

ANNA MIROŃCZUK, ANNA LESZCZYŃSKA, AGATA HOŚCIŁO

Program Copernicus źródłem informacji o dominującym typie drzewostanu w Polsce – ocena dokładności krajowej warstwy wysokorozdzielczej

Copernicus Program as a source of information on the dominant leaf type in Poland – assessment of the accuracy of the national high resolution layer

ABSTRACT

Mirończuk A., Leszczyńska A., Hościło A. 2020. Program Copernicus źródłem informacji o dominującym typie drzewostanu w Polsce – ocena dokładności krajowej warstwy wysokorozdzielczej. Sylwan 164 (2): 151-160. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019084>.

Information on the spatial distribution and variability of forests is important in monitoring of forest resources, biodiversity assessment, threat prevention, estimation of carbon content and forest management. The Pan-European High Resolution Layers (HRLs) produced as part of the European Earth Monitoring Programme – Copernicus provide detailed information on the land cover characteristics in Europe. The HRLs are produced using satellite imagery based on an interactive rule-based classification. There are the following HRL themes: imperviousness, forest, water and wetness and grasslands. The HRLs are available for the reference year 2012 and 2015, at the spatial resolution of 20 m. The forest related HRL consists of tree cover density, dominant tree type and forest type products. In this study, we performed a) the qualitative and quantitative analysis of the accuracy of the dominant leaf type (DLT) layer for the 2015 year at the national scale, and b) detailed analysis of the data quality at the forest stand level over the selected forest districts. The DLT layer was compared with the national orthophotos. The detailed analysis was carried out using Sentinel-2 images and forest inventory data obtained from the Forest Data Bank over the selected forest districts. The accuracy analysis of the national DLT layer revealed the high omission error equal to 18.8%, and lower commission error of 5.4%. The omission error is mostly related to the omitted orchards and young forest plantations, which are included in the DLT layer. The commission error of the broadleaved forest is related mostly to the small patches of coniferous forest that was misclassified as broadleaved. In general, commission errors were identified more frequently in broadleaved forest than in the coniferous forest. In many locations the patches of coniferous forest were misclassified as broadleaved forest. In general, the area of the broadleaved forest is overestimated.

KEY WORDS

Copernicus, Sentinel-2, High Resolution Layers, forest type, remote sensing

ADDRESSES

Anna Mirończuk – e-mail: anna.mironczuk@igik.edu.pl

Anna Leszczyńska, Agata Hościło

Centrum Teledetekcji, Instytut Geodezji i Kartografii; ul. Modzelewskiego 27, 02-679 Warszawa

Wstęp

Informacja o przestrzennym rozmieszczeniu lasów oraz strukturze gatunkowej jest istotna w procesie szacowania zasobów leśnych [Laurin i in. 2016], ocenie bioróżnorodności [Bengtsson i in. 2000; Vihervaara i in. 2017], przeciwdziałaniu zagrożeniom [Waser i in. 2015], określeniu zawartości węgla [Naudts i in. 2016] oraz zarządzaniu lasami [Barbati i in. 2014]. Krajowym źródłem informacji o dominującym typie drzewostanu jest numeryczna leśna mapa drzewostanów dostępna w portalu Banku Danych o Lasach. Mapa drzewostanów przedstawia strukturę obszarów leśnych sklasyfikowanych pod względem gatunku i aktualnego wieku. Informacja o procentowym udziale poszczególnych gatunków drzew przypisana jest do wydzielenia leśnego, bez podawania informacji o przestrzennym zróżnicowaniu gatunków wewnątrz konkretnego wydzielenia. Innym krajowym źródłem informacji o składzie gatunkowym lasów bez względu na prawo własności jest Wielkoobszarowa Inwentaryzacja Stanu Lasu (WISL), wykonywana na kołowych powierzchniach próbnych o wielkości 400 m² w cyklu 5-letnim [Instrukcja... 2014]. Pierwszy i drugi cykl pomiarów WISL obejmowały powierzchnie położone wyłącznie na gruntach leśnych oznaczonych według ewidencji, zaś cykl trzeci objął również powierzchnie pokryte roślinnością leśną, które nie są ujęte w ewidencji [Wielkoobszarowa... 2018]. Wyznaczanie powierzchni lasów w oparciu o dane z WISL w skali kraju prowadzone jest na podstawie obliczeń analitycznych, tym samym może być obciążone błędem za względu na konieczność odniesienia do powierzchni lasów wykazywanej przez GUS. Dodatkowo dane WISL, ze względu na pomiary wykonywane wyłącznie na powierzchniach próbnych, nie mogą być przedstawione w postaci mapy prezentującej przestrzenne rozmieszczenie kompleksów leśnych.

Wraz z szybkim rozwojem zaawansowanych algorytmów do przetwarzania danych teledetekcyjnych oraz nieodpłatnym dostępem do zobrazowań satelitarnych o coraz większej rozdzielczości przestrzennej, spektralnej i czasowej możliwe stało się precyzyjniejsze kartowanie podstawowych form pokrycia terenu, w tym lasów, w skali regionalnej, krajowej, kontynentalnej czy globalnej. W ramach europejskiego programu monitorowania Ziemi Copernicus dostarczane są m.in. warstwy informacyjne o wysokiej szczegółowości (High Resolution Layers; HRL), zawierające uszczegółwioną informację o charakterystycznych formach pokrycia terenu: terenach nieprzepuszczalnych, obszarach z roślinnością drzewiastą, terenach pokrytych roślinnością trawiastą, zbiornikach wodnych i obszarach podmokłych. Warstwy HRL są komplementarne z bazami pokrycia terenu Corine Land Cover [Hościło, Mirończuk 2016]. Mają one charakter ciągły i udostępniane są w formacie rastrowym o rozdzielczości przestrzennej 20×20 m. Warstwy HRL generowane są w cyklu trzyletnim, aktualnie dostępne są warstwy dla lat 2012 oraz 2015. Produkt dotyczący terenów z roślinnością drzewiastą (HRL Forest) zawiera następujące elementy: 1) stopień zwarcia koron drzewostanów (Tree Cover Density, TCD), 2) dominujący typ drzewostanu w podziale na iglasty i liściasty (Dominant Leaf Type, DLT), 3) dominujący typ lasu (Forest Type, FTY) oraz 4) zmiany stopnia zwarcia koron i typu drzewostanu w okresie 2012-2015. Dane HRL opracowano na podstawie klasyfikacji wieloczasowych wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych. Warstwy te zostały wykonane przez konsorcjum firm prywatnych na zlecenie Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) dla 39 państw europejskich [Langanke 2018].

Głównym celem pracy było: a) wykonanie jakościowej i ilościowej oceny dokładności krajowej warstwy wysokorozdzielczej obrazującej dominujący typ drzewostanów dla roku 2015 w skali kraju oraz b) przeprowadzenie szczegółowej oceny stopnia zmieszania drzewostanów (udziału procentowego drzewostanów liściastych i iglastych) według DLT na poziomie wydzieleni leśnych. Szczegółową analizę wykonano w odniesieniu do danych z mapy drzewostanów (BDL) dla obszaru dwóch regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych: RDLP Lublin i RDLP Krosno.

Informacja o stopniu zmieszania drzewostanów wewnątrz wydzielenia może być wykorzystana do oceny zróżnicowania przestrzennego w skali wydzielenia, co jest szczególnie istotne w przypadku dużych niejednorodnych wydzieleni, jak również do kontroli poprawności informacji zawartej w bazach leśnych. Ponadto wykonanie szczegółowej analizy porównawczej pozwoli ocenić, czy dane DLT mogą być wykorzystywane do określania typu drzewostanu na terenie lasów wszystkich form własności.

Obszar badań

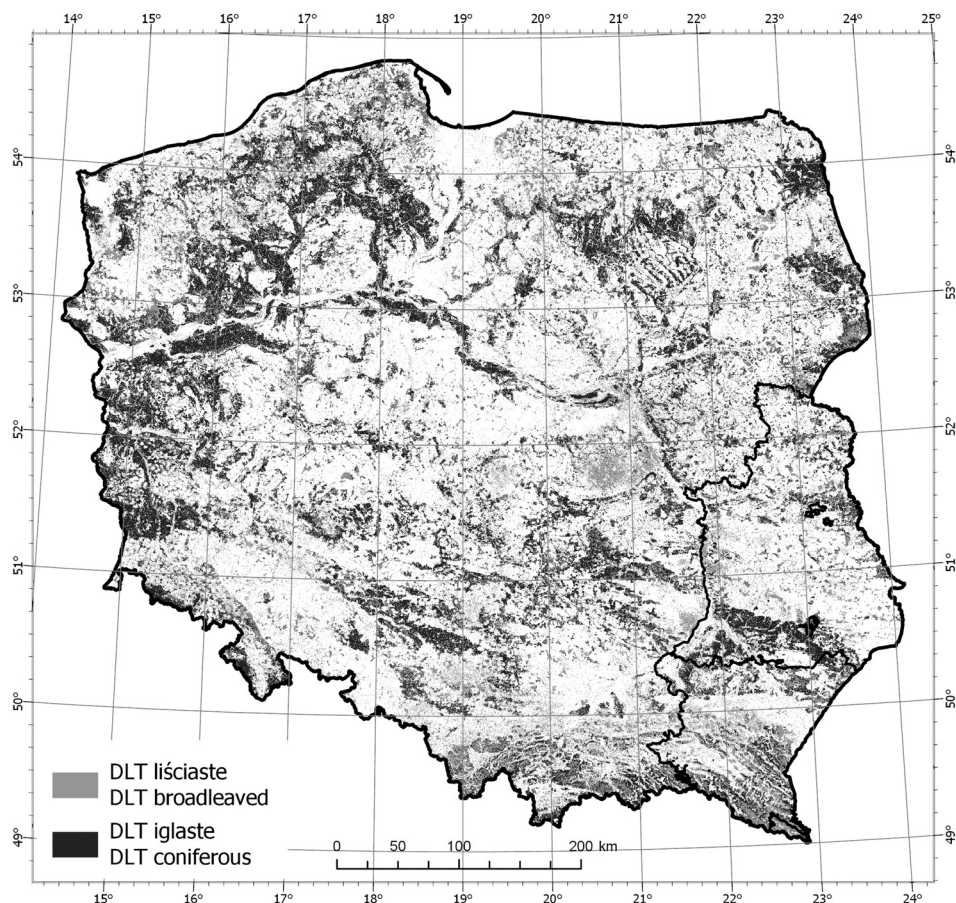
Jakościowa i ilościowa ocena dokładności warstwy DLT wykonana została dla obszaru całej Polski. Do szczegółowej analizy stopnia zmieszania drzewostanu według DLT wytypowano dwie sąsiadujące regionalne dyrekcje Lasów Państwowych: RDLP Krosno i RDLP Lublin. RDLP Krosno charakteryzuje się stosunkowo wysoką lesistością (sięgającą 38,5% – drugą w Polsce) oraz wysokim odsetkiem powierzchni leśnej objętej ochroną (95%). Grunty leśne zajmują 542,2 tys. ha, z czego 82% stanowią lasy własności Skarbu Państwa, 4% lasy gminne, a 14% lasy prywatne. RDLP Lublin charakteryzuje się jedną z najniższych w kraju lesistością – 24,9%. Powierzchnia leśna stanowi 676,5 tys. ha, w tym 61% stanowią lasy własności Skarbu Państwa, 1% – lasy gminne, a 38% – lasy prywatne.

Materiał i metody

Weryfikacji poddano jedną z warstw wysokorozdzielczych udostępnianych w ramach programu Copernicus, przedstawiającą dominujący typ drzewostanu dla roku 2015 (ryc. 1). Warstwa ta powstała na podstawie serii czasowych zdjęć z wysokorozdzielczych sensorów satelitarnych. Dane DLT dostępne są w formacie rastrowym o rozdzielczości przestrzennej 20 m, gdzie każdemu pikselowi przypisana jest informacja o dominującym typie drzewostanu: liściastym lub iglastym. Do dalszych analiz warstwa DLT została przekształcona z formatu rastrowego na format wektorowy. Dane DLT obejmują wszystkie obszary pokryte roślinnością drzewiastą, w tym również tereny zagospodarowane rolniczo (sady) i zadrzewienia na terenach miejskich. DLT nie obejmuje zakrzaczeń, zrębów oraz obszarów, które uległy poważnym uszkodzeniom (np. wiatrolomy) [Langanke 2018].

Jako dane referencyjne do analizy stopnia zmieszania drzewostanu według warstwy DLT wykorzystano mapę drzewostanów dostępną w Banku Danych o Lasach (BDL; www.bdl.lasy.gov.pl/portal/mapy, stan na 2016 rok). Mapa drzewostanów dla obszaru RDLP Lublin i RDLP Krosno pobrana została w formacie wektorowym. Do dalszych analiz wybrano wydzielenia leśne o powierzchni powyżej 5 ha. Na podstawie informacji o gatunku panującym obliczono procentowy udział drzew iglastych i liściastych dla każdego wydzielenia, z zaokrągleniem wynikającym ze stopniowania co 10%.

Na wstępie wykonano jakościową weryfikację warstwy DLT w celu wskazania systematycznych błędów. Weryfikacja polegała na wizualnym porównaniu DLT do krajowej ortofotomapy dostępnej jako usługa Web Map Service na geoportal.gov.pl. W drugim etapie dokonano ilościowej jakości warstwy DLT metodą „próbki losowego” – za pomocą losowo rozrzuconych powierzchni kontrolnych w oprogramowaniu ArcMap. Liczbę powierzchni próbnych wyliczono na podstawie statystyki matematycznej bazującej na proporcji powierzchni zajętej przez obszary leśne w stosunku do całkowitej powierzchni kraju [Langanke 2018]. Do analiz użyto po 480 powierzchni kontrolnych o wymiarach 20×20 m dla drzewostanów liściastych, iglastych oraz powierzchni niepokrytych roślinnością drzewiastą. Ocena powierzchni kontrolnych odbywała się metodą wizualnej weryfikacji względem ortofotomapy oraz mapy drzewostanów z BDL. Na każdej powierzchni kontrolnej oceniano typ pokrycia terenu: drzewostan liściasty,



Ryc. 1.

Warstwa dominujących typów drzewostanu w zasięgu krajowym
Dominant Leaf Type layer at the national scale

iglasty, inny typ. Na podstawie wyników obliczono błąd „nadmiaru” i „pomięcia”. Jako błąd „nadmiaru” rozumie się fragment terenu wewnątrz powierzchni kontrolnej błędnie zaklasyfikowany jako zadrzewienie (liściaste bądź iglaste), zaś błąd „pomięcia” jako obszar faktycznie pokryty drzewami, lecz niezaklasyfikowany jako zadrzewienie danego typu.

Szczegółową analizę stopnia zmieszania drzewostanów według informacji zawartej w warstwie DLT wykonano dla wydzielen leśnych powyżej 5 ha, w których drzewostany liściaste i iglaste według DLT łącznie stanowiły co najmniej 80% powierzchni wydzielenia. Dla każdego wydzielenia spełniającego powyższe kryteria obliczono powierzchnię drzewostanów liściastych i iglastych według DLT. Tak przygotowane dane DLT zestawiono z danymi o typie lasu uzyskanymi z mapy drzewostanów. Porównanie wykonano: a) łącznie dla wszystkich wybranych wydzielen oraz b) w klasach wielkości wydzielenia: (1) 5-10 ha, (2) 10-15 ha, (3) 15-20 ha i (4) powyżej 20 ha.

W końcowym etapie przeprowadzono analizę wydzielen, na których według DLT powierzchnia zadrzewiona jest mniejsza niż 20%. Analizę wykonano metodą wizualnej oceny stanu na gruncie na podstawie dostępnej krajowej ortofotomapy oraz zdjęć satelitarnych zarejestrowanych

przez satelitę Sentinel-2A w 2015 roku. Sentinel-2A jest jednym z dwóch bliźniaczych satelitów misji Sentinel-2, który został wyniesiony na orbitę w 2015 roku. Satelity Sentinel-2 rejestrują promieniowania elektromagnetyczne w 13 zakresach spektralnych o rozdzielczości przestrzennej 10, 20 i 60 m. Do analizy wykorzystano kompozycje zdjęć w barwach naturalnych (kanały: 4, 3, 2) oraz nienaturalnych (kanały: 8, 4, 3). Zaletą zobrazowań Sentinel-2 jest możliwość ich bezpłatnego wykorzystywania oraz wysoka rozdzielczość czasowa – ten sam fragment Ziemi rejestrowany jest co 5 dni [Sentinel-2... 2015]. Dane z Sentinel-2 pozyskano z repozytorium ESA Copernicus Open Access Hub, następnie poddano je korekcji atmosferycznej z wykorzystaniem pakietu ESA Sen2Cor.

Wyniki porównania stopnia zmieszania według DLT oraz według mapy drzewostanów zwiualizowano za pomocą wykresu pudełkowego „letter-value plots” – przeznaczonego do analizy dużych zbiorów danych [Hofmann i in. 2017]. Zaletą tego sposobu prezentacji rozkładu danych jest możliwość szczegółowego prześledzenia liczebności poszczególnych zakresów danych. Największy prostokąt na wykresie reprezentuje zasięg pomiędzy dolnym i górnym kwartylem (50% danych), pozioma gruba kreska – medianę danego zestawu danych. Zasięg kolejnych mniejszych prostokątów reprezentuje 50-75% danych itd. Szerokość prostokątów zależy od liczebności danego przedziału, zaś pojedyncze punkty wskazują na wartości odstające.

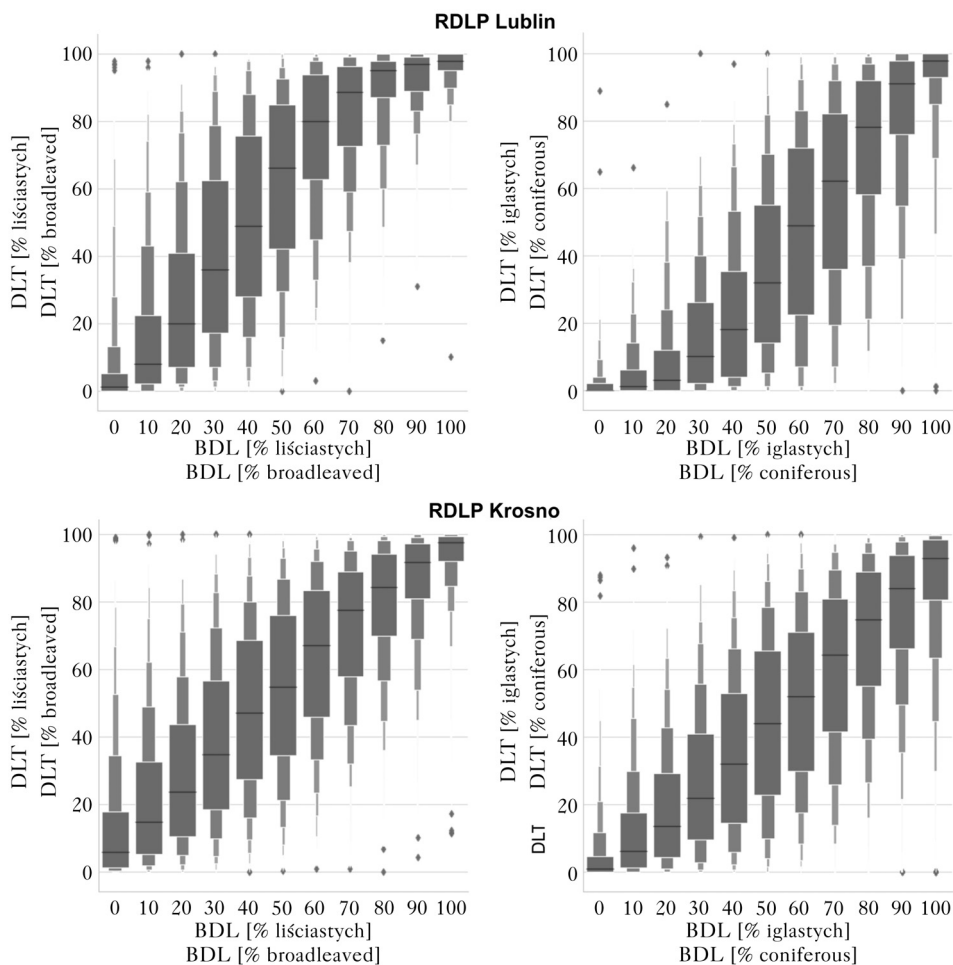
Wyniki

Ilościowa analiza dokładności krajowej warstwy szczegółowej DLT wykazała, że drzewostany liściaste obarczone są zarówno większym błędem „nadmiaru”, sięgającym 5,4%, jak i błędem „pominięcia” – 18,8%. W przypadku drzewostanów iglastych błąd „nadmiaru” wyniósł 0,2%, a błąd „pominięcia” – 3,6%. Wysoki błąd pominięcia w przypadku drzewostanów liściastych wynika głównie z niedoszacowania drzew owocowych (sądów) i szkółek leśnych. Stosunkowo wysoki błąd nadmiaru drzewostanów liściastych związany jest natomiast głównie z tendencją przeszacowania lasów liściastych kosztem lasów iglastych.

Wizualna ocena warstwy DLT względem ortofotomaty potwierdziła fakt błędnego klasyfikowania fragmentów lasów iglastych jako liściaste. Ponadto w wielu przypadkach jako zadrzewienia liściaste sklasyfikowane zostały ogródki działkowe, cmentarze, szkółki drzew iglastych czy wysokogórskie wrzosowiska i zakrzaczenia.

W przypadku drzewostanów iglastych według DLT najwięcej błędów zaobserwowano na obszarach górskich, gdzie liczne obszary pokryte kosodrzewiną, zakrzaczeniami oraz nagie skały zostały błędnie zaklasyfikowane jako iglaste (w mniejszym stopniu również jako liściaste). Czasami jako zadrzewienia liściaste bądź iglaste sklasyfikowane były również fragmenty terenów podmokłych. Przy analizie wyników należy pamiętać o zasięgu warstwy DLT, w ramach której jako obszary z roślinnością drzewiastą klasyfikowane są również sady i parki miejskie.

Do analizy porównawczej stopnia zmieszania drzewostanów wyselekcjonowanych zostało łącznie 34 345 wydzieleni spełniających założone kryteria, w tym w RDLP Lublin – 11 418 wydzieleni, zaś w RDLP Krosno – 22 927 wydzieleni. Rycina 2 przedstawia wynik analizy porównawczej danych z DLT względem mapy drzewostanów z BDL. Widoczne jest wyraźne przeszacowanie powierzchni drzewostanów liściastych kosztem iglastych. Stopień przeszacowania mniejszy jest w RDLP Krosno niż w RDLP Lublin. W RDLP Lublin stopień przeszacowania drzewostanów liściastych zwiększa się wraz ze wzrostem udziału drzew liściastych w wydzieleniu. Analizując rozkład mediany, można w przypadku RDLP Krosno stwierdzić wysoką zgodność DLT i danych z mapy drzewostanów zarówno pomiędzy drzewostanami liściastymi, jak i iglastymi. Jednakże w przypadku obu analizowanych obszarów widoczny jest znaczący stopień rozproszenia wartości



Ryc. 2.

Rozkład udziału [%] drzewostanów liściastych (lewo) i iglastych (prawo) w wydzieleniu DLT względem mapy z BDL w RDLP Lublin (górze) i Krosno (dół)

Distribution of fraction [%] of broadleaved (left) and coniferous stands (right) in the DLT against the data from the BDL in Lublin (top) and Krosno (bottom) RDSF

DLT wewnątrz większości przedziałów stopnia zmieszania mapy drzewostanów. Największe rozproszenie wartości, sięgające ponad $\pm 20\text{-}30\%$, przypada na wydzielenia mieszane (w których proporcja gatunków liściastych do iglastych waha się w granicach 25-75%). W przypadku wydzieleni, w których na mapie drzewostanów BDL drzewa danego typu (liściaste lub iglaste) stanowią powyżej 75% drzewostanu, widoczne jest mniejsze rozproszenie wartości. Najmniejsze rozproszenie wartości oraz największa zgodność pomiędzy analizowanymi bazami zachodzi w przypadku jednorodnych wydzieleni, gdzie las iglasty lub liściasty według danych z mapy drzewostanów BDL stanowi powyżej 95% (najmniejsza zgodność w przypadku lasów iglastych w RDLP Krosno).

Największa rozpiętość danych występuje w wydzieleniach o małym udziale lasów liściastych według mapy drzewostanów. Analizowany zbiór zawiera 19 wydzieleni o największym oddaleniu od danych referencyjnych: 14 w RDLP Krosno i 5 w RDLP Lublin. Szczegółowa analiza

tych przypadków w odniesieniu do ortofotomapy i zobrazowań z Sentinel-2 wykazała, że 8 przypadków to wydzielania, na których są zręby, 7 – wydzielania niepoprawnie zaklasyfikowane jako w 100% iglaste w mapie drzewostanów, 2 – wydzielania niepoprawnie zaklasyfikowane jako w 100% iglaste w DLT oraz 2 – wydzielania z drzewostanem mieszanym o małym stopniu zagęszczenia.

Analiza rozkładu wartości DLT w klasach, podzielonych ze względu na wielkość powierzchni wydzieleń, również potwierdza przeszacowanie lasów liściastych kosztem lasów iglastych (ryc. 3). Przeszacowanie to widoczne jest we wszystkich klasach. W RDLP Lublin dane DLT cechują się wyższym stopniem przeszacowania niż w RDLP Krosno. Rozkład wartości median w RDLP Krosno wykazuje stosunkowo dużą zgodność między DLT a mapą drzewostanów BDL. Jednakże w przypadku RDLP Krosno widoczny jest znacznie większy zakres rozpiętości wartości, wzrastający wraz ze stopniem zmieszania drzewostanów. W RDLP Lublin obserwowalne jest w przypadku wydzieleń powyżej 10 ha niedoszacowanie udziału gatunków liściastych na powierzchniach zdominowanych przez gatunki iglaste.

Analiza wydzieleń, na których według DLT obszary zadrzewione zajmują poniżej 20% powierzchni, wykazała, że spośród 154 wydzieleń spełniających to kryterium 88% (135 wydzieleń) to powierzchnie zrębowe, a pozostałe 12% (19 wydzieleń) to młode nasadzenia, szkółki leśne lub bagna. Wśród tych wydzieleń stwierdzono tylko jeden przypadek, gdzie według DLT w ogóle nie ma drzew, a w rzeczywistości występują tam nowe nasadzenia.

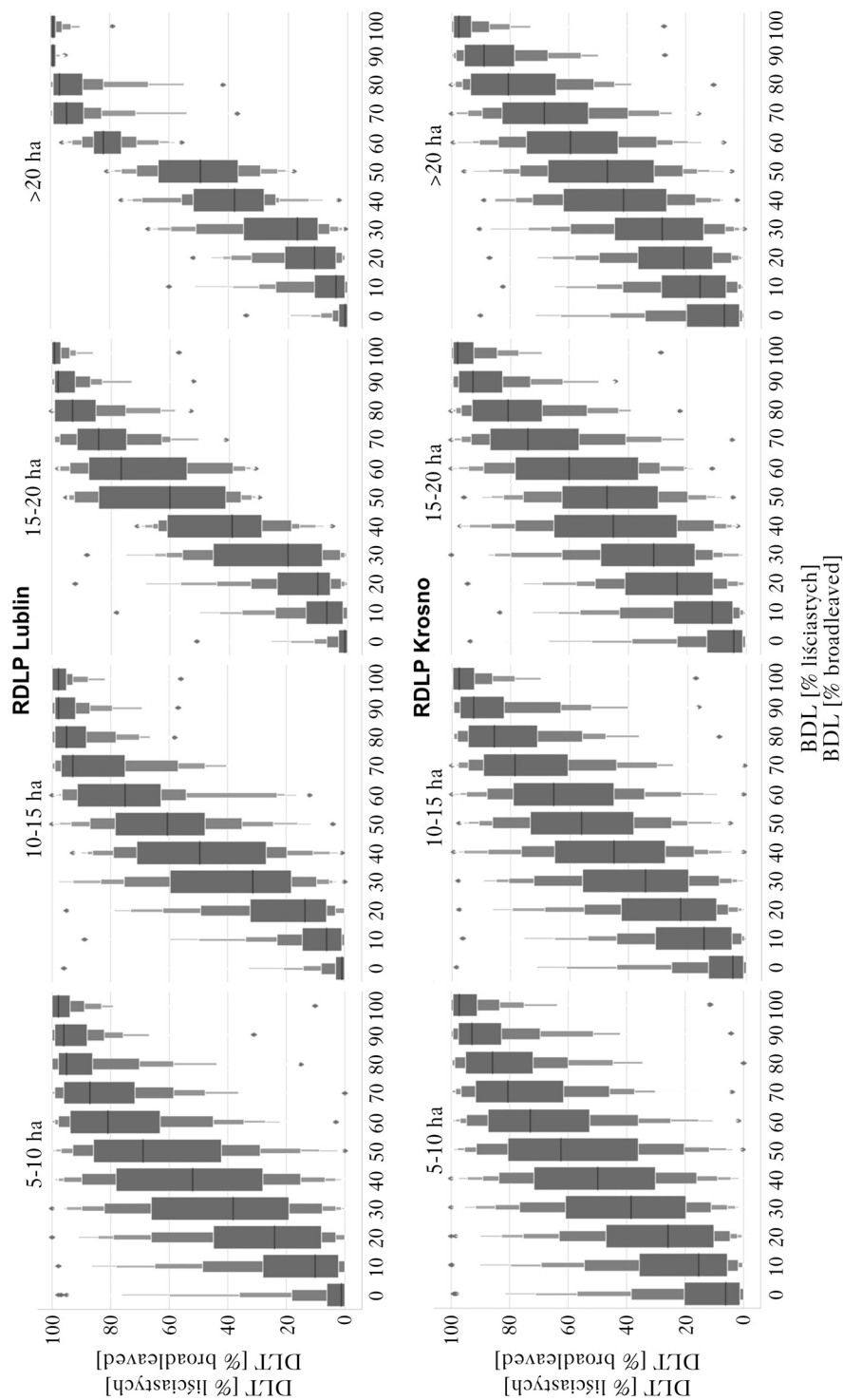
Dyskusja

Warstwa wysokorozdzielcza przedstawiająca dominujący typ drzewostanu stanowi w założeniach bogate źródło informacji o przestrzennym rozmieszczeniu drzewostanów liściastych i iglastych w skali wydzienia, oddziału, województwa czy kraju. Ponadto obejmuje swym zasięgiem lasy wszystkich form własności wraz z obszarami pokrytymi roślinnością drzewiastą, w tym sady, młodniki i zadrzewienia na obszarach miejskich. Tym samym zasięg warstwy DLT w dużym stopniu odpowiada definicji lasu zgodnej z zapisami Protokołu z Kioto [Report... 2006]. Korzystając z dostępnych w ramach programu Copernicus warstw wysokorozdzielczych dedykowanych lasom (stopień zwarcia koron drzewostanów, dominujący typ drzewostanu, typ lasu oraz warstw zmian), można przygotować produkt dostosowany do wymagań protokołu z Kioto czy definicji lasu według FAO [Forest... 2012]. Przykładowo warstwa TCD może zostać użyta do wyeliminowania powierzchni o zwarcu koron poniżej 10%, zaś warstwa FTY do usunięcia sadów i zadrzewień na obszarach miejskich.

Należy również pamiętać, że warstwy wysokorozdzielcze powstają w wyniku automatycznej klasyfikacji wieloczasowych, wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych, w związku z czym przedstawiają sytuację na gruncie w chwili rejestracji zobrazowań satelitarnych. Tym samym np. zręby całkowite, na których dominuje odbicie spektralne od gleby, klasyfikowane są jako tereny niezadrzewione. Stąd aż 88% analizowanych wydzieleń, na których dane DLT wykazują powyżej 80% obszarów niezadrzewionych, to w rzeczywistości powierzchnia leśna, na której prowadzona była ścinka drzew.

Jakościowa i ilościowa analiza dokładności warstwy DLT dla 2015 roku wykazała wysoki błąd pominięcia zadrzewień liściastych – 18,8%. Błąd ten wynika głównie z pominięć drzew owocowych (sadów) i szkółek leśnych, gdzie w wielu przypadkach nad odbiciem spektralnym od koron drzew dominuje odbicie spektralne od gleby.

Błędy nadmiaru w DLT związane były głównie z klasyfikacją zakrzaczonych ogródków działkowych, cmentarzy, terenów zakrzaczonych i kosodrzewiny. Obecność pikseli „miesz-



Ryc. 3.

Rozkład udziału [%] typów drzewostanu według DLT względem mapy drzewostanów w zależności od wielkości powierzchni wydzielenia
 Distribution of fraction [%] of stand types according to DLT relative to the size of the forest stand

nych”, charakterystycznych dla ogródków działkowych i cmentarzy, znacząco wpływa na wynik klasyfikacji. Błędna klasyfikacja kosodrzewiny i zakrzaczeń wynika natomiast z ich zbliżonej do lasów charakterystyki spektralnej.

Analiza porównawcza stopnia zmieszania drzewostanów potwierdziła wyraźne przeszacowanie powierzchni drzewostanów liściastych kosztem iglastych. Wynik ten może być związany z metodą i algorytmami wykorzystywanymi do klasyfikacji obrazów satelitarnych. Szczegółowy opis opracowania danych HRL DLT jest jednak niedostępny. Zastosowanie nowoczesnych klasyfikatorów opartych na sztucznej inteligencji oraz dostęp do najnowszych danych satelitarnych pozwala na uzyskanie coraz dokładniejszych wyników klasyfikacji typów lasów. Puletti i in. [2017] wykazali, że wykorzystanie wieloczasowych zdjęć Sentinel-2 umożliwia wykonanie klasyfikacji lasów w podziale na liściaste, iglaste i mieszane metodą Random Forest, z dokładnością równą odpowiednio 91, 85 i 83%. Wessel i in. [2018] wskazali metodę Support Vector Machine jako odpowiednią do klasyfikacji typów lasów z ogólną dokładnością równą 97%. Do testowania różnych metod klasyfikacji wykorzystali oni zdjęcia z satelity Sentinel-2 dla obszarów lasu Ebersberger (76 km²) i Freisinger (9 km²).

Wiele badań nad automatyczną klasyfikacją lasów dotyczy opracowań w skali lokalnej [Wessel i in. 2018], natomiast wyzwaniem są wciąż opracowania wielkopowierzchniowe – w skali regionu czy kraju [Fassnacht i in. 2016]. Najnowsze badania Hościło i Lewandowskiej [2019] potwierdziły potencjał wieloczasowych zdjęć z Sentinel-2 w klasyfikacji zarówno typów lasów w podziale na liściaste i iglaste, jak również głównych gatunków drzew w skali regionalnej. Autorki, wykorzystując algorytm Random Forest, wykonały klasyfikację lasów liściastych i iglastych na terenie Podhala i fragmentu Beskidów z dokładnością równą odpowiednio 94 i 95%. W badaniach tych zwrócono również uwagę na znaczenie jakości danych referencyjnych na wynik klasyfikacji. Wysoki stopień przeszacowania lasów liściastych kosztem lasów iglastych w DLT może być związany właśnie z jakością danych referencyjnych wykorzystanych do trenowania algorytmów uczących w skali kraju.

Na ograniczenie wykorzystywania warstw wysokorozdzielczych może wpływać trzyletni cykl ich generowania, który uniemożliwia ocenę zmian w krótszym okresie. Niekorzystne jest również opóźnienie związane z udostępnianiem danych użytkownikom – obecnie warstwy wysokorozdzielcze dostępne są dla lat 2012 i 2015. Należy również pamiętać, że warstwa DLT obejmuje wszystkie obszary pokryte roślinnością drzewiastą, w tym również obszary użytkowane na inne cele (parki miejskie, sady, zadrzewienia na terenach zurbanizowanych itp.), jednak nie uwzględnia zrębów, które wynikają z prowadzonej gospodarki leśnej. Powyższe ograniczenia mogą mieć wpływ na możliwości wykorzystania tych danych w procesie raportowania lesistości rzeczywistej, akumulacji węgla oraz zmian w lasach.

W kolejnym etapie pracy zasadne wydaje się wykonanie analizy dokładności warstwy określającej stopień zwarcia koron w skali kraju.

Podsumowanie

Do zalet warstw wysokorozdzielczych produkowanych w ramach europejskiego programu Copernicus należy ich dostępność, powtarzalność, bezpłatny dostęp, krajowy i paneuropejski zasięg (szczególnie ważne w przypadku badań transgranicznych) oraz wysoka rozdzielczość przestrzenna (20×20 m). Warstwy dedykowane lasom stanowią cenne źródło informacji o przestrzennym rozmieszczeniu oraz typie drzewostanu. HRL Forest mogą posłużyć jako dodatkowe źródło danych w procesie raportowania pochłaniania dwutlenku węgla, innych gazów cieplarnianych czy określania rzeczywistej lesistości kraju.

Na ograniczenie wykorzystania danych HRL wpływa obecność systematycznych błędów „nadmiarów” i „pominięć”. Podczas analizy warstw leśnych dla 2012 i 2015 roku zauważalna jest jednak znaczna poprawa jakości danych. W wielu przypadkach dane HRL są nieprzydatne ze względu na zbyt długi (trzyletni) cykl ich generowania (co uniemożliwia uchwycenie zmian pomiędzy krótszymi okresami) oraz opóźnienie w dostawie aktualniejszych danych.

Literatura

- Barbati A., Marchetti M., Chirici G., Corona P. 2014. European forest types and forest Europe SFM indicators: tools for monitoring progress on forest biodiversity conservation. *Forest Ecology and Management* 321: 145-157.
- Bengtsson J., Nilson S., Franc A., Menozzi P. 2000. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management* 132: 39-50.
- Fassnacht F. E., Latifi H., Stereńczak K., Modzelewska A., Lefsky M., Waser L. T., Straub C., Ghosh A. 2016. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 186: 64-87.
- Forest Resources Assessment. 2012. FAO Working Paper 180.
- Hofmann H., Wickham H., Kafadar K. 2017. Letter-Value Plots: Boxplots for Large Data. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 26 (3).
- Hościło 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.
- Hościło A., Mirończuk A. 2016. Europejski Program Obserwacji Ziemi Copernicus źródłem danych do ocen oddziaływania na środowisko. W: Nowak M. [red]. GIS i dane przestrzenne w ocenach oddziaływania na środowisko – podręcznik dobrych praktyk. Wydawnictwo Naukowe UAM 2016. 211-221.
- Instrukcja wykonywania wielkoobszarowej inwentaryzacji stanu lasu. 2014. Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary.
- Langanke T. 2018. Guidelines for verification of High Resolution Layers produced by the CLMS (Copernicus Land Monitoring Service) as part of the 2015 reference year production. Version 1.4. European Environment Agency.
- Laurin G. V., Puletti N., Hawthorne W., Liesenberg V., Corona P., Papale D., Chen Q., Valentini R. 2016. Discrimination of tropical forest types, dominant species, and mapping of functional guilds by hyperspectral and simulated multi-spectral Sentinel-2 data. *Remote Sensing of Environment* 176: 163-176.
- Naudts K., Chen Y., McGrath M. J., Ryder J., Valade A., Otto J., Luyssaert S. 2016. Europe's forest management did not mitigate climate warming. *Science* 351: 597-600.
- Puletti N., Chianucci F., Castaldi C. 2017. Use of Sentinel-2 for forest classification in Mediterranean environments. *Annals of Silvicultural Research* 42: 32-38.
- Report on the Determination of Poland's Assigned Amount under the Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. 2006. Republic of Poland.
- Sentinel-2 User Handbook. 2015. ESA Standard Document 1 (2).
- Vihervaara P., Auvinen A. P., Mononen L., Törmä M., Ahlroth P., Anttila S., Böttcher K., Forsius M., Heino J., Heliölä J. 2017. How essential biodiversity variables and remote sensing can help national biodiversity monitoring. *Global Ecology and Conservation* 10: 43-59.
- Waser L. T., Fischer C., Wang Z., Ginler C. 2015. Wall-to-wall forest mapping based on digital surface models from image-based point clouds and a NFI forest definition. *Forests* 6: 4510-4528.
- Wessel M., Brandmeire M., Tiede D. 2018. Evaluation of Different Machine Learning Algorithms for Scalable Classification of Tree Types and Tree Species Based on Sentinel-2 Data. *Remote Sensing* 10 (9) 1419: 1-21.
- Wieloobszarowa Inwentaryzacja Stanu Lasu w Polsce, wyniki za okres 2013-2017. 2018. BULiGL, Sękocin Stary.