z Sentinel-2 powierzchnia zniszczeń z lasach zarządzanych przez Lasy Państwowe była o ponad 11 tys. ha mniejsza niż powierzchnia lasów zakwalifikowanych do odnowień według wstępnego szacunkowego raportu szkód (DGLP, 2017). Bardzo ważnym aspektem przy zastosowaniu teledetekcji satelitarnej w szacowaniu rozmiaru szkód w lasach jest termin pozyskania zobrażeń. Ograniczeniem dla satelitów optycznych jest silne zachmurzenie. W przypadku sierpniowego huraganu pierwsze bezchmurne zobrażenia obejmujące cały obszar zostały zarejestrowane ponad miesiąc po przejściu nawałnicy. Analizując jednak możliwości określenia zasięgu zniszczeń w lasach należy pamiętać, że w przypadku drzew częściowo uszkodzonych znaczące zmiany w strukturze ulistnienia i zawartości wody w liściach w porównaniu do nieuszkodzonych drzewostanów będą widoczne po upływie dłuższego okresu. Odbicie spektralne rejestrowane przez sensory satelitarne pochodzi zarówno od uszkodzonych drzew, jak i od odsłoniętego niższego piętra lasu. Informacja o proporcji odbicia spektralnego od powierzchni gleby i roślinności mogłaby posłużyć do określenia powierzchni, na których niezbędne jest przeprowadzenie prac porządkujących i odnowień oraz powierzchni, które mają potencjał do odnowy samoistnej (Thorn S. i in., 2016; Żmihorski, 2010).

Podsumowanie najważniejszych wyników badań

- Opracowany koncepcyjny model umożliwiający interpretację czynnika powodującego zmianę szaty roślinnej, w tym lasów poprzez analizę związku między wieloczasowymi trendami opadów atmosferycznych, a kondycją roślinności może być z powodzeniem wykorzystany do szybkiej oceny dynamiki szaty roślinnej i identyfikacji obszarów wrażliwych w skali od regionalnej, krajowej po kontynentalną **[P1]**. Interpretacja wskazanych obszarów wrażliwych wymaga dodatkowych, szczegółowych analiz sytuacji na wyższym poziomie szczegółowości z wykorzystaniem danych o wyższej rozdzielczości przestrzennej.
- Bazy pokrycia terenu Corine Land Cover (CLC) dostarczają systematycznie aktualizowanej informacji o podstawowych formach pokrycia terenu i użytkowania ziemi oraz zmianach zachodzących między kolejnymi cyklami w skali kraju. W 2012 r., struktura powierzchniowa lasów w Polsce według bazy CLC2012 kształtowała się następująco: lasy ogółem zajmowały 31,1% kraju, w tym lasy liściaste stanowiły około 16%, iglaste 58% i lasy mieszane 26%. W okresie 2006-2012, powierzchnia lasów w Polsce zwiększyła się o 99,7 tys. ha, w tym 98% stanowiły grunty w klasie „las i roślinność krzewiasta w stanie zmian” przekształcone w klasę „las” **[P2]**.
- Ograniczenia baz CLC związane z przyjętym podejściem metodycznym, dostosowanym do potrzeb użytkowników odpowiadających za politykę środowiskową na poziomie krajowym i europejskim, rozdzielczością przestrzenną, dużym stopniem generalizacji uniemożliwiają szczegółowe analizy pokrycia terenu, zaś 6-cio letnim cyklem produkcji jest niewystarczający do uchwycenia dynamicznie zmieniających się obiektów.
- Zaproponowana metoda integracji dostępnych wieloźródłowych danych przestrzennych o zasięgu krajowym, poprzedzona szczegółową analizą aktualności, zawartości, kompletności i spójności poszczególnych źródłowych danych pozwoliła na wygenerowanie numerycznej mapy przedstawiającej rozmieszczenie przestrzenne lasów oraz określanie rzeczywistej

- lesistości kraju oraz lesistości według ustaleń Protokołu z Kioto. Dokładność zaproponowanej metody zależy jednak od dokładności, aktualności i kompletnych danych przestrzennych [P3].
- Wyniki analizy rzeczywistej lesistości kraju potwierdziły rozbieżność między rzeczywistą powierzchnią lasów (stanem na gruncie), a danymi raportowanymi przez Główny Urząd Statystyczny. Na podstawie analizy danych przestrzennych, powierzchnia rzeczywista lasów stanowi 32,0% powierzchni kraju i jest o prawie 800 tys. ha większa niż powierzchnia lasów podawana oficjalnie przez GUS; zgodnie z definicją zawartą w Protokole z Kioto powierzchnia lasów według przeprowadzonych analiz wynosi 33,5% terytorium kraju. Przyjęta metodyka określenia rzeczywistej lesistości kraju pozwoliła na wyznaczenie powierzchni lasów w skali kraju z dokładnością 99% (błąd „nadmiaru” wyniósł 0,42%, błąd „pominięcia” 0,89%) [P3].
 - Zastosowania nowatorskich metod klasyfikacji danych satelitarnych opartych na sztucznej inteligencji i maszynach uczących: Support Vector Machines i Random Forest umożliwia wykonanie klasyfikacji obszarów leśnych i nieleśnych z dokładnością całkowitą rzędu 99% na terenach płaskich [P4] oraz 98% w terenach górskich [P5];
 - W przypadku terenów górskich, dodanie zmiennych charakteryzujących ukształtowanie terenu do informacji spektralnej z Sentinel-2 nie wpłynęło wprawdzie na wynik klasyfikacji obszarów leśnych oraz drzewostanów liściastych i iglastych, ale w znaczącym stopniu poprawiło wynik klasyfikacji głównych gatunków drzew. Dokładność całkowita klasyfikacji ośmiu gatunków drzew wzrasta z 76% w przypadku scenariusza bez numerycznego modelu terenu, do 82% w przypadku dodania numerycznego modelu terenu [P5].
 - Dodatkowy znaczący wzrost dokładności do 89,5% w przypadku klasyfikacji czterech gatunków drzew liściastych oraz 82% w przypadku klasyfikacji czterech gatunków drzew iglastych, uzyskano po zastosowaniu stratyfikacji, gdzie w masce lasów liściastych dokonano klasyfikacji dominujących gatunków drzew liściastych: buk, brzoza, dąb, olcha, zaś w masce lasów iglastych dominujących gatunków drzew iglastych: sosna, świerk, modrzew, jodła.
 - W przypadku klasyfikacji gatunków liściastych z uwzględnieniem stratyfikacji uzyskano największą dokładność dla buku (92,3%), dębu (95,1%) i brzozy (90,6%), a najniższą dla olchy (83,1%). Wynik klasyfikacji gatunków iglastych z uwzględnieniem stratyfikacji był niższy w porównaniu z gatunkami liściastymi. Najwyższą dokładność uzyskano dla świerku i sosny (85%), zaś najniższą dla modrzewia i jodły (prawie 80%).
 - Wysokorozdzielcze zobrażenia z satelitów Sentinel-2 rejestrowane z wysoką częstotliwością umożliwiają wykonywanie wielkoobszarowych analiz powierzchni zniszczeń w lasach. Analiza wieloczasowych zobrażeń satelitarnych zarejestrowanych przez satelitę Sentinel-2 wykazały, że na skutek huraganowych wiatrów w sierpniu 2017 r. uszkodzeniu uległy lasy o łącznej powierzchni 35,8 tys. ha, z czego 27,7 tys. ha stanowią uszkodzenia lasów w zarządzie Lasów Państwowych, zaś pozostałe 8,1 tys. ha to uszkodzenia w lasach niebędących własnością Lasów Państwowych [P6]; ograniczeniem dla satelitów optycznych jest silne zachmurzenie.

Wnioski końcowe i wskazanie możliwości wykorzystania wyników badań

Podstawowym osiągnięciem naukowym jest wypracowanie nowatorskich rozwiązań metodycznych polegających na integracji danych przestrzennych oraz klasyfikacji z zastosowaniem sztucznej inteligencji jak również dokonanie oceny ich zastosowania w celu określania rozmieszczenia oraz zróżnicowania przestrzennego lasów - podziału na drzewostany liściaste i iglaste oraz klasyfikacji

gatunku głównego. Ponadto, w aspekcie wykrywania zmian w lasach, znaczącym osiągnięciem było opracowanie i przetestowanie koncepcji modelu umożliwiającego szybką detekcję zmian oraz interpretację czynnika powodującego zmianę, jak również dokonanie oceny możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej do określania zasięgu zmian w lasach spowodowanych huraganowym wiatrem. Istotną zaletą wypracowanych metod jest wielko-powierzchniowa skala opracowań. Jest to bardzo istotny aspekt z punktu widzenia operacyjnego zastosowania w procesie zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi, określania rzeczywistej lesistości kraju czy poprawności raportowania zawartości węgla i szacowanie emisji i możliwości sekwestracji CO₂.

Składające się na osiągnięcie badawcze opracowane metody i otrzymane wyniki badań mają charakter aplikacyjny i mogą zostać wykorzystywane do następujących zastosowań:

- Wyniki modelu umożliwiającego interpretację czynnika powodującego zmianę szaty roślinności oraz wyniki analizy trendów i anomalii w ilości opadów atmosferycznych oraz kondycji roślinności wykorzystana przy tworzeniu koncepcji biuletynu informacyjnego, tzw. Country Environmental Profile. Biuletyny zostały sporządzone dla wybranych państw afrykańskich. Zawierają one zwięzłą informację w formie map oraz statystyk o stanie szaty roślinnej w podziale na jednostki administracyjne drugiego rzędu. Koncepcja biuletynu została zaprezentowana Komisji Europejskiej (DG REGIO, DG GROW);
- Bazy pokrycia terenu Corine Land Cover są wykorzystywane zarówno przez jednostki administracji publicznej, instytucje naukowe, jak również firmy prywatne do analiz środowiskowych, ocen oddziaływania na środowisko, planowania przestrzennego, monitorowaniu zmian pokrycia terenu w perspektywie wieloletniej, analiz statystycznych w skali regionalnej i krajowej;
- Wyznaczony rzeczywisty zasięg lasu na podstawie integracji dostępnych danych przestrzennych został wykorzystany w celu identyfikacji powierzchni wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (WISL) położonych na obszarach leśnych nieujętych w ewidencji gruntów i budynków;
- Numeryczna mapa przedstawiająca rzeczywisty zasięg lasu w skali kraju mogłaby być podstawą do wskazania miejsc, gdzie istnieją rozbieżności między sytuacją na gruncie a ewidencją gruntów i budynków oraz gdzie konieczne byłoby przeprowadzenie weryfikacji ewidencji gruntów i budynków;
- Określenie lesistości według Protokołu z Kioto, w ujęciu statystycznym i przestrzennym, mogłaby wspomóc proces raportowania danych na potrzeby krajowych i międzynarodowych statystyk, ze względu na międzynarodowe zobowiązania w ramach Konwencji Klimatycznej i Protokołu z Kioto do określenia zawartości węgla, szacowania emisji CO₂;
- Opracowana metoda klasyfikacji obszarów leśnych, drzewostanów liściastych i iglastych oraz gatunku panującego na podstawie zobrazowań satelitarnych Sentinel-2 mogłaby zostać wykorzystana do produkcji szczegółowych map zasięgu lasów oraz gatunku panującego w skali regionalnej i krajowej. Umożliwiłoby to szczegółowe monitorowanie zasobów leśnych bez względu na prawo własności w ujęciu wielkoobszarowych, zwłaszcza na obszarach leśnych niebędących w zarządzie Lasów Państwowych;
- Wyniki klasyfikacji obszarów leśnych oraz drzewostanów liściastych i iglastych zasilają aplikację webową SAT4EST dedykowaną zarządzaniu lasami niepaństwowymi. Aplikacja SAT4EST rozwijana jest w ramach projektu "SAT4EST - Earth observation based service

supporting local administration in non-state forest management” finansowanego przez Europejską Agencję Kosmiczną, którego jestem głównym autorem i kierownikiem z ramienia Instytutu Geodezji i Kartografii. Więcej o projekcie sat4est na www.sat4est.pl. Jest to przykład projektu realizowanego we współpracy z firmą prywatną, którego założeniem jest komercjalizacja rozwiązań naukowych.

- Wyniki wykonanej analizy możliwości wykorzystania obrazów z satelitów Sentinel-2 do szacowania rozmiaru zniszczeń spowodowanych w lasach na skutek huraganowego wiatru w sierpniu 2017 r. może znaleźć zastosowanie w zarządzaniu kryzysowym, do szybkiego określania zasięgu wiatrołomów oraz szacowaniu strat i zniszczeń na dużym obszarze.

4.3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Przebieg mojej pracy naukowo-badawczej przed uzyskaniem stopnia doktora

Moje zainteresowania teledetekcją satelitarną rozpoczęły się na studiach magisterskich na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytetu Warszawskiego. To właśnie tu po raz pierwszy usłyszałam o teledetekcji satelitarnej i zapalałam chęć zgłębiania tej tematyki. W trakcie studiów zdecydowałam się na wybór specjalizacji poświęconej zagadnieniom teledetekcji środowiska: Geoekologia i Teledetekcja Środowiska, na której w styczniu 1999 r. obroniłam pracę magisterską pod tytułem: *„Zmiany użytkowania ziemi w latach 1956-1997 dla fragmentu Narwiańskiego Parku Narodowego”*. Promotorem mojej pracy magisterskiej był prof. Jan Olędzki. Jeszcze w trakcie studiów magisterskich podjęłam studia inżynierskie na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, na specjalizacji Kataster i Geograficzne Systemy Informacji Przestrzennej. W 2001 r. ukończyłam studia inżynierskie z wynikiem bardzo dobrym i obroniłam pracę inżynierską pod tytułem: *„Zarządzanie danymi drogowymi w systemach informacji przestrzennej”*. Pracę inżynierską napisałam pod kierunkiem dr inż. Krzysztofa Buczkowskiego.

Moją, trwającą do dnia dzisiejszego przygodę z nauką w zakresie teledetekcji satelitarnej rozpoczęłam po zakończeniu studiów magisterskich, ale jeszcze w trakcie studiów inżynierskich. W listopadzie 1999 r. zostałam zatrudniona w niepełnym wymiarze godzin w Zakładzie Teledetekcji, w Instytucie Geodezji i Kartografii (IGiK) na stanowisku geografa. Niepełny wymiar godzin pracy pozwolił mi na równoległe studiowanie na dziennych studiach inżynierskich, które ukończyłam w 2001 roku.

W 2001 r. otrzymałam swój pierwszy niewielki grant z Komitetu Badań Naukowych na *„Wykorzystanie obrazu satelitarnego, jako podkładu do turystycznej mapy Biebrzańskiego Parku Narodowego”*, którego byłam kierownikiem i wykonawcą. W latach 2002-2005 byłam zatrudniona na stanowisku asystenta w Zakładzie Teledetekcji IGiK, gdzie zajmowałam się realizacją zadań związanych głównie z przetwarzaniem obrazów satelitarnych oraz analizami przestrzennymi. W 2003 r. otrzymałam kolejny grant z Komitetu Badań Naukowych na badania pod tytułem: *„Metoda badania degradacji systemów bagiennych na skutek pożarów torfowisk na podstawie informacji pozyskanych przez satelity teledetekcyjne”*. Moje zainteresowania naukowe zaczęły skupiać się na wykorzystaniu obrazów satelitarnych rejestrowanych w różnych zakresach spektralnych do badania zmian w ekosystemach bagiennych. Początkowo zajmowałam się badaniem procesu sukcesji roślinności drzewiasto-krzaczastej na terenie torfowisk Biebrzańskiego Parku Narodowego, będącej efektem postępującego procesu osuszania torfowisk. Wraz z otrzymaniem grantu na badania degradacji systemów bagiennych na skutek pożarów torfowisk zaczęłam zgłębiać wiedzę z zakresu wykorzystania obrazów satelitarnych to badania zjawiska pożarów, w tym wykrywania ognisk

zapalnych, określania zasięgu pożaryska, monitorowanie kierunku rozprzestrzeniania się pożaru. Wykonałam także klasyfikację zbiorowisk roślinnych przed pożarem i rok po pożarze na podstawie danych satelitarnych. W ramach projektu podjęłam także próbę pomiaru wielkości obniżenia powierzchni terenu przy użyciu odbiorników GPS, stosując metodę GPS RTK (Real Time Kinematyc). Prace badawcze były prowadzone na terenie Bieli Suchowolskich w północnej części basenu środkowego Biebrzańskiego Parku Narodowego, gdzie we wrześniu 2002 r. miał miejsce intensywny pożar torfowiska.

W kwietniu 2005 r. podjęłam studia doktoranckie na Wydziale Geografii Uniwersytetu w Leicester (Wielka Brytania), gdzie otrzymałam stypendium doktoranckie. Swoje zainteresowania i zdobytą w trakcie pracy w IGIK wiedzę i doświadczenie w zakresie wykorzystania teledetekcji satelitarnej w badaniach torfowisk oraz zjawiska pożarów mogłam dalej rozwijać w mojej pracy doktorskiej. Głównym celem mojej pracy doktorskiej było badanie dynamiki zmian pokrycia terenu oraz kondycji tropikalnych lasów bagiennych, które uległy degradacji na skutek powtarzających się intensywnych pożarów. Obszar moich badań był zlokalizowany z południowej części prowincji Central Kalimantan - południowa część indonezyjskiej wyspy Borneo, w zasięgu dawnego projektu tzw. „Mega Rice Project”, który został uznany za jedną z największych katastrof ekologicznych. „Mega Rice Project” rozpoczął się w 1996 r., jego głównym celem było przekształcenie lasów tropikalnych rosnących głównie na glebach torfowych w pola ryżowe. Budowa szerokich i głębokich kanałów irygacyjnych spowodowała gwałtowne osuszenie torfowisk i zwiększenie częstotliwości pożarów, co w konsekwencji doprowadziło do nieodwracalnej degradacji całego ekosystemu i gwałtownego wzrostu emisji gazów cieplarnianych, ulatniających się zarówno w trakcie pożarów nadziemnej i podziemnej (pokłady torfu) części biomasy, jak też z odsuniętych, przesuszonych torfów. Wykorzystując archiwalne dane satelitarne udało mi się odtworzyć historię pożarów na badanym obszarze, która była niezbędna w zrozumieniu zjawiska powracających pożarów oraz procesu odradzania się roślinności po pożarze. Zajmowałam się również modelowaniem strat węgla na skutek pożarów nadziemnej i podziemnej (torfy) biomasy. W dniu 18 grudnia 2009 roku otrzymałam stopień doktora nadany przez Senat Uniwersytetu w Leicester. Tytuł mojej rozprawy doktorskiej był następujący: *„Fire regime, vegetation dynamics and land cover changes in tropical peatland, Indonesia”*. Promotorami mojej pracy doktorskiej była Prof. Susan E. Page i Prof. Kevin Tansey z Wydziału Geografii na Uniwersytecie w Leicester.

W okresie studiów doktoranckich (2005-2009) miałam półroczną przerwę, w trakcie której pracowałam jako konsultant naukowy w projekcie badawczym *„Kampar Peninsula Science Based Management Support Project (SBMSP)”*, finansowanym przez Asia Pacific Resources International Holdings Limited (APRIL), we współpracy z WL Delft Hydraulics z Holandii. Moim zadaniem było opracowywanie mapy typów lasów, mapy przedstawiającej stopień zniszczeń lasów tropikalnych na półwyspie Kampar (Sumatra) oraz odtworzenie przebiegu kanałów odwadniających na podstawie archiwalnych obrazów satelitarnych.

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora, byłam współautorką 3 artykułów naukowych w czasopiśmie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (czasopisma z listy A Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego), 5 artykułów naukowych w czasopiśmie spoza bazy JRC (w tym 1 artykuł w czasopiśmie z listy B MNiSW, w 2 artykułach byłam pierwszym autorem), 1 rozdziału w monografii, 14 publikacji naukowych w recenzowanych materiałach konferencyjnych (w tym 6 jako pierwszy autor), brak artykułów popularno-naukowych oraz 10 streszczeń w materiałach konferencyjnych (w tym 3 jako pierwszy autor). Przygotowałam 3 sprawozdania z realizowanych grantów badawczych. Wygłosiłam 7 referatów oraz zaprezentowałam 5 posterów na 9 konferencjach zagranicznych i 3 krajowych. Uczestniczyłam także w 8 projektach badawczych, w tym byłam kierownikiem 2

krajowych projektów finansowanych przez Komitet Badań Naukowych, w pozostałych 6 projektach pełniłam rolę wykonawcy.

Otrzymałam również nagrodę British Council w Malezji dla młodych naukowców (ang. British Council award for Young Scientists) w formie bezpłatnego udziału w warsztatach "International Networking of Young Scientists Event" w Malezji. Odebrałam szereg szkoleń naukowych organizowanych przez Uniwersytet w Leicester.

Przebieg mojej pracy naukowo-badawczej po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałam prace badawcze związane z problematyką oceny kondycji roślinności i dynamiki zmian szaty roślinnej. W latach 2009-2011 odbyłam staż podoktorski na Uniwersytecie w Leicester, na Wydziale Geografii (Wielka Brytania), gdzie byłam zatrudniona na stanowisku: Post-Doctoral Research Associate. Opiekunem mojego stażu był Prof. Heiko Balzter. W tym czasie prowadziłam badania, w ramach Europejskiego projektu FP7 Geoland2, WP Monitorowanie Zasobów Naturalnych dla Afryki (ang. *Natural Resource Monitoring in Africa - NARMA*), nad wskaźnikami charakteryzującymi kondycję środowiska przyrodniczego w Afryce. Wykonywałam analizy dynamiki zmian szaty roślinnej w skali kontynentalnej w oparciu o dane z niskorozdzielczych satelitów (SPOT Vegetation), z wykorzystaniem języka programowania IDL. Wynikiem moich badań jest koncepcyjny model interpretacji zmian kondycji roślinności, będących efektem zmian klimatycznych bądź niezrównoważonej działalności człowieka, który został wskazany jako część osiągnięcia naukowego [P1].

W październiku 2011 r. ponownie dołączyłam do zespołu Centrum Teledetekcji Instytutu Geodezji i Kartografii, gdzie rozpoczęłam prace na stanowisku adiunkta. Od kwietnia do października 2012 r. przebywałam na urlopie macierzyńskim. Do szybkiego powrotu do pracy naukowej zmotywował mnie grant otrzymany z Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w ramach programu „Pomost”, dedykowanego rodzicom-naukowcom, którzy wychowują małe dzieci i chcieliby powrócić do pracy naukowej.

Po powrocie do pracy w Instytucie Geodezji i Kartografii moja praca badawcza koncentrowała się na badaniach w zakresie:

- 1) Analizy możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej w procesie pozyskania informacji o pożarach szaty roślinnej w skali lokalnej i krajowej;
- 2) Analizy podstawowych formach pokrycia terenu oraz wykrywania zmian pokrycia terenu z zastosowaniem teledetekcji satelitarnej;
- 3) Analizy możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej w określaniu wybranych cech drzewostanu, innych niż opisane w osiągnięciu naukowym, tj.: zwarcie koron, określanie kondycji drzewostanu, szacowanie biomasy drzewnej.

Zagadnienia związane z analizą możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej w procesie pozyskania informacji o pożarach szaty roślinnej w skali lokalnej i krajowej realizowałam głównie w ramach dwóch projektów badawczych mojego autorstwa, w których pełniłam rolę kierownika. W projekcie: "*Application of remotely sensed data to the management of fire events in Poland*" finansowanym przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) zajmowałam się następującymi zagadnieniami: a) selekcja pikseli „pożarowych” na podstawie archiwalnych danych z niskorozdzielczych satelitów NOAA AVHRR (dane dostępne w archiwum IGIK), b) analiza czaso-

przebieg pożarów zarejestrowanych przez satelity obserwacyjne wykonywana w oparciu o dostępne produkty pożarowe, tzw. „Hotspot” generowane na podstawie danych z sensorów MODIS Aqua i Terra, ATRS WFA oraz NOAA AVHRR, c) sprawdzenie zgodności pożarów rejestrowanych z poziomu satelitarnego z pożarami zarejestrowanymi w Krajowym Systemie Informacji o Pożarach Lasów (KSIPL), prowadzonym przez Instytut Badawczy Leśnictwa, d) analiza możliwości zastosowania wysokorozdzielczych zdjęć satelitarnych rejestrowanych w paśmie widzialnym i radarowym do określania zasięgu pożarów, e) badanie tempa odradzania się roślinności po pożarze lasów, na podstawie historycznych pożarów, które miały miejsce w Polsce w latach 90-go ubiegłego wieku.

Wyniki porównania „hotspotów” zarejestrowanych przez satelity (SAT) z pożarami z KSIPL wykazały wysoki błąd „pominięcia”, średnio 32,3% pożarów SAT zostało zarejestrowanych w KSIPL w okresie 2002-2014; tylko 20,2% pożarów >1ha z KSIPL zostało zarejestrowanych przez satelity. W sumie, 45% zgodnych pożarów to pożary o powierzchni powyżej 5 ha, 42% to pożary o powierzchni poniżej 5 ha, ale większe od 1 ha, zaś 13% to pożary o powierzchni równej 1 ha. Niska zgodność pomiędzy pożarami zarejestrowanymi przez satelity i raportowanymi w KSIPL wynika zarówno z ograniczeń danych satelitarnych (zachmurzenie, częstotliwość obrazowania), wielkości pożarów (małe pożary o niskiej intensywności dominujące w Polsce są pomijane), jak i z charakteru danych zawartych w KSIPL. Ze względu na brak dokładnej informacji o lokalizacji pożaru w bazie KSIPL porównanie przestrzenne było wykonywane w jednostkach podziału administracyjnego NUTS3 z uwzględnieniem informacji o alarmie pożarowym, czasie interwencji i czasie trwania pożaru (Hoscilo i Lewandowska, 2015; Hoscilo i Turlej, 2014).

Analizy zasięgu pożarów prowadzona była z wykorzystaniem wskaźnika spektralnego Normalised Burn Ratio (NBR) opartego na odbiciu spektralnych w zakresie bliskiej i krótkiej podczerwieni. Algorytm określania zasięgu pożarów był testowany na przykładzie pożaru lasu w Kuźni Raciborskiej, Puszczy Noteckiej oraz w Kadzidłowie (maj 2014 r.) Otrzymane wyniki potwierdziły skuteczność wskaźnika NBR do określania zasięgu pożarów. Dane radarowe mogą być wykorzystywane do kartowania zasięgu wielkopowierzchniowych pożarów (trudności z pożarami małymi).

W ramach projektu *“A novel approach to estimate fire intensity and carbon emissions over the decade of fires in Poland”*, finansowanego przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej, badałam zagadnienie związane z określeniem intensywności pożarów oraz szacowaniem ilości gazów: CO₂, CO, CH₄, NO i N₂O emitowanych do atmosfery podczas spalania biomasy zakumulowanej w części nadziemnej roślin metodą konwencjonalną „bottom-up” i nowatorską „top-down”. Metoda konwencjonalna oparta jest na następujących parametrach: powierzchnia spalona, ilość biomasy, ilość biomasy spalonej oraz przeliczniki emisyjności dla poszczególnych gazów. Metoda nowatorską „top-down” bazuje na informacji o ilości ciepła radiacyjnego emitowanego w określonym czasie przez pożar, która zależy od ilości i rodzaju masy palnej (Wooster i in., 2005). Do obliczenia emisji metodą „top-down” wykorzystywałam parametr: Fire Radiative Power (FRP). FRP jest miarą ilości ciepła radiacyjnego emitowanego w określonym czasie przez pożar (Kaufman i in., 1998). Dane FRP dostarczają informacji niezbędnych do ilościowego określania intensywności pożarów na całej kuli ziemskiej. FRP jest wyznaczany na podstawie danych rejestrowanych przez satelity w paśmie środkowej podczerwieni (ok 3,9 μm). Analizie poddałam wartości FRP obliczana na podstawie danych rejestrowanych przez sensory satelitarne: MODIS FRP i SEVIRI FRP. Dane MODIS FRP udostępniany jest wraz z produktem „Active Fire – hotspots” w rozdzielczości przestrzennej 1 km². Dane SEVIRI FRP udostępniane są w rozdzielczości przestrzennej 3 km i wysokiej rozdzielczości czasowej również 15 min. Intensywność pożarów analizowałam w okresie 2001-2013 dla obszaru całej Polski, jako: a) indywidualny pożar, który miał miejsce w oczko siatki 1 km² oraz b) wielko-powierzchniowy pożar - klaster pojedynczych pikseli, w których satelita zaobserwował pożar. Analiza indywidualnych

pożarów dotyczyła badań zmienności intensywności pożaru w zależności od sezonu pożarowego (wiosna, lato, jesień), skali opracowania (województwo, powiat) oraz sposobu pokrycia terenu. Najbardziej intensywne pożary (≥ 300 MW) wystąpiły na terenach użytkowanych rolniczo w latach 2002, 2003 i 2008. Z analiz średnich wartości FRP wynika, iż pożary torfowisk charakteryzują się najwyższymi wartościami FRP. Analiza średnich wartości FRP dla poszczególnych sezonów pożarowych potwierdziła, że pożary w okresie letnim i wiosennych są bardziej intensywne (35 MW) niż pożary jesienne (27 MW). Ekstremalnie intensywne pożary zdarzają się częściej jesienią i latem (Hosciło i Lewandowska, 2015).

Wartości Fire Radiative Power zostały przeliczone na wartości Fire Radiative Energy (FRE), czyli całkowita ilość ciepła emitowanego w trakcie pożaru w jednostce czasu i zostały następnie wykorzystywane do określenia ilości strat węgla i emisji CO_2 , CO i innych gazów cieplarnianych uwalnianych się podczas spalania biomasy (Wooster i in., 2005). Analiza emisji została wykonana dla obszaru Polski w okresie 2001-2013 oraz dla pożaru torfowiska Biele Suchowolskie. Wyniki szacowania emisji CO_2 i CO na skutek pożarów torfowiska metodą satelitarną „top-down” były zbliżone do obliczonej wielkości emisji z nadziemnej części biomasy metodą tradycyjną (około 80 tys. ton CO_2 i 4 tys. CO). Otrzymane wyniki pokazały, że ilość emisji gazów cieplarnianych obliczana za pomocą wskaźnika FRP jest niedoszacowania o wielkość emisji pochodząca ze spalania części podziemnej biomasy (wypalona wierzchnia warstwa torfu). Otrzymane wyniki wskazują na zaniżone wartości przeliczników stosowanych obecnie do przeliczania wartości FRE na ilość biomasy, brak jest przeliczników dla ekosystemów bagiennych (Hosciło i Lewandowska, 2015). Poza pracami wykonywanymi w ramach wyżej wymienionych projektów, kontynuowałam również prace związane z mapowaniem i monitorowaniem pożarów z pułapu satelitarnego w prowincji Central Kalimantan, Borneo.

Zagadnienia związane z **analizą podstawowych form pokrycia terenu oraz wykrywania zmian pokrycia terenu z zastosowaniem teledetekcji satelitarnej** realizowałam głównie w ramach dwóch kierowanych przeze mnie projektów finansowanych przez Europejską Agencję Środowiska (EEA), w ramach europejskiego programu obserwacji Ziemi – Copernicus (Copernicus Land Monitoring serwis). Jednym z zadań było wykonanie inwentaryzacji zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi w Polsce w latach 2006-2012 i 2012-2018 na podstawie zobrażeń satelitarnych oraz wygenerowanie baz danych Corine Land Cover – CLC2012 i CLC2018 (opisane w części osiągnięcia naukowego). Oprócz produkcji baz CLC, kierowałam również pracami związanymi z weryfikacją warstw wysokorozdzielczych (ang. High Resolution Layers - HRL), zawierających uszczegółowioną informację o charakterystycznych formach pokrycia terenu. Warstwy te są komplementarne z bazami Corine Land Cover i obrazują stopień nieprzepuszczalności gruntu, tereny zadrzewione, trwałe użytki zielone, obszary podmokłe oraz zbiorniki wodne. Rozdzielczość przestrzenna wszystkich warstw wynosi 20 x 20 m. Warstwy wysokorozdzielcze powstają w procesie automatycznej klasyfikacji wieloczasowych wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych. Są one przygotowane dla 39 państw europejskich przez konsorcja firm prywatnych wybranych w drodze przetargu przez EEA. Warstwy wysokorozdzielcze mogą służyć do uszczegółowienia informacji o pokrycia terenu, np.: w procesie oceny oddziaływania na środowisko (Hościło i Mirończuk, 2016a), uzyskaniu informacji o przestrzennym rozmieszczeniu lasów w skali kraju (Hosciło i in., 2014). Należy jednak pamiętać, o 3 letnim cyklu aktualizacji warstw i dokładności oferowanych produktów, która nie zawsze idzie w parze z oczekiwaniami użytkowników końcowych. W przypadku warstw terenów nieprzepuszczalnych błąd pominięcia wynosił 6%, zaś błąd przeszacowania 26%. Warstwa dominującego typu drzewostanu w podziale na liściaste i iglaste cechuje się niższą dokładności w przypadku lasów liściastych w porównaniu do iglastych. Błąd pominięcia w przypadku lasów

liściastych wynosił ponad 15% zaś błąd przeszacowania prawie 9%. Zasięg lasów liściastych został przeszacowany kosztem lasów iglastych (Mirończuk i in., 2019a).

Wykonaliśmy również weryfikację produktów komponentu lokalnego serwisu Copernicus Land Monitoring, które dostarczają szczegółowych informacji o pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi w strefie funkcjonalnej obszarów miejskich (Urban Atlas), wzdłuż koryt rzecznych (Riparian Zones) oraz w wybranych obszarach Natura 2000 o charakterze łąkowym. Minimalna jednostka kartowania w przypadku produktów Riparian Zones i Natura 2000 jest równa 0,5 ha, zaś w Urban Atlas - 0,25 ha. W celu zwiększenia szczegółowości tematycznej produktu Urban Atlas, do istniejących wieloboków dodaliśmy w sposób automatyczny informacje o głównym i drugorzędnym sposobie użytkowania ziemi. W ten sposób możliwe stało się wykonanie analiz przestrzennego zróżnicowania informacji o użytkowaniu ziemi. Ponadto wykonana została analiza dokładności dodatkowej warstwy informacyjnej produktu Urban Atlas, przedstawiającej wysokości budynków (ang. Copernicus Buildings Heights 2012) dla Warszawy (Kałuski i in., 2018).

Kolejnym obszarem moich badań jest **analiza możliwości zastosowania teledetekcji satelitarnej w określaniu wybranych cech leśnych innych niż opisane o osiągnięciu naukowym, tj.: zwanie koron, określenie kondycji drzewostanu, szacowanie biomasy drzewnej**. Na szczególną uwagę zasługują realizowane przeze mnie dwa projekty finansowane przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA):

Projekt: „SAT4EST - Earth observation-based service supporting local administration in non-state forest management”, jest finansowany przez ESA w ramach programu Polish Incentive Scheme (2017-2019). Głównym celem projektu SAT4EST jest zaprojektowanie systemu i zbudowanie serwisu internetowego wspomagającego zarządzanie lasami niepaństwowymi opartego o satelitarne techniki obserwacji Ziemi. Jest to przykład projektu realizowanego we współpracy z firmą prywatną, którego założeniem jest komercjalizacja rozwiązań naukowych. Jestem głównym autorem i koordynatorem projektu po stronie IGiK.

System i serwis SAT4EST dedykowany jest przede wszystkim administracji lokalnej oraz firmom biorącym udział w procesie przygotowywania dokumentów niezbędnych do zarządzania lasami niepaństwowymi. Zgodnie z zapisem art. 5 Ustawy o lasach z 1991 r. nadzór nad lasami niepaństwowymi sprawuje starosta. Głównym problem przy sprawowaniu nadzoru jest brak uproszczonych planów urządzenia lasu (UPUL) dla lasów niepaństwowych lub ich nieaktualność, nieaktualne dane ewidencyjne, rozbieżność między ewidencją a stanem na gruncie oraz duże rozdrobnienie działek leśnych. Do tego dochodzą nieliczne zasoby kadrowe, ograniczone środki finansowe przeznaczone na wykonywanie nowych opracowań uniemożliwiają zakup aktualnych materiałów fotogrametrycznych, typu ortofotomapy, co w konsekwencji utrudnia proces sporządzania UPUL i jego rzetelnego odbioru oraz kontrolę decyzji zwłaszcza w przypadku terenów górskich czy rozproszonych działek leśnych (Ziemblicki, 2015). Dlatego podjęty przeze mnie problem badawczy dotyczący wypracowania operacyjnych metod generowania produktów leśnych opartych na teledetekcji satelitarnej spełniających oczekiwania i wymagania użytkowników.

System SAT4EST składa się z komponentu: satelitarnego (gromadzenie i przetwarzanie danych), naziemnego *in situ* (dostępne dane przestrzenne) oraz serwera mapowego do wizualizacji i udostępniania danych użytkownikom. Dzięki intensywnej pracy badawczej udało się wypracować daleko zautomatyzowane procedury przetwarzania zobrazowań satelitarnych z misji Sentinel-2 do:

- Klasyfikacji obszarów leśnych oraz podział lasów na drzewostany liściaste i iglaste - wskazane, jako część osiągnięcia naukowego [P5];
- Wykrywania zmian w lasach, np.: zasięgi zrębów, naturalnej sukcesji w rozdzielczości przestrzennej 10 x 10 m. Zgodnie z dokumentem wymagań użytkowników, mapa zmian w

lasach, jest drugim najbardziej oczekiwanym produktem. Prowadziliśmy badania nad automatyczną metodą detekcji zmian w lasach w cyklu rocznym (wymagany przez użytkowników) oraz eksperymentalnie w cyklu „ze zdjęcia na zdjęcie”. Badania wykazały, że najbardziej dokładne wyniki uzyskuje się na podstawie wieloczasowej analizy obrazów pozyskanych w zbliżonej fazie fenologicznej roślin, najlepiej w okresie letnim. Najlepsze wyniki uzyskaliśmy po zastosowaniu metody kombinowanej opartej na różnicy dwóch indeksów spektralnych oraz wybranych kanałów spektralnych. Metoda „ze zdjęcia na zdjęcie” dawała zadowalające wyniki na terenach płaskich, ale nie sprawdziła się w terenie o bardziej skomplikowanej rzeźbie terenu;

- Ocena kondycji, stanu zdrowotnego lasów wykonywana jest w oparciu o wskaźniki spektralne uwzględniające zawartość chlorofilu, innych barwników i wody w liściach obliczane na podstawie wybranych kanałów spektralnych;
- Zwarcie koron, przedstawiające stopień pokrycia piksela koronami drzew, zostało opracowane na podstawie modelowania z wykorzystaniem algorytmu Random Forest. Dane referencyjne do modelu zostały wygenerowane na podstawie wizualnej interpretacji zwarcia koron w regularnej siatce kwadratów w oparciu o dostępną ortofotomapę pozyskaną z pułapy lotniczego. Oczka siatki odpowiadały siatce pikseli obrazów Sentinel-2. W wyniku modelowania generowane są mapy przedstawiające zwarcie koron w pikselu 10 x 10 m. Dokładność zwarcia koron obliczana jest na podstawie zbioru testowego stanowiącego 30% losowo wybranych danych referencyjnych. Uzyskano zgodność na poziomie $R^2 = 0,899$.

W ramach serwisu SAT4EST oferujemy użytkownikom również produkty na żądanie np.: zasięg zniszczeń drzewostanów na skutek huraganowych wiatrów (Hoscilo i Lewandowska, 2018), pożarów (Hoscilo i Lewandowska, 2015), gradacji owadów (Mirończuk i in., 2019b) oraz przestrzenny rozkład biomasy leśnej (Hoscilo i in., 2018). Projekt SAT4EST jest realizowany w trzech starostwach powiatowych w Legionowie, Nowym Targu i Sieradzu. Każdy z pilotażowych powiatów różni się pod względem przestrzennego rozmieszczenia lasów (zwarte, rozproszone), dojrzałości systemu zarządzania i monitorowania lasami oraz ukształtowaniem terenu (górzyste i nizinne). Projekt jest w fazie przed operacyjnej, jest aktualnie testowanych w pilotażowych starostwach. Więcej informacji o projekcie na stronie www.sat4est.pl.

Projekt ESA DUE GlobBiomass był realizowany w okresie 2017-2018 przez międzynarodowe konsorcjum składające się z czołowych ekspertów w dziedzinie Obserwacji Ziemi pod kierownictwem Wydziału Obserwacji Ziemi z Uniwersytetu Friedrich-Schiller w Jenie (Niemcy). W konsorcjum brało udział 14 instytucji z ośmiu krajów europejskich, w tym z Polski: Centrum Teledetekcji IGIK oraz Instytut Badawczy Leśnictwa. W projekcie pełniłam rolę koordynatora prac prowadzonych przez polskie instytucje, byłam kierownikiem zadania oraz uczestniczyłam w pracach koncepcyjnych i modelowaniu biomasy drzewnej. Głównym celem projektu GlobBiomass było opracowanie globalnego produktu przedstawiającego rozkład biomasy na świecie oraz oszacowanie biomasy leśnej dla pięciu regionów położonych w różnych strefach klimatycznych: Szwecja, Polska, Indonezja (płd. Borneo), Meksyk i RPA.

Byłam odpowiedzialna za prace badawcze związane z opracowaniem pierwszych w Polsce map przedstawiających przestrzenny rozkład wielkość biomasy drzewnej obejmujących zasięgiem wszystkie lasy bez względu na prawo własności. Mapy te zostały opracowane dla roku 2005, 2010 i 2015 w skali kraju. Mapy rozkładu biomasy drzewnej dla poszczególnych regionów opracowane były z wykorzystaniem archiwalnych i aktualnie dostępnych danych teledetekcyjnych, zarejestrowanych w paśmie mikrofalowym i optycznym. Mapy biomasy dla roku 2005 i 2010 zostały opracowane w oparciu o dane radarowe zarejestrowane przez japońskiego satelitę ALOS PALSAR (pasmo L) oraz

dane optyczne z misji Landsat 5. Do opracowania mapy biomasy dla roku 2015 wykorzystaliśmy wieloczasowe dane radarowe zarejestrowane przez europejskie satelity Sentinel-1 (pasmo C) oraz dane optyczne z satelity Sentinel-2. Jako dane referencyjne wykorzystaliśmy powierzchnie próbne z wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu (WISL) dla roku 2005/2006, 2009/2010 i 2015/2016. Za przeliczenie zasobności na powierzchniach próbnych na wartości biomasy drzewnej był odpowiedzialny Instytut Badawczy Leśnictwa. Obliczona w ten sposób biomasa została wykorzystana jako dane referencyjne do modelowania biomasy drzewnej. Cały zestaw danych referencyjnych został podzielony na zbiór uczący - 70% oraz weryfikacyjny - 30% danych.

Do modelowania biomasy drzewnej zastosowaliśmy metodę regresyjną Random Forest. Jako zmienne objaśniające w przypadku mapy 2015 wykorzystaliśmy wieloczasowe dane z Sentinel-1 (pasmo C). Na ich podstawie obliczone została wieloczasowa suma i mediana radarowego współczynnika wstecznego odbicia (backscattering coefficient) dla polaryzacji sygnału VV i VH obliczone na podstawie serii danych zarejestrowanych w okresie 2015-2016, osobno dla sezonu letniego i zimowego. Ponadto do puli zmiennych objaśniających dodano mozaikę z czterech kanałów spektralnych (optycznych i bliskiej podczernieni) wygenerowaną na podstawie wieloczasowych obrazów satelitarnych z Sentinel-2. Modelowanie biomasy wykonaliśmy oddzielnie dla każdej z orbit satelity Sentinel-1, następnie wyniki poszczególnych modeli połączono w jedną mapę (Hosciło i in., 2018). Modelowanie biomasy dla roku 2005 i 2010 wykonaliśmy w oparciu o mozaiki wieloczasowe ALOS PALSAR dla roku 2005-2007 oraz 2009-2011. Do puli zmiennych objaśniających dodano mozaikę z kanałów spektralnych (optycznych i bliskiej podczernieni) wygenerowaną na podstawie wieloczasowych obrazów satelitarnych z Landsat-5 (Hosciło i in., 2016; Rodríguez-Veiga i in., 2019).

Ocena dokładności wyniku modelowania biomasy została przeprowadzona na podstawie zbioru danych weryfikacyjnych oraz niezależnie dla wybranych nadleśnictw, korzystając z informacji zawartej w leśnej mapie numerycznej. Analiza dokładności względem powierzchni weryfikacyjnych wykazała ogólną tendencję przeszacowywania wartości niskiej biomasy < 100 t/ha oraz niedoszacowania wartości wysokiej biomasy powyżej 250 t/ha. Największą zgodność uzyskano w przedziale 100-250 t/ha. Niezależna ocena wyników modelowania biomasy wykonana na podstawie danych z leśnej mapy numerycznej dla kilku nadleśnictw potwierdziła stosunkowo wysoką zgodność z biomasą na poziomie wydzielenia i obrębu (Hosciło i in., 2018; Hosciło i in., 2016; Rodríguez-Veiga i in., 2019). Krajowe mapy biomasy są udostępniane na stronie projektu: www.globbiomas.org.

W okresie po doktoracie byłam zaangażowana w realizację **17 projektów badawczych**, finansowanych przez Komisję Europejską (5 projektów), Europejską Agencję Środowiska (2 projekty), Europejską Agencję Kosmiczną (3 projekty), Japońską Agencję Kosmiczną (1 projekt), Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych (2 projekty), Fundację na rzecz Nauki Polskiej (1 projekt), Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (1 projekt), Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (1 projekt), Niemieckiego Ministerstwa Edukacji i Badań (1 projekt). Jestem **autorem 8 projektów, w których pełniłam / pełnię rolę kierownika projektu**. Są to projekty finansowane przez: Europejską Agencję Środowiska, Europejską Agencję Kosmiczną, Japońską Agencję Kosmiczną, Dyрекcję Generalną Lasów Państwowych, Fundację na rzecz Nauki Polskiej i Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W pozostałych projektach pełniłam / pełnię rolę koordynatora zadań po stronie IGIK bądź wykonawcy. W przypadku kierowanych przeze mnie projektów finansowanych przez Europejską Agencję Środowiska koordynowałam prace kilkunastoosobowego zespołu projektowego. Ponadto jeden z projektów (SAT4EST) finansowanych przez Europejską Agencję Kosmiczną, którego jestem głównym autorem i koordynatorem po stronie IGIK, jest przykładem projektu realizowanego we współpracy z firmą prywatną. Założeniem projektu SAT4EST jest komercjalizacja rozwiązań

naukowych. W 2014 r. odbyłam szkolenie z zakresu komercjalizacji nauki i przedsiębiorczości opracowane przez Fundację Kauffmana, organizowane przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej.

Brałam udział w licznych spotkaniach roboczych związanych z realizowanymi projektami międzynarodowymi i krajowymi. Uczestniczyłam aktywnie w 9 spotkaniach Krajowych Centrów Referencyjnych (National Reference Center – NRC) Europejskiej Sieci Informacji i Obserwacji Środowiska (EIONET) ds. pokrycia terenu organizowanych przez Europejską Agencję Środowiska. Jako przedstawiciel z jednego z Krajowych Centrów Referencyjnych NRC ds. pokrycia terenu, na wniosek Krajowego Punktu Kontaktowego (NFP) opiniowałam 10 wstępnych raportów o stanie środowiska Europy przygotowanych przez Europejską Agencję Środowiska.

Byłam recenzentem 13 publikacji (w tym 1 przed doktoratem) zgłoszonych do publikacji w czasopiśmie międzynarodowych z listy A MNiSW (7 czasopism: International Journal of Wildland Fires, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, International Journal of Digital Earth, European Journal of Remote Sensing, Journal of Tropical Forest Science, Ecohydrology, Polish Journal of Environmental Studies) oraz z listy B MNiSW (2 czasopisma: Papers on Global Change PAS, Miscellanea Geographica).

W okresie **po uzyskaniu stopnia doktora** byłam autorką / współautorką:

- 9 artykułów naukowych (w tym 6 jako pierwszy autor) w czasopiśmie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (czasopisma z listy A MNiSW), z sumarycznym IF = 27,825 oraz 310 punktami (przed doktoratem 3 artykuły z listy A MNiSW z sumarycznym IF = 9,796 oraz 110 punktami),
- 4 artykułów w czasopiśmie z listy B MNiSW z sumaryczną liczbą 15 punktów wg MNiSW (przed doktoratem 1 artykuł z listy B MNiSW (10 pkt) oraz 4 spoza listy),
- 7 rozdziałów w monografiach (przed doktoratem 1 rozdział),
- 11 artykułów naukowych w recenzowanych materiałach pokonferencyjnych, w tym 7 jako pierwszy autor (przed doktoratem 14, w tym 6 jako pierwszy autor),
- 4 artykuły popularno-naukowych (przed doktoratem 1),
- 36 streszczeń w materiałach konferencyjnych, w tym 21 jako pierwszy autor (przed doktoratem 10, a tym 3 jako pierwszy autor),
- 38 wygłoszonych referatów, 11 zaprezentowanych posterów na 20 konferencjach zagranicznych i 19 krajowych (przed doktoratem 7 referatów, 5 posterów na 9 konferencjach zagranicznych i 3 krajowych),
- 8 sprawozdań końcowych z realizowanych projektów (przed doktoratem 3 sprawozdania),
- udział w 17 projektach badawczych, w tym w 8 w roli kierownika projektu (przed doktoratem udział w 8 projektach, w tym 2 jako kierownik projektu).

Sumaryczny IF według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi IF = 37,621, w tym po doktoracie IF = 27,825. Sumaryczna liczba punktów według wykazu czasopism naukowych MNiSW (zgodnie z punktacją na rok opublikowania artykułu) dla całego dorobku wynosi 445 (lista A: 420, lista B: 25), w tym po doktoracie 325 (lista A: 310, lista B: 15). Moje prace naukowe cytowane były 257 razy (w tym 253 razy bez samo cytowania) według bazy Web of Science Core Collection (stan na 24.04.2019). Index Hirscha według bazy Web of Science (WoS): H = 8 (stan na 24.04.2019).

Za osiągnięcia naukowe zostałam dwukrotnie (w roku 2014 i 2017) nagrodzona nagrodą Dyrektora Instytutu Geodezji i Kartografii. W 2013 r. otrzymałam również nagrodę Dyrektora Instytutu Geodezji i Kartografii za aktywność w pozyskiwaniu projektów badawczych. W 2012 r. zostałam laureatką Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, program POMOST - dla rodziców-naukowców ułatwiający powrót do pracy badawczej po przerwie związanej z opieką nad małymi dziećmi.

Swoją wiedzę poszerzałam biorąc udział w krótkoterminowych szkoleniach zagranicznych i krajowych z zakresu zastosowania zaawansowanych rozwiązań technologicznych w dziedzinie teledetekcji satelitarnej, programowania, budowy baz danych. Na Uniwersytecie w Jenie odbyłam szkolenie z zastosowania danych radarowych oraz klasyfikacji obiektowej, na Uniwersytecie w Leicester szkolenie z podstaw programowania w Pythonie. Uczestniczyłam także w szkoleniu organizowanym przez firmę ESRI z zakresu budowy baz danych.

4.4 Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski

Od początku mojej kariery naukowej jestem związana z moją pierwszą Alma Mater - z Wydziałem Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego (WGiSR UW). Już jako świeżo upieczony magister prowadziłam zajęcia terenowe dla studentów specjalizujących się w teledetekcji w Szymbarku. Będąc na studiach doktoranckich na Uniwersytecie w Leicester prowadziłam w języku angielskim ćwiczenia „*Geographical Information System*” na studiach pierwszego stopnia i „*Digital Remote Sensing*” na studiach magisterskich. Opracowałam również materiały ćwiczeniowe: „*Extracting statistics from the MODIS burned area product*” wykorzystane w trakcie prowadzenia warsztatów: *CarboAfrica: Remote Sensing of Fire for National Greenhouse Gas Accounting*.

Po uzyskaniu stopnia doktora i powrocie do kraju, od 2013 r. regularnie prowadzę wykłady pt.: „*Wykorzystanie danych i produktów satelitarnych do analizy pożarów*” dla studentów studiów magisterskich WGiSR UW. Opracowałam materiały do ćwiczeń „*Analiza przestrzenna produktu „Active Fire – hotspot” dla Polski*”, które prowadzone są przeze mnie, ale również przez innych nauczycieli akademickich dla studentów WGiSR UW specjalizacji teledetekcji. W latach 2013-2014, opracowałam i prowadziłam w języku angielskim dla studentów programu **Erasmus**: „*Fires from space*”, „*Contribution of remote sensed data to the management of fires and estimation of emissions*”, „*Long term consequences of burning on peatland vegetation and carbon dynamics*”, prowadzonego na Międzywydziałowych Studiach Ochrony Środowiska. W 2016 r., prowadziłam ćwiczenia pt.: „*Spatial Decision Support in ArcGIS*” w języku angielskim dla studentów programu **Erasmus Mundus** - „*Geo-information Science and Earth Observation for Environmental Modelling and Management (GEM)*”. W 2017 r., wygłosiłam referat pt.: „*Technologie satelitarne jako narzędzie wspomagające ocenę stanu tropikalnych lasów torfowych na przykładzie Indonezji*”, na wydziałowym seminarium na Wydziale Biologii Uniwersytetu Warszawskiego.

Ponadto przygotowałam materiały szkoleniowe i przeprowadziłam dwa szkolenia z założeń technicznych budowy baz Corine Land Cover, interpretacji zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi na zdjęciach satelitarnych oraz z wykorzystania programu InterChange dedykowanego kartowaniu zmian pokrycia terenu w ramach programu Corine Land Cover. W szkoleniu uczestniczył kilkunastoosobowy zespół projektowy biorący udział w realizacji projektu Copernicus – serwis lądowy dla Polski. W 2013 r., w trakcie szkoły letniej organizowanej przeze mnie w ramach projekcie międzynarodowego GIONET - GMES Initial Operations – Network for Earth Observation Research

Training, prowadziłam wykład i ćwiczenia dotyczące programu Corine Land Cover w języku angielskim dla uczestników warsztatów.

W okresie 2009-2010 byłam opiekunem pomocniczym 2 prac magisterskich oraz opiekunem naukowym stażysty na Wydziale Geografii, Uniwersytetu w Leicester. Po uzyskaniu stopnia doktora, w okresie 2013-2018, byłam promotorem 2 prac magisterskich i 2 prac licencjackich na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych UW. Pełniłam również rolę opiekuna pomocniczego dwóch prac doktorskich: M. Offowno i S. Shrestha, prowadzonych pod kierunkiem Prof. dr hab. Katarzyny Dąbrowskiej-Zielińskiej i dr inż. Zbigniewa Bochenka z IGIK. Sprawowałam także opiekę merytoryczną nad stypendystką Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (2013-2015) w ramach projektu: „*A novel approach to estimate fire intensity and carbon emissions over the decade of fires in Poland*” oraz stypendystką realizującą projekt: „*TURBATS: Spatial statistical modelling to assess wind energy allocation and improve bat*”, w Helmholtz Centre for Environmental Research w Lipsku (UFZ), Niemcy, 2016. Ponadto byłam opiekunem naukowym dwóch stażystą z WGISR UW i Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) odbywających staż w Centrum Teledetekcji IGIK.

Dodatkowo swoją wiedzę i wieloletnim doświadczeniem dzieliłam się z uczestnikami dwóch programów akcelacyjnych Space3AC oraz BalticSatApp, w trakcie których pełniłam rolę mentora.

Chętnie i czynnie uczestniczę w akcjach popularyzujących naukę: Piknik Naukowy Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik (18 i 20 Piknik Naukowy), Dni Nauki na Foksal „*Po co nam kosmos?*”, Dzień GIS-u. W 2018 r., wygłosiłam referat „*Ziemia widziana oczami satelity - komu i do czego służą zdjęcia satelitarne*” skierowany do młodzieży licealnej w trakcie Europejskiej Noc Badaczy organizowanej przez Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, UW. Zostałam również zaproszona na Dzień GISu 2018 organizowany przez Wydział Geografii, Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, gdzie wygłosiłam referat pt.: „*SAT4EST-platforma satelitarna wspomagająca zarządzanie lasami niepaństwowymi*”. Prowadziłam również zajęcia popularyzujące technologie satelitarne dla dzieci w wieku przedszkolnym (przedszkole „Żyrafa”).

Wyniki moich projektów badawczych opisałam również w trzech czasopismach popularno-naukowych: Las Polski i Głos lasu.

Organizacja konferencji i spotkań naukowych

Uczestniczyłam w organizacji 3 konferencji naukowych. Pełniłam rolę głównego organizatora międzynarodowych warsztatów dla młodych naukowców organizowanych w ramach trzeciej szkoły letniej „*3rd GIONET Summer School Remote Sensing Applications for environmental modelling and classification*” (19-27.09.2013, Warszawa). Organizowałam jednodniową konferencję „*Monitorowanie pożarów – metody naziemne i satelitarne*”, w której udział wzięli przedstawiciele 8 instytucji krajowych oraz współorganizowałam warsztaty „*Nowe technologie dla leśnictwa*”, w ramach współpracy bilateralnej z Niemcami - projekt BIOFOR (7-8.06.2018, Warszawa), w których udział wzięli przedstawiciele 11 instytucji krajowych i 1 zagranicznej. Byłam głównym organizatorem seminarium „*Usługi Copernicus koordynowane przez Europejską Agencję Środowiska źródłem informacji o pokryciu terenu*” zorganizowanym w dniu 27 lutego 2019 r. w Ministerstwie Środowiska. W seminarium wzięło udział 66 osób reprezentujących różne instytucje administracji publicznej, agencji rządowych, instytucji naukowych, Głównego Urzędu Statystycznego oraz Polskiej Agencji Kosmicznej. Ponadto przewodniczyłam sześciu sesjom naukowym na pięciu konferencjach międzynarodowych i jednej krajowej oraz współorganizowałam jedną sesję plenarną na 34 konferencji międzynarodowej EARSeL (16-26.06.2014, Warszawa).

W 2018 r., brałam udział w eksperckim panelu dyskusyjnym zorganizowanym przez Instytut Badawczy Leśnictwa: „Współczesne metody teledetekcyjne w monitoringu środowiska” na Poznańskich Targach Środowiskowych POL ECO.

Informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

Czynnie uczestniczę w bilateralnych programach międzynarodowych o współpracy naukowej i naukowo-technicznej z Niemcami i Republiką Białoruską. Jestem kierownikiem po stronie Polski projektu *“Remote Sensing as a tool for monitoring of wetlands under Ramsar convention”* finansowanego przez MNiSW i Ministerstwo Nauki Republiki Białoruskiej. W ramach tego projektu współpracujemy z naukowcami z Białoruskiej Akademii Nauk, z Naukowo-Wdrożeniowego Centrum na rzecz Zasobów Naturalnych. Współpraca z naukowcami z Uniwersytetu w Jenie (Niemcy) odbywa się w ramach programu *„Tworzenie i rozszerzanie wspólnych struktur naukowych w Europie”*, finansowanego przez Niemieckie Ministerstwo Edukacji i Badań, *BIOFOR: Biomasse-Forschungsstruktur (ang. Biomass Estimation Knowledge Structure)*. W 2015 r., uczestniczyłam w programie tworzenia sieci instytucjonalnych, tzw. *„IncoNet Central Asia Twinning Grant: Adapting to climate change: food security in Central Asia”*, gdzie w ramach nawiązywania współpracy z krajami Centralnej Azji (Uzbekistan i Kazachstan) brałam udział w dwóch warsztatach naukowych na których wygłosiłam referaty na temat *„Remote tools for assessing and fighting soil salinity in the Aral Sea Basin”*. Jestem członkiem zespołu eksperckiego (zakres teledetekcja i geoinformacja) programu Erasmus+ w ramach projektu EO4GEO – *“Towards and innovative strategy for skills development and capacity building in the space geo-information sector supporting Copernicus user uptake”*.

Uczestniczyłam w następujących programach międzynarodowych:

- Copernicus Land Monitoring program,
- GIO Land Monitoring program,
- Programy Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA Polish Incentive Scheme Program, ESA DUE, ESA PECS),
- Europejski Program Marii Curie Action,
- Europejskie programy ramowe (Twinning Grants IncoNet, FP7, FP6, FP5),
- Europejskie programy Erasmus+, Erasmus, Erasmus Mundus.

Jestem aktywna na forach międzynarodowych i krajowych organizacji naukowych. Aktywnie uczestniczę w konferencjach międzynarodowych organizowanych przez IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL) oraz ESA Living Planet, a także krajowych m.in. Ogólnopolskiej Konferencji Fotointerpretacji i Teledetekcji oraz w seminariach organizowanych przez Sekcję Teledetekcji Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk.

Jestem członkiem: Sekcji Teledetekcji Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych przy Prezydium PAN, Zespół Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych ds. Programu Obserwacji Ziemi COPERNICUS oraz IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, GeoScience and Remote Sensing Society. W okresie stażu doktorskiego byłam członkiem Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc), International Peat Society (IPS) oraz członkiem rady naukowej i komisji etyki na Wydziale Geografii Uniwersytetu w Leicester.

Od 2013 r. jestem przedstawicielem, z ramienia Instytutu Geodezji i Kartografii, jednego z Krajowych Centrum Referencyjnych (National Reference Centre - NRC) ds. pokrycia terenu w ramach Europejskiej Sieci Informacji i Obserwacji Środowiska (EIONET). Instytucją powołującą NRC jest Krajowy Punkt Kontaktowy (National Focal Point NFP) ds. współpracy z Europejską Agencją Środowiska (EEA) reprezentowany przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ). W 2015 r. zostałam powołana na zastępcę przewodniczącego Komitetu Zarządzającego Akcji COST ES1104: *Arid Lands Restoration and Combat of Desertification: Setting Up a Drylands and Desert Restoration Hub.*, instytucja powołująca: Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Biorę aktywny udział w pracach Instytutu Geodezji i Kartografii oraz działaniach promujących Instytut i działalność Centrum Teledetekcji. Od 1 czerwca 2014 r. jestem kierownikiem Laboratorium Teledetekcyjnych Badań Zagrożeń Środowiska w Centrum Teledetekcji, IGIK. Od 2013 r. jestem Członkiem Rady Naukowej Instytutu Geodezji i Kartografii. Pełniłam również rolę przewodniczącego Komisji Wyborczej do Rady Naukowej IGIK.

Szczegółowe wykaz opublikowanych prac naukowych, wygłoszonych referatów, realizowanych projektów wraz z informacją o innych osiągnięciach naukowo-badawczych, dydaktyczno-popularyzatorskich, organizacyjnych, przedstawia Załącznik 4.

Literatura (pozycje pogrubione odnoszą się do monotematycznego cyklu publikacji)

- Ayrey E., Hayes D.J. The Use of Three-Dimensional Convolutional Neural Networks to Interpret LiDAR for Forest Inventory. *Remote Sensing* (2018) 10:649.
- Banskota A., Kayastha N., Falkowski M.J., Wulder M.A., Froese R.E., White J.C. Forest Monitoring Using Landsat Time Series Data: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing* (2014) 40:362-384.
- Bergsang E., Ørka H.O., Næsset E., Gobakken T. Assessing forest inventory information obtained from different inventory approaches and remote sensing data sources. *Annals of Forest Science* (2015) 75:33-45.
- Breiman L. Random Forests. *Machine Learning* (2001) 45:5-32.
- BULiGL. Wieloobszarowa Inwentaryzacja Stanu Lasu w Polsce wyniki za okres 2013-2017. (2018) Sękocin Stary: BULiGL.
- CILP. Lasy w Polsce 2017. (2017) Warszawa.
- DGLP. Stan siły wyższej o zasięgu ponadlokalnym w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe zaistniały w dniach 11 i 12 sierpnia 2017 r. *Biuletyn Informacyjny Lasów Państwowych*. (2017).
- Dorren L.K.A., Maier B., Seijmonsbergen A.C. Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification. *Forest Ecology and Management*, (2003) 183:31-46.
- Escobar-Flores J.G., Lopez-Sanchez C.A., Sandoval S., Marquez-Linares M.A., Wehenkel C. Predicting *Pinus monophylla* forest cover in the Baja California Desert by remote sensing. *PeerJ* (2018) 6:1-17.
- Fassnacht F.E., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L.T., Straub C., i in. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* (2016) 186:64-87.
- Franklin S.E. (2001) *Remote Sensing for Sustainable Forest Management USA*: Lewis Publishers: Boca Raton, Taylor & Francis Group, LLC.
- Gritti E.S., Cassignat C., Flores O., Bonnefille R., Chalieu F., Guiot J., Jolly D. Simulated effects of a seasonal precipitation change on the vegetation in tropical Africa. *Clim. Past* 6: . *Climate of the Past* (2010) 6:169-178.

- GUS. Bank Danych Lokalnych. <https://bdl.stat.gov.pl/> (2017).
- Hafemann L.G., Oliveira L.S., Cavalin P. (2014) Forest Species Recognition Using Deep Convolutional Neural Networks. In: 2014 22nd International Conference on Pattern Recognition. 1103-1107.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., i in. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* (2013) 342:850-853.
- Hościło A. (2019) Sprawozdanie końcowe z projektu ramowego Copernicus Land Monitoring - Poland, Specific contract No 3436/R0-COPERNICUS/EEA.56948 Implementing Framework service contract, No EEA/IDM/R0/16/009/Poland--IGIK, ed. Warszawa.
- Hoscilo A., Balzter H., Bartholomé E., Boschetti M., Brivio P.A., Brink A., Clerici M., i in. A conceptual model for assessing rainfall and vegetation trends in sub-Saharan Africa from satellite data. *International Journal of Climatology* (2015) 35:3582-3592.**
- Hoscilo A., Dębowska A., Ziółkowski D. (2014) Numeryczna mapa terenów zadrzewionych. In: VII Conference "Geomatyka w Lasach Państwowych" 16-18.09.2014, Rogów.
- Hoscilo A., Lewandowska A. Remotely detected fire events: potential and challenges of validating against national ground data. In: IEEE Geoscience and Remote Sensing (IGARSS2015) (2015) 26-31.07.2015, Milan, Italy:2159-2162.
- Hoscilo A., Lewandowska A. Zastosowanie danych z satelity Sentinel-2 do szacowania rozmiaru szkód spowodowanych w lasach huraganowym wiatrem w sierpniu 2017 roku. *Sylwan* (2018) 162:619-627.**
- Hościło A., Lewandowska A. Mapping Forest Type and Tree Species on a Regional Scale Using Multi-Temporal Sentinel-2 Data. *Remote Sensing* (2019) 11:929.**
- Hoscilo A., Lewandowska A., Ziółkowski D., Stereńczak K., Lisańczuk M., Schmillius C., Pathe C. (2018) Forest Aboveground Biomass Estimation Using a Combination of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data. In: IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS2018) 22-27.07.2018, Valencia, Spain.
- Hościło A., Mirończuk A. Europejski Program Obserwacji Ziemi Copernicus źródłem danych do ocen oddziaływania na środowisko. (2016a) Poznań: M. Nowak - red. Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Hościło A., Mirończuk A. Europejski Program Obserwacji Ziemi Copernicus źródłem danych do ocen oddziaływania na środowisko, rozdział w monografii: GIS i dane przestrzenne w ocenach oddziaływania na środowisko - podręcznik dobrych praktyk, M. Nowak. (2016b) Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Hościło A., Mirończuk A., Lewandowska A. Określenie rzeczywistej powierzchni lasów w Polsce na podstawie dostępnych danych przestrzennych. *Sylwan* (2016) 160:627-634.**
- Hoscilo A., Tomaszewska M. CORINE Land Cover 2012 - 4th CLC inventory completed in Poland. *Geoinformation Issues* (2015) 1:49-58.**
- Hoscilo A., Turlej K. Use of satellite data for monitoring fire events in Poland. In proceedings of the IEEE Geoscience and Remote Sensing (IGARSS2014) (2014):828-831.
- Hoscilo A., Ziolkowski D., Lewandowska A., Sterenczak K., Bochenek Z., Bartold M. (2016) Synergistic use of SAR and optical datasets for forest biomass retrieval and characterization of forests in temperate zone - a national case study Poland. In: 7th ForestSAT 2016 Symposium 14 - 18.11.2016, Santiago, Chile.
- Houghton R.A., House J.I., Pongratz J., van der Werf G.R., DeFries R.S., Hansen M.C., Le Quéré C., i in. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences* (2012) 9:5125-5142.
- Immitzer M., Vuolo F., Atzberger C. First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sensing* (2016) 8:166.
- IPCC. (2018) Global Warming of 1.5°C, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In: Special Report on the Ocean

- and Cryosphere in a Changing Climate, and Climate Change and Land--V. Masson-Delmotte P.Z., H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.), ed. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Isuhuaylas L.A.V., Hirata Y., Santos L.C.V., Torobeo N.S. Natural Forest Mapping in the Andes (Peru): A Comparison of the Performance of Machine-Learning Algorithms. *Remote Sensing* (2018) 10.
- Jabłoński M. Powierzchnia gruntów leśnych – przyczyny zmian i spójność źródeł danych. *Wiadomości Statystyczne* (2015) 11:54-68.
- Jabłoński M., Mionskowski M., Budniak P. Forest area in Poland based on national forest inventory. *Sylvan* (2018) 162:365–372.
- Ji W., Wang L. Phenology-guided saltcedar (*Tamarix* spp.) mapping using Landsat TM images in western U.S. *Remote Sensing of Environment* (2016) 173:29-38.
- Kałużski M., Hościło A., Gurdak R. Accuracy assessment of the Copernicus Buildings Height 2012 layer based on the city of Warsaw. *Geoinformation Issues* (2018) 10.
- Kaufman Y.J., Justice C., Flynn O.L., Kandall J., Prins E., Ward D.E., Menzel P., i in. Monitoring global fires from EOS-MODIS. *Journal of Geophysical Research* (1998) 103:32,215 - 232,239.
- Kolecka N., Kozak J., Kaim D., Dobosz M., Ginzler C., Psomas A. Mapping Secondary Forest Succession on Abandoned Agricultural Land with LiDAR Point Clouds and Terrestrial Photography. *Remote Sensing* (2015) 7:8300–8322.
- Kolecka N., Kozak J., Kaim D., Dobosz M., Ostafin K., Ostapowicz K., Wezyk P., i in. Understanding farmland abandonment in the Polish Carpathians. *Applied Geography* (2018) 88:62-72.
- Liu Y.A., Gong W.S., Hu X.Y., Gong J.Y. Forest Type Identification with Random Forest Using Sentinel-1A, Sentinel-2A, Multi-Temporal Landsat-8 and DEM Data. *Remote Sensing* (2018) 10:1-22.
- Mirończuk A., Hościło A. Mapping tree cover with Sentinel-2 data using the Support Vector Machines (SVM). *Geoinformation Issues* (2017) 9:27-38.**
- Mirończuk A., Hościło A., Leszczyńska A. Copernicus źródłem informacji o dominującym typie drzewostanu w Polsce – ocena dokładność krajowej warstwy szczegółowej Dominat Leaf Type (DLT). (2019a) w przygotowaniu.
- Mirończuk A., Hościło A., Lewandowska A. (2019b) Monitoring of forest damage in the Tatra Mountains using a time series of Sentinel-2 data. In: ESA living Planet Symposium--ESA, ed. 13-17.05.2019, Mediolan, Włochy: <https://lps19.esa.int/NikaWebsitePortal/living-planet-symposium-2019/lps19/Speaker#>.
- Mountrakis G., Im J., Ogole C. Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (2011) 66:247-259.
- Naudts K., Chen Y., McGrath M.J., Ryder J., Valade A., Otto J., Luysaert S. Europe's forest management did not mitigate climate warming. *Science* (2016) 351:597-600.
- Pelletier C., Valero S., Inglada J., Champion N., Dedieu G. Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas. *Remote Sensing of Environment* (2016) 187:156-168.
- Persson M., Lindberg E., Reese H. Tree Species Classification with Multi-Temporal Sentinel-2 Data. *Remote Sensing* (2018) 10:1-17.
- Rodriguez-Galiano V.F., Ghimire B., Rogan J., Chica-Olmo M., Rigol-Sanchez J.P. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (2012) 67:93-104.
- Rodríguez-Veiga P., Quegan S., Carreiras J., Persson H.J., Fransson J.E.S., Hościło A., Ziolkowski D., i in. Forest biomass retrieval approaches from earth observation in different biomass. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (2019) 77.
- Stoffels J., Hill J., Sachtleber T., Mader S., Buddenbaum H., Stern O., Langshausen J., i in. Satellite-Based Derivation of High-Resolution Forest Information Layers for Operational Forest Management. *Forests* (2015) 6:1982-2013.

- Thorn S., BäSSLer C., Svoboda M., J. M. Effects of natural disturbances and salvage logging on biodiversity - Lessons from the Bohemian Forest. *Forest Ecology and Management* (2016) 388:113–119.
- UNFCCC. (2008) Kyoto Protocol Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amounts--UNFCCC, ed. Available online: https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf.
- Waser L.T., KÜchler M., Jütte K., Stampfer T. Evaluating the Potential of WorldView-2 Data to Classify Tree Species and Different Levels of Ash Mortality. *Remote Sensing* (2014) 6:4515-4545.
- Wessel M., Brandmeier M., Tiede D. Evaluation of Different Machine Learning Algorithms for Scalable Classification of Tree Types and Tree Species Based on Sentinel-2 Data. *Remote Sensing* (2018) 10:2-21.
- Wittke S., Yu X., Karjalainen M., Hyypä J., Puttonen E. Comparison of two-dimensional multitemporal Sentinel-2 data with three-dimensional remote sensing data sources for forest inventory parameter estimation over a boreal forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (2019) 76:167-178.
- Wooster M.J., Roberts G., Perry G.L.W., Kaufman Y.J. Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiativepower observations:FRP derivation and calibration relationshipsbetween biomass consumption and fire radiative energy release. *Journal of Geophysical Research* (2005) 110.
- Zhu X., Liu D. Accurate mapping of forest types using dense seasonal Landsat time-series,. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (2014) 96:1-11.
- Ziemblicki M.H. Uwarunkowania prawne nadzoru nad lasami niestanowiącymi własności Skarbu Państwa / Legal conditions of supervision over private forests *Białostockie Studia Prawnicze* (2015):297-305.
- Żmihorski M. The effect of windthrow and its management on breeding bird communities in a managed forest. *Biodiversity & Conservation* (2010) 19:1871–1882.

Warszawa, 26.04.2019



Agata Hościło