

ENHANCING THE USER UPTAKE OF LAND COVER / LAND USE INFORMATION DERIVED FROM THE INTEGRATION OF COPERNICUS SERVICES AND NATIONAL DATABASES (InCoNaDa)

Deliverable 4.4

Produkty Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) i
ich potencjalny wkład w działania w ramach
„Porozumienia o ochronie różnorodności biologicznej”

Deliverable	D4.4		
Work Package / WP leader	4 / Institute of Geodesy and Cartography (IGIK)		
Due date	KO+18		
Authors	IGIK: Adam Waśniewski, Kornel Szubzda		
Distribution			NCBR:
Issue	01		
Revision			
Date	30.04.2024		

		InCoNaDa	Page 2
		D4.4	Date 30 Apr 2024

Spis treści

1.	Wstęp	3
2.	Globalne ramy bioróżnorodności.....	3
3.	Różnorodność biologiczna	5
4.	Copernicus Land Monitoring Service (CLMS).....	6
4.1	Program Copernicus.....	6
4.2	Warstwy wysokorozdzielcze (high resolution layers, HRL).....	6
4.2.1	Stopień nieprzepuszczalności gruntu (ang. Imperviousness density IMD).....	10
4.2.2	Tereny zadrzewione (ang. HRL Forest)	11
4.2.3	Tereny pokryte roślinnością trawiastą (ang. Grassland GRA).....	13
4.2.3	Zbiorniki wodne i obszary podmokłe (ang. Water and wetness WAW)	15
4.2.3	Zadrzewienia śródpolne - drzewa poza lasami (ang. Small Woody Features – SWF).....	16
5.	Ocena wkładu produktów CLMS w Porozumieniu o ochronie bioróżnorodności	18
5.1	Możliwości i ograniczenia	18
5.2	Wkład CLMS w Cele Porozumienia o Różnorodności Biologicznej	18
6.	Ocena dokładności warstw wysokorozdzielczych – High Resolution Layers (HRL)	19
6.1	Ocena produktów HRL	20
6.1.1	HRL Imperviousness	20
6.1.2	HRL Small Woody Features	21
6.1.3	HRL Water and Wetness	22
6.1.4	HRL Grassland	23
6.1.5	Audyty krajobrazowe	23
7.	Bibliografia	24
8.	Spis tabel	25
9.	Spis rysunków	26

		InCoNaDa	Page 3
		D4.4	Date 30 Apr 2024

1. Wstęp

Informacje geograficzne mogą przyczynić się na wiele sposobów do realizacji zobowiązań Polski wynikających z Porozumienia o ochronie bioróżnorodności, które zakłada powstrzymanie degradacji środowiska do 2050 roku (COP 15 – omówione w rozdziale 2). Teledetekcja satelitarna może dostarczać odpowiednie informacje w sposób skuteczny i opłacalny dla dużych obszarów. Niniejszy raport analizuje, w jaki sposób produkty z Copernicus Land Monitoring Service mogą przyczynić się do realizacji różnych celów Porozumienia o ochronie bioróżnorodności.

W porównaniu z wcześniejszymi produktami kartograficznymi opartymi na starszych sensorach, takich jak satelity Landsat czy SPOT, produkty CLMS stanowią znaczny postęp zarówno pod względem rozdzielczości przestrzennej, czasowej, spektralnej, jak i radiometrycznej. Na poziomie międzynarodowym produkty te w znacznym stopniu przyczynią się do stworzenia zharmonizowanej i kompleksowej bazy kartograficznej, która jest publicznie dostępna i regularnie aktualizowana. Na poziomie krajowym, mapy CLMS wykazują jednak szereg ograniczeń, głównie dlatego, że istniejące krajowe dane kartograficzne są bardziej dokładne i spełniają krajowe standardy oraz wymagania jakościowe. W związku z tym, w większości przypadków bardziej odpowiednie będzie wykorzystanie krajowych danych kartograficznych niż map CLMS. Dotyczy to również prac związanych z Porozumieniem o ochronie bioróżnorodności. Wyjątkiem są przypadki, gdy krajowe dane kartograficzne mają niepełne pokrycie geograficzne lub tematyczne. W takich sytuacjach mapy CLMS mogą uzupełniać krajowe zbiory danych i wypełniać istniejące luki. Ponadto istnieje kilka dodatkowych, specyficznych przypadków, w których mapy CLMS mogą stanowić wkład w prace związane z Porozumieniem o ochronie bioróżnorodności. Na przykład współpraca badawcza przekraczająca granice państw często wymaga bazy kartograficznej z jednolitymi systemami klasyfikacji i jakością danych. Analizy rozmieszczenia przestrzennego różnych typów siedlisk i ich wzajemnych powiązań to przykład, w którym mapy CLMS będą dobrze pasować. Również dla międzynarodowych raportów może być korzystne opieranie wybranych wskaźników na wspólnej europejskiej bazie kartograficznej, aby zapewnić porównywalne wyniki w różnych krajach.

Wspólnym problemem dla większości map jest częste błędne wyznaczanie terenów podmokłych i stref przejściowych między różnymi typami obszarów (strefy brzegowe). Wiele terenów podmokłych nie jest w ogóle uwzględnianych. Inne typy obszarów, które często sprawiają problemy, to pastwiska w górach i obszary lasów mieszanych. Ponadto, silne kontrasty świetlne, w postaci cieni w nierównym terenie i silne nasłonecznienie na zboczach gór, znacznie obniżają dokładność map HRL.

Niniejszy raport przede wszystkim analizuje wkład map Copernicus Land Monitoring Service na ogólnym poziomie, aby uzyskać pierwszy przegląd tematów, w których CLMS może stanowić odpowiednie źródło danych i opiera się na mapach CLMS opublikowanych przed 2020 rokiem. Zarówno metody przetwarzania obrazów, różne formy informacji pomocniczych, jak i same produkty CLMS są w ciągłym rozwoju. Dlatego zaleca się: kontynuowanie prac nad weryfikacją nowych i ulepszonych produktów, dalsze rozwijanie dokumentacji, rozwiązań dystrybucyjnych oraz dokonywanie dalszych ocen. Aby wyznaczyć jak mapy mogą być wykorzystywane w konkretnych zadaniach związanych celami szczegółowymi ochrony bioróżnorodności.

2. Globalne ramy bioróżnorodności

W grudniu 2022 roku przedstawiciele 188 krajów członkowskich ONZ przyjęli ramy „Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework”. Ramy te są międzynarodową umową w ramach Konwencji

		InCoNaDa	Page 4
		D4.4	Date 30 Apr 2024

Narodów Zjednoczonych o różnorodności biologicznej (CBD). Porozumienie Naturalne ma na celu przeciwdziałanie utracie przyrody na poziomie globalnym do 2050 roku. Porozumienie to zostało pierwotnie zaproponowane podczas Konferencji ONZ w sprawie różnorodności biologicznej (COP15) w Kunming w Chinach, a następnie formalnie przyjęte podczas kolejnych negocjacji w Montrealu w Kanadzie. Porozumienie ma na celu przyspieszenie, umożliwienie i mobilizację natychmiastowych i kompleksowych działań ze strony rządów, władz regionalnych i lokalnych, z pełnym zaangażowaniem społeczeństwa. Celem jest zatrzymanie i odwrócenie utraty różnorodności biologicznej oraz osiągnięcie głównych celów i założeń ramowych. W ten sposób porozumienie ma przyczynić się do realizacji czterech celów Konwencji o różnorodności biologicznej (ONZ 2022). Porozumienie Naturalne nie jest wiążącą umową, ale odgrywa ważną rolę w koordynowaniu międzynarodowych działań na rzecz ochrony różnorodności biologicznej oraz ułatwia współpracę i wymianę doświadczeń między krajami uczestniczącymi. Umowa ma służyć jako nadrzędny instrument do osiągania globalnych celów i integracji ochrony różnorodności biologicznej w politykach i praktykach w różnych sektorach. Porozumienie składa się z czterech nadrzędnych, długoterminowych i zorientowanych na wyniki głównych celów oraz 23 zadań. Oto najważniejsze cele porozumienia:

Ochrona co najmniej 50% powierzchni lądów i oceanów: Jednym z głównych celów jest zabezpieczenie co najmniej 50% powierzchni lądów i oceanów do 2050 roku. Jest to rozszerzenie wcześniejszego celu "30x30" (ochrona 30% powierzchni do 2030 roku), które ma na celu zapewnienie większej ochrony kluczowych ekosystemów na całym świecie.

Odbudowa 100% zdegradowanych ekosystemów: COP15 dąży do pełnej odbudowy wszystkich zdegradowanych ekosystemów do 2050 roku. Odbudowa tych ekosystemów jest kluczowa dla przywrócenia ich funkcji ekologicznych, takich jak magazynowanie węgla, zapewnienie siedlisk dla dzikich zwierząt i roślin oraz regulacja klimatu i wód.

Zmniejszenie negatywnych wpływów na różnorodność biologiczną: Konferencja stawia sobie za cel zmniejszenie negatywnych wpływów ludzkiej działalności na różnorodność biologiczną do 2050 roku. Dotyczy to m.in. redukcji zanieczyszczeń, zatrzymania utraty siedlisk naturalnych oraz zmniejszenia presji ze strony zmian klimatycznych i innych czynników.

Zrównoważone zarządzanie zasobami naturalnymi: W ramach COP15 dąży się do pełnego wdrożenia zrównoważonego zarządzania zasobami naturalnymi do 2050 roku. To obejmuje sektory takie jak rolnictwo, leśnictwo, rybołówstwo i turystyka, które muszą funkcjonować w zgodzie z ekosystemami, aby zapewnić ich długoterminową zdolność do dostarczania dóbr i usług ekosystemowych.

Oprócz czterech głównych celów, 23 cele pośrednie stanowią klarowny ramowy plan mający na celu zapewnienie ochrony i zrównoważonego użytkowania zasobów naturalnych na poziomie globalnym:

1. Zatrzymanie utraty siedlisk i odwrócenie degradacji
2. Zatrzymanie nadmiernej eksploatacji gatunków
3. Zrównoważone zarządzanie użytkowaniem ziem
4. Odbudowa i odnowa ekosystemów
5. Zapewnienie odpowiednich zasobów genetycznych dla przyszłych pokoleń
6. Zrównoważone rybołówstwo i ochrona morskich środowisk
7. Zrównoważone zarządzanie wodami powierzchniowymi i podziemnymi
8. Zrównoważone zarządzanie lasami i zwiększenie ich pokrywy
9. Ograniczenie zanieczyszczenia i jego negatywnego wpływu na różnorodność biologiczną

		InCoNaDa	Page 5
		D4.4	Date 30 Apr 2024

10. Zintegrowane zarządzanie obszarami chronionymi i obszarami istotnymi dla różnorodności biologicznej
11. Przeciwdziałanie wpływom zmian klimatu na różnorodność biologiczną
12. Przeciwdziałanie wpływom inwazyjnych obcych gatunków na różnorodność biologiczną
13. Wzmacnianie zdolności do zrównoważonego zarządzania różnorodnością biologiczną
14. Promowanie równości płci i integracji zagadnień dotyczących różnorodności biologicznej
15. Wzmacnianie roli młodzieży i dzieci w ochronie i promowaniu różnorodności biologicznej
16. Wspieranie tradycyjnych wiedzy i praktyk społeczności lokalnych i rdzennych
17. Uczenie się z doświadczeń dotyczących różnorodności biologicznej w kontekście globalnym
18. Promowanie zrównoważonego rolnictwa i zrównoważonego łańcucha dostaw
19. Integracja ochrony różnorodności biologicznej w sektorach gospodarczych
20. Zapewnienie odpowiednich zasobów finansowych na rzecz ochrony różnorodności biologicznej
21. Poprawa monitorowania, raportowania i oceny stanu różnorodności biologicznej
22. Wzmacnianie współpracy międzynarodowej w zakresie ochrony różnorodności biologicznej
23. Promowanie integracji ochrony różnorodności biologicznej z celami zrównoważonego rozwoju

3. Różnorodność biologiczna

Współczesne wyzwania związane z ochroną różnorodności biologicznej stawiają przed Polską i innymi krajami potrzebę efektywnego wykorzystania teledetekcji satelitarnej oraz informacji geograficznych. Te narzędzia są kluczowe w realizacji zobowiązań wynikających z Porozumienia o ochronie bioróżnorodności, zwłaszcza w kontekście monitorowania zmian środowiskowych na różnych skalach.

Różnorodność biologiczna obejmuje szeroki zakres zmienności życia na Ziemi, od różnic genetycznych gatunków po zróżnicowanie ekosystemów i siedlisk. Zgodnie z definicją Konwencji o różnorodności biologicznej (CBD), różnorodność jest to zmienność organizmów żywych ze wszystkich źródeł, w tym między innymi ekosystemów lądowych, morskich i innych ekosystemów wodnych oraz kompleksów ekologicznych, których są częścią; obejmuje to różnorodność w obrębie gatunku, pomiędzy gatunkami i ekosystemami.

W Polsce, jak i na całym świecie, istnieje potrzeba posiadania dokładnych i aktualnych danych geograficznych, które są kluczowe dla oceny stanu różnorodności biologicznej. Umieszczanie tych zasobów na mapie wymaga zaawansowanych technologii, w tym teledetekcji satelitarnej, aby dostarczać informacje na temat zmian w środowisku naturalnym. Pomimo postępów w technologii teledetekcyjnej, identyfikacja gatunków na poziomie satelitarnym pozostaje wyzwaniem ze względu na ograniczenia rozdzielczości. Wiele dzisiejszych badań koncentruje się na wykorzystaniu teledetekcji do oceny stanu i trendów ekosystemów, jednak ciągle istnieje potrzeba integracji danych satelitarnych z danymi terenowymi w celu uzyskania pełniejszego obrazu różnorodności biologicznej.

Essential Biodiversity Variables (EBV), zaproponowane przez Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network (GEO BON), są kluczowymi wskaźnikami, które umożliwiają monitorowanie różnorodności biologicznej na poziomie globalnym za pomocą danych teledetekcyjnych. Te zmienne skupiają się na strukturze siedlisk i funkcjach ekosystemów, a ich analiza pozwala na ocenę trendów i zmian w różnorodności biologicznej. W kontekście Polski, mapa różnorodności biologicznej musi uwzględniać różnorodne typy siedlisk, takie jak lasy, bagna, łąki czy tereny rolnicze. Teledetekcja satelitarna, dostarczając dane o zmianach w użytkowaniu ziemi, pozwala na śledzenie procesów degradacji środowiska oraz ocenę wpływu działalności ludzkiej na ekosystemy.

		InCoNaDa	Page 6
		D4.4	Date 30 Apr 2024

Podsumowując, teledetekcja satelitarna i dane geograficzne są kluczowymi narzędziami wspierającymi ochronę różnorodności biologicznej. Ich rozwój i integracja z innymi źródłami danych są niezbędne do skutecznego zarządzania zasobami przyrody i realizacji międzynarodowych zobowiązań dotyczących ochrony środowiska naturalnego. Jest to szczególnie istotne w kontekście zrównoważonego rozwoju oraz długoterminowego planowania ochrony bioróżnorodności na całym świecie.

4. Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)

4.1 Program Copernicus

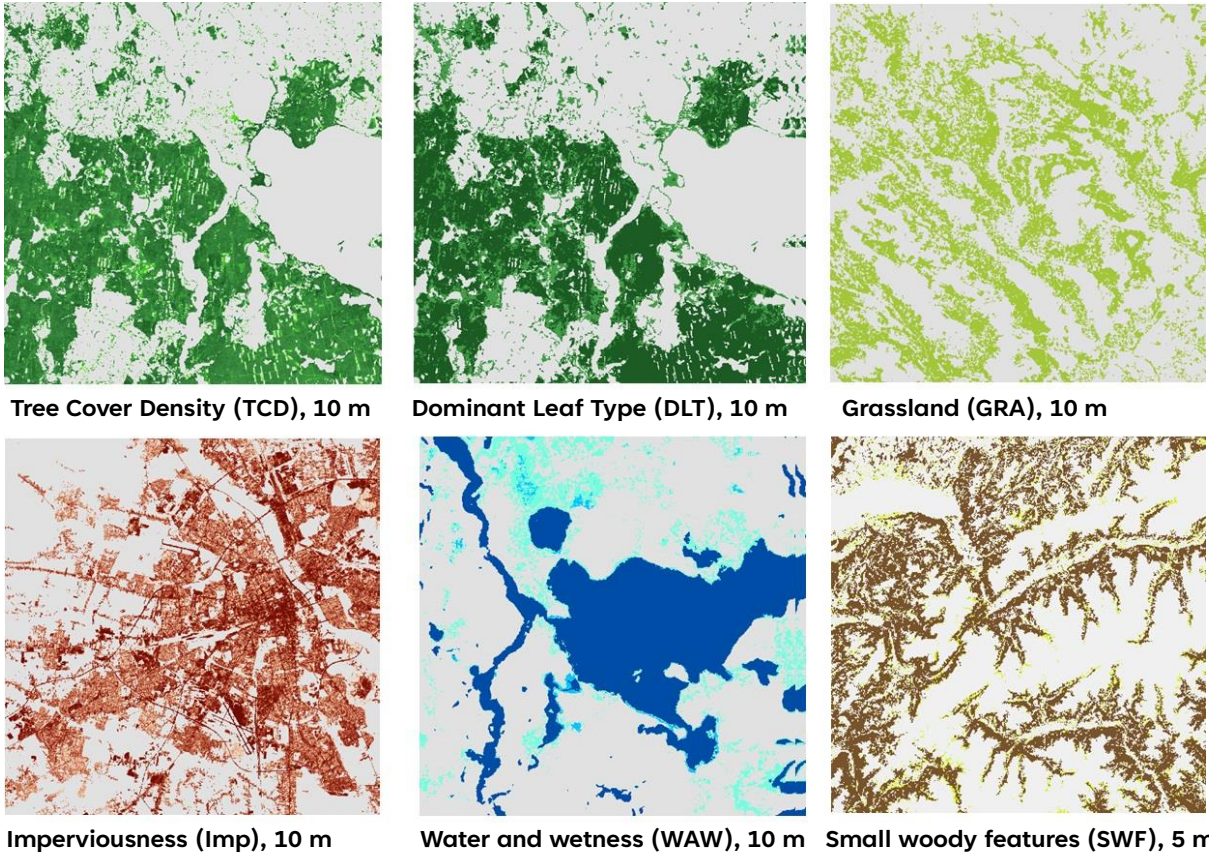
Program kosmiczny Copernicus, stworzony przez Unię Europejską oraz Europejską Agencję Kosmiczną (ESA), ma na celu monitorowanie Ziemi oraz jej dynamicznych zmian poprzez dostarczanie zdjęć satelitarnych i danych geograficznych. Copernicus oferuje usługi w sześciu głównych obszarach tematycznych: zarządzanie kryzysowe, środowisko lądowe, atmosfera, klimat, bezpieczeństwo społeczne oraz środowisko morskie. Niniejszy raport skupia się na aspekcie programu dotyczącym monitorowania terenów lądowych. Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) został utworzony w 2012 roku i jest zarządzany przez Europejską Agencję Środowiska (EEA) oraz Wspólne Centrum Badawcze Komisji Europejskiej (JRC). Przy użyciu teledetekcji satelitarnej w CLMS gromadzone są dane na temat powierzchni ziemi i jej zmian w czasie. Jedną z kluczowych funkcji CLMS jest dostarczanie regularnych i aktualnych produktów oraz usług monitorujących dla użytkowników, którymi są naukowcy, zarządcy i inni decydenci.

CLMS wykorzystuje zarówno optyczne, jak i radarowe sensory do zbierania informacji o pokryciu i użytkowaniu terenu. Sensory optyczne to systemy pasywne, które rejestrują światło widzialne i promieniowanie podczerwone, podczas gdy sensory radarowe to systemy aktywne, które wysyłają sygnały radarowe mogące przenikać przez chmury i obserwować ziemię niezależnie od warunków pogodowych. Satelity Sentinel, działające od 2014 roku, stanowią centralny element programu Copernicus. CLMS łączy dane z różnych satelitów i źródeł, aby tworzyć bardziej kompleksowe i wiarygodne analizy powierzchni ziemi. Oprócz surowych danych, CLMS oferuje również szereg gotowych warstw map na poziomie europejskim. CORINE Land Cover (CLC) jest jednym z najbardziej znanych produktów. CLC został zainicjowany w 1985 roku i od tego czasu przeszedł wiele aktualizacji i ulepszeń. Między innymi rozdzielczość przestrzenna wzrosła z początkowych 100 m do 10 m obecnie. Ponadto Copernicus dostarcza kilka wysokorozdzielczych map dotyczących różnych tematów oraz trzy warstwy wektorowe systemów rzecznych (Riparian zones), obszarów miejskich (Urban Atlas) i obszarów chronionych (Natura 2000).

4.2 Warstwy wysokorozdzielcze (high resolution layers, HRL)

High Resolution Layers (HRL) to szczegółowe warstwy tematyczne bezpośrednio wywodzące się z danych surowych. Mapy tematyczne są w pełni przetworzone i ich rozdzielczość przestrzenna wynosi 10 m (z wyjątkiem jednej warstwy o rozdzielczości 5 m). CLMS wykorzystuje informacje z satelitów Sentinel, szczególnie Sentinel-1, Sentinel-2 i częściowo Sentinel-3, do generowania map tematycznych (Boniface i in. 2021). Satelita Sentinel-2 dostarcza obrazy optyczne o rozdzielczości do 10 metrów, co umożliwia rozróżnienie różnych klas użytkowania terenu, takich jak lasy, wody, tereny rolnicze i obszary miejskie, z dużą szczegółowością. Satelita Sentinel-1 dostarcza obrazy radarowe, które mogą dostarczać informacji o strukturze terenu, gęstości roślinności i zmianach powierzchni ziemi, nawet przy zachmurzeniu lub w nocy. Sentinel-3 wykorzystuje zarówno obrazy optyczne, radarowe, jak i dane altimetryczne, dostarczając informacji między innymi o temperaturze powierzchni ziemi, pokrywie

lodowej i albedo. Łącząc dane z różnych satelitów, produkowane są HRL, które dostarczają szczegółowych map powierzchni ziemi oraz jej zmian w czasie. Rysunek 1 ilustruje sześć HRL dostępnych w ramach programu Copernicus, które będą omawiane szczegółowo w niniejszym raporcie.



Rysunek 1: Mapy HRL pochodzące z surowych danych z satelitów Sentinel. Mapy są w pełni dostępne dla obszaru Europy w rozdzielczości przestrzennej 10 metrów (z wyjątkiem SWF 5 m).

Celem HRL jest zapewnienie użytkownikom dostępu do dokładnych, niezawodnych i znormalizowanych informacji geograficznych, które mogą być łatwo wykorzystane do różnych celów, takich jak planowanie przestrzenne, monitorowanie zmian krajobrazu, zarządzanie kryzysowe i zarządzanie zasobami naturalnymi. Tabela 1 przedstawia zestawienie dostępnych warstw HRL dla poszczególnych lat.

Tabela 1: Zestawienie dostępnych warstw szczegółowych HRL dla kolejnych okresów referencyjnych 2012-2015-2018. W przypadku stopnia nieprzepuszczalności gruntu pierwsze dane przygotowano dla roku 2006.

	Rok referencyjny (rozdzielczość przestrzenna)		
	2012 (20 m)	2015 (20 m)	2018 (10 m / 20 m)
Tereny nieprzepuszczalne (Imperviousness)	Stopień nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree IMD) Zmiana stopnia nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree Change IMC) Zmiana stopnia nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree Change Classified IMCC)	Stopień nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree IMD) Zmiana stopnia nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree Change IMC) Zmiana stopnia nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree Change Classified IMCC)	Stopień nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree IMD, 10 m) Zmiana stopnia nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree Change IMC, 20 m) Zmiana stopnia nieprzepuszczalności (Imperviousness Degree Change Classified IMCC, 20 m)
Tereny zadrzewione (Forest)	Zwarcie koron (Tree Cover Density TCD) Dominujący typ drzewostanu (Dominant Leaf Type DLT) Typ lasu (Forest Type FTY) Warstwa dodatkowa (Forest Additional Support Layer FADSL)	Zwarcie koron (Tree Cover Density TCD) Dominujący typ drzewostanu (Dominant Leaf Type DLT) Typ lasu (Forest Type FTY) Zmiana zwarcia koron (TCD Change 2012-2015 TCDC, 100 m) Zmiana typu drzewostanu (Leaf Type Change DLTC) Warstwa dodatkowa (Forest Additional Support Layer FADSL)	Zwarcie koron (Tree Cover Density TCD, 10 m) Dominujący typ drzewostanu (Dominant Leaf Type DLT, 10 m) Typ drzewostanu (Forest Type FTY, 10 m) Zmiana zwarcia koron (TCD Change TCDC, 20 m) Zmiana typu drzewostanu (Leaf Type change DLTC, 20 m)
Tereny pokryte roślinnością trawiastą (Grassland)	Brak danych	Roślinność trawiasta (Grassland GRA) Wskaźnik prawdopodobieństwa (Grassland Vegetation Probability Index GRAVPI) - Produkt ekspercki Wskaźnik orki (Ploughing Indicator PLOUGH) - Produkt ekspercki	Roślinność trawiasta (Grassland GRA, 10 m) Zmiana zasięgu roślinności trawiastej (GRA Change GRAC, 20 m) Wskaźnik prawdopodobieństwa (Grassland Vegetation Probability Index GRAVPI, 10 m) - Produkt ekspercki Wskaźnik orki (Ploughing Indicator PLOUGH, 10 m) - Produkt ekspercki

Zbiorniki wodne i obszary podmokłe (Water & Wetness WAW)	Brak danych	WAW w podziale na 4 klasy: Wody stałe (Permanent water) Wody okresowe (Temporary water) Trwale wilgotne obszary (Permanently wet) Okresowo wilgotne obszary (Temporary wet) Wskaźnik prawdopodobieństwa WAW (Water & Wetness Probability Index WWPI)	WAW w podziale na 4 klasy: Wody stałe (Permanent water) Wody okresowe (Temporary water) Trwale wilgotne obszary (Permanently wet) Okresowo wilgotne obszary (Temporary wet) Wskaźnik prawdopodobieństwa WAW (Water & Wetness Probability Index WWPI, 10 m)
Zadrzewienia śródpolne (Small Woody Features)	Brak danych	Zakrzaczenia i zadrzewiania śródpolne (Small Woody Features SWF, 5 m i 100 m)	SWF 2018 oficjalnie wciąż niedostępna

W kontekście danych teledetekcyjnych ważne jest podkreślenie, że „wysoka rozdzielczość” to pojęcie względne. Na poziomie globalnym rozdzielczość przestrzenna 10 metrów jest często uważana za wysoką, podczas gdy na poziomie regionalnym lub krajowym jest stosunkowo niska, szczególnie w porównaniu z innymi danymi kartograficznymi dostępnymi dla tego samego obszaru geograficznego. Ważne jest, aby rozdzielczość była dostosowana do celu analizy.

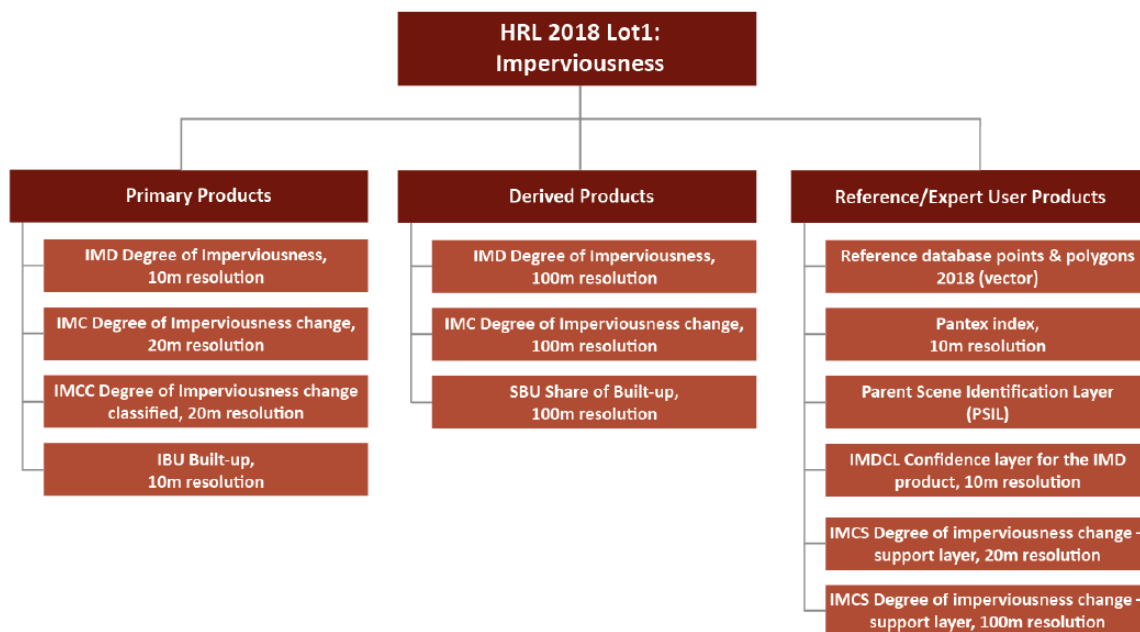
Termin rozdzielczości obejmuje właściwie cztery różne typy rozdzielczości:

- Rozdzielczość przestrzenna odnosi się do wielkości piksela, którego sensor używa do obrazowania powierzchni Ziemi. Na przykład rozdzielczość 10 metrów oznacza, że każdy piksel pokrywa obszar 10x10 metrów na powierzchni Ziemi. Im większe piksele, tym większy obszar pokrywa każdy piksel, ale tym mniej szczegółów może on odwzorować.
- Rozdzielczość spektralna opisuje zdolność sensora do rejestrowania różnych części spektrum światła. Sentinel-2 nazywany jest sensorem multispektralnym, ponieważ rejestruje zarówno światło widzialne (niebieskie, zielone, czerwone), jak i niewidzialne (podczerwone).
- Rozdzielczość radiometryczna opisuje, ile informacji sensor (a tym samym każdy pojedynczy piksel) może maksymalnie odwzorować. Na przykład rozdzielczość radiometryczna 8 bitów oznacza, że każdy piksel może mieć wartość cyfrową w zakresie od 0 do 255 (256 wartości). W obrazie w skali szarości odpowiada to liczbie odcieni szarości w obrazie.
- Rozdzielczość czasowa odnosi się do częstotliwości rejestracji obrazu przez sensor, czyli jak często sensor przelatuje nad tym samym miejscem i robi zdjęcia. Na przykład Sentinel-2 ma rozdzielczość czasową 5 dni, co oznacza, że każdy obszar na powierzchni Ziemi jest fotografowany co 5 dni pod tym samym kątem.

4.2.1 Stopień nieprzepuszczalności gruntu (ang. Imperviousness density IMD)

Degree of Imperviousness 2018 (IMD)

IMD2018 oferuje szeroką gamę dodatkowych produktów (Rysunek 2). Produkt IMD2018 został opracowany na podstawie klasyfikacji danych z misji Sentinel-2 oraz Sentinel-1. W obszarach o zróżnicowanej rzeźbie terenu nie wykorzystywano danych radarowych.



Rysunek 2: Produkty HRL Imperviousness 2018 (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot1: Imperviousness 2018, Imperviousness Change 2015-2018 and Built-up 2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen)

IMD ilustruje stopień nieprzepuszczalności gruntu na poziomie piksela w skali ciągłej od 0 do 100%. Obszary niezabudowane (przepuszczalne) mają wartość IMD = 0%, natomiast obszary zabudowane w różnym stopniu mogą mieć wartości od 1% do 100%. Tabela 2 zawiera elementy włączone i wyłączone z IMD.

Tabela 2: Elementy włączone/wyłączone z produktu Imperviousness Degree 2018 (IMD) (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot1: Imperviousness 2018, Imperviousness Change 2015-2018 and Built-up 2018. User Manual, Document version 1.0, EEA, Copenhagen)

Elementy włączone w skład IMD	Elementy wyłączone ze składu IMD
• Zabudowane i niezabudowane obszary komunikacyjne, • Drogi, • Obszary mieszkalne (rozproszone domy), • Domy jednorodzinne, • Tory kolejowe połączone z innymi nieprzepuszczalnymi powierzchniami (np. wewnątrz obszaru zabudowanego), • Obszary przemysłowe, handlowe, fabryki, zakłady produkcji i dystrybucji energii,	• Wysypiska śmieci, • Tory kolejowe niezwiązane z innymi powierzchniami nieprzepuszczalnymi (tj. poza obszarem zabudowanym), • Nietrwałe szklarnie (czasowe pokrycie plastikiem), • Obszary słabo porośnięte roślinnością, obszary bez roślinności, • Niezabudowane pola rolne, grunty orne, • Naturalne, sztuczne i uprawiane obszary pokryte roślinnością,

• Place budowy z dostrzegalnymi obiektami zabudowanymi, • Boiska sportowe pokryte sztuczną trawą, • „Zielone” dachy, • Stałe szklarnie (przykryte przez cały rok), • Wybrukowane obrzeża brzegów wód, • Niezabudowane powierzchnie uszczelnione, będące częścią kategorii, takie jak np. ogrody działkowe, cmentarze, tereny sportowe i rekreacyjne, pola namiotowe, z wyłączeniem terenów zielonych z nimi związanych, • Parki paneli słonecznych.	• Powierzchnie trawiaste wykorzystywane do uprawiania wszelkiego rodzaju sportów, • Kopalnie, kamieniołomy, obszary wydobywania torfu, • Lodowce, śnieg, woda, • Winnice, plantacje owoców, • Piasek, piaskownice, • Place budowy bez widocznych, rozwijających się zabudowanych struktur.
---	---

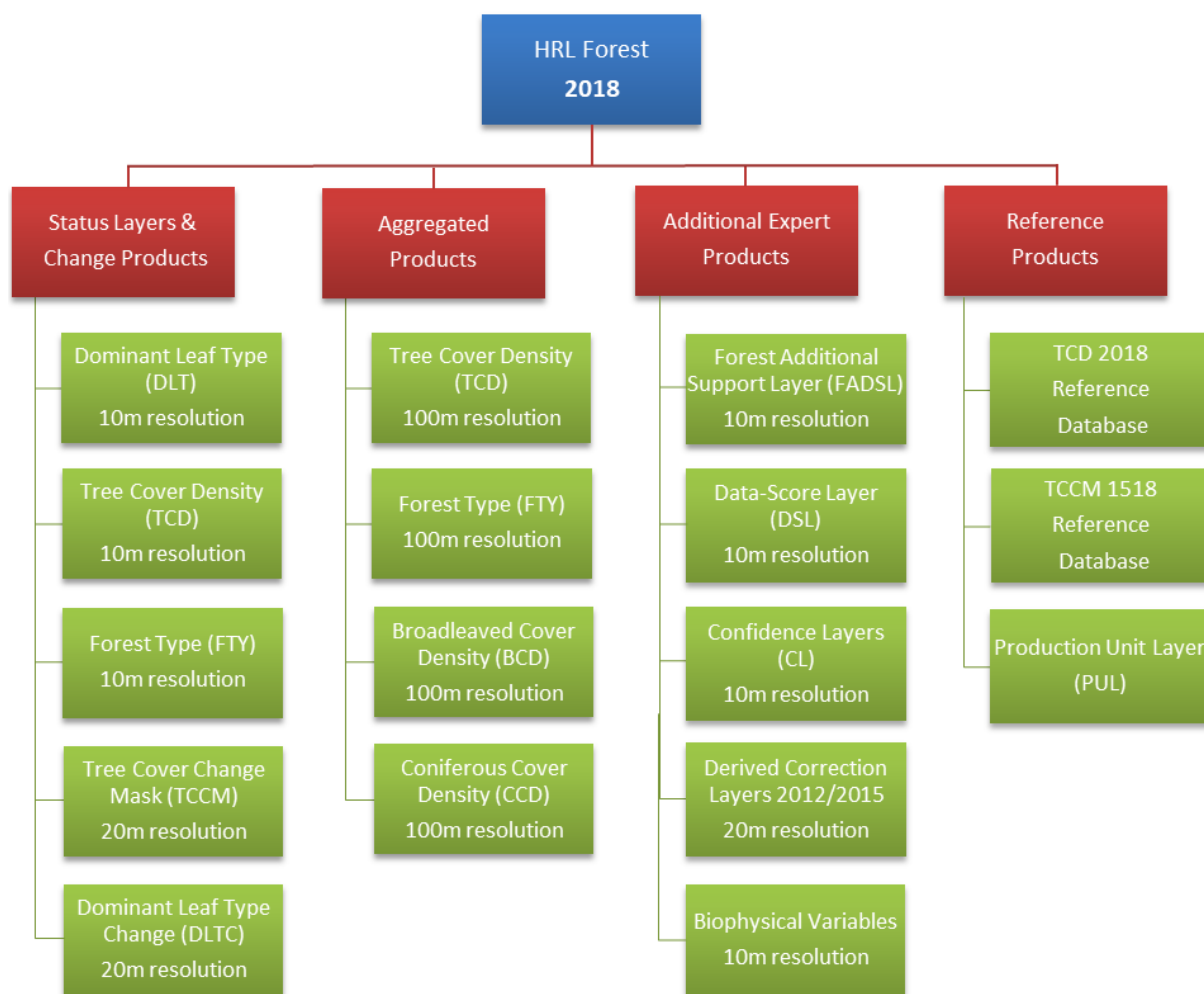
IMD jest dostępne dla lat 2006, 2009, 2012 i 2015 w rozdzielczości przestrzennej 20 m i 100 m, a dla roku 2018 w rozdzielczości 10 m. Zmiany stopnia nieprzepuszczalności (Imperviousness Change IMC) są dostępne dla okresów 2006-2009, 2009-2012, 2012-2015 oraz 2006-2012 w rozdzielczości przestrzennej 20 m. Wszystkie te produkty są udostępniane w formacie rastrowym.

4.2.2 Tereny zadrzewione (ang. HRL Forest)

Wraz z poprawą przestrzennej rozdzielczości danych satelitarnych i postępami technologicznymi, rośnie liczba produktów tworzonych w różnych grupach tematycznych. Na przykład, Rysunek 2 pokazuje dostępne produkty w ramach HRL Forest dla roku 2018. Produkty te zostały opracowane na podstawie wieloczasowych obrazów satelitarnych Sentinel-2, zarejestrowanych w okresie od 1 marca 2018 do 31 października 2018. Dodatkowo wykorzystano lotnicze ortofotomapy, bazy danych LUCAS 2018 (Land Use and Cover Area frame Survey), dostępne Open Street Map (OSM), HRL2015 oraz obrazy satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej. W przypadku HRL 2015, głównym źródłem danych były obrazy z satelity Landsat-8.dane Land-Parcel Identification System (LPIS), Open Street Map (OSM), HRL2015 oraz obrazy satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej.

W przypadku HRL 2015, głównym źródłem danych były obrazy z satelity Landsat-8. Parametry techniczne warstw TCD, DLT i FTY dla roku 2018:

- Format danych – rastrowy
- Rozdzielczość przestrzenna – 10 metrów
- TCD i DLT - brak minimalnej jednostki mapowej (MMU)
- Produkty TCD oraz DLT obejmują ten sam zakres przestrzenny
- Precyzja geometryczna produktu – poniżej pół piksela
- Spójne zobrazowanie wieloczasowe: 01.03.2018 – 31.10.2018
- Minimalna szerokość jednostki mapowej (MMW) – 10 metrów
- FTY minimalna jednostka mapowa – 0,5 hektara



Rysunek 3: Produkty HRL Forest 2018 (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Tree-cover/forest and change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).

Forest type 2018 (FTY)

Produkt **FTY** nie pokrywa się zasięgiem z TCD, ale jest zgodny z definicją lasu według Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO). Zgodnie z tą definicją, minimalna jednostka mapowania wynosi 0,5 ha. Z FTY wyłączone są lasy przeznaczone lub wykorzystywane na cele rekreacyjne oraz tereny zagospodarowane rolniczo, takie jak sady i plantacje roślin drzewiastych.

Dominant Leaf Type 2018 (DLT)

Produkt **DLT** dostarcza informacji o dominującym typie drzewostanu, rozróżniając drzewostany liściaste i iglaste. Tematyczny zakres produktu DLT jest taki sam jak w przypadku produktu TCD, a jego zakres przestrzenny jest identyczny z TCD. DLT jest dostępne w formacie rastrowym i obejmuje następujące klasy: kl=0 - tereny bezdrzewne, kl=1 - drzewa liściaste, kl=2 - drzewa iglaste, kl=3 - piksele niesklasyfikowane (brak danych satelitarnych, chmury, cienie chmur, śnieg).

Tree Cover Density 2018 (TCD)

Produkt **TCD** definiuje się jako „pionowy rzut koron drzew na poziomą powierzchnię Ziemi”, dostarczając informacji o stopniu pokrycia „piksela” koronami drzew w skali ciągłej od 0 do 100%. Podczas analizy danych TCD istotne jest uwzględnienie elementów krajobrazu, które zostały włączone

lub wyłączone z TCD. Tabela 3 przedstawia zestaw elementów włączone oraz wyłączonych z produktu Tree Cover Density 2018.

Tabela 3: Elementy włączone/wyłączone z produktu Tree Cover Density 2018 (TCD) (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Tree-cover/forest and change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).

Elementy włączone w TCD	Elementy wyłączone z TCD
• Sady, gaje oliwne, plantacje owoców i innych drzew, obszary rolno-leśne, szkółki leśne, lasy w fazie regeneracji oraz stanie zmian • Skupiska drzew liściastych i iglastych • Grupy drzew na obszarach miejskich (aleje, zadrzewione parki oraz ogrody) • Obszary szkód wewnątrz lasów (obszary lasów częściowo spalonych, tereny uszkodzeń spowodowanych przez szkodniki) • Elementy infrastruktury leśnej (drogi leśne, pasy przeciwpożarowe)	• Zakrzaczenia, • Otwarte tereny w lasach (drogi, zręby zupełne, obszary całkowicie wypalone) • Winnice • Kosówka

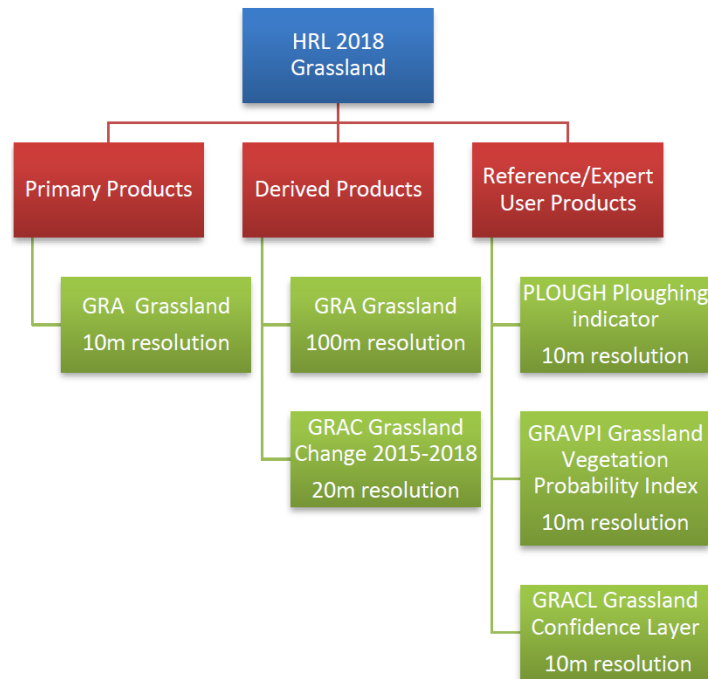
4.2.3 Tereny pokryte roślinnością trawiastą (ang. Grassland GRA)

Warstwa GRA udostępniana jest w formacie rastrowym, gdzie klasa 1 oznacza tereny trawiaste, a klasa 0 – obszary inne. W ramach HRL Grassland 2018 dostępne są trzy grupy produktów:

1. **Grassland (GRA)** – w rozdzielczości przestrzennej 10 m i 100 m,
2. **Zmiany 2015-2018 (Grassland-change 2015-2018, GRAC),**
3. **Grassland Vegetation Probability Index (GRAVPI), Ploughing Indicator (PLOUGH) i Grassland Confidence Layer (GRACL)** – wszystkie w rozdzielczości przestrzennej 10 m.

Dla HRL Grassland 2015 dostępne są produkty podobne do tych w GRA2018, jednak w niższej rozdzielczości przestrzennej 20 m, a produkt Grassland Confidence Layer (GRACL) nie jest dostępny.

Przez powierzchnię trawiastą rozumie się roślinność zielną z co najmniej 30% pokryciem gruntu. W celu wykluczenia powierzchni na których prowadzone był zabiegi związane z orką, przygotowano warstwę PLOUGH 2018, która przechowuje informacje o użytkach zielonych, które zostały zaorane w latach 2016 i 2017. Rysunek 4 prezentuje portfolio produktów związanych z GRA2018.



Rysunek 4: Produkty HRL Grassland-2018 (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Grassland 2018 and Grassland change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).

Warstwa GRA 2018 została opracowana dzięki synergii danych optycznych z satelitów Sentinel-2 oraz danych radarowych z satelitów Sentinel-1, zarejestrowanych od marca do października 2018 roku. W produkcji GRA2018 wykorzystano również dane pomocnicze, takie jak informacje z bazy LUCAS, LPIS, OSM, a także dane satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej (VHR). Warstwa GRA obejmuje obszary pokryte roślinnością trawiastą, w tym łąki naturalne i użytkowane, jak również tereny trawiaste w miastach (Tabela 4).

Tabela 4: Elementy włączone/wyłączone z produktu Grassland 2018 (GRA) (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Grassland 2018 and Grassland change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).

Elementy włączone w GRA	Elementy wyłączone z GRA
• Wrzosowiska z wysokim pokryciem trawą, maksymalnie 10% pokrycia innego niż trawa • Naturalne, półnaturalne, rolnicze/zagospodarowane powierzchnie pokryte trawą • Użytki zielone w obszarach miejskich: parki, miejskie tereny zielone w obszarach mieszkalnych i przemysłowych, boiska sportowe, pola golfowe • Tereny trawiaste z rozproszonymi drzewami i krzewami pokrywającymi maksymalnie 10% powierzchni • Nadbrzeżne obszary trawiaste • Słabo zarośnięte murawy (>30% pokrycia roślinnością) • Naturalne łąki na terenach wojskowych	• Trawy na świeżych (i starszych) zrębach w lasach • Torfowiska • Winnice, sady, gaje oliwne • Roślinność zdominowana przez wysokie rośliny zielne, paprocie i krzewy, • Trawiaste pola, które zostały zaobserwowane jako uprawiane • Pola ryżowe

4.2.4 Zbiorniki wodne i obszary podmokłe (ang. Water and wetness WAW)

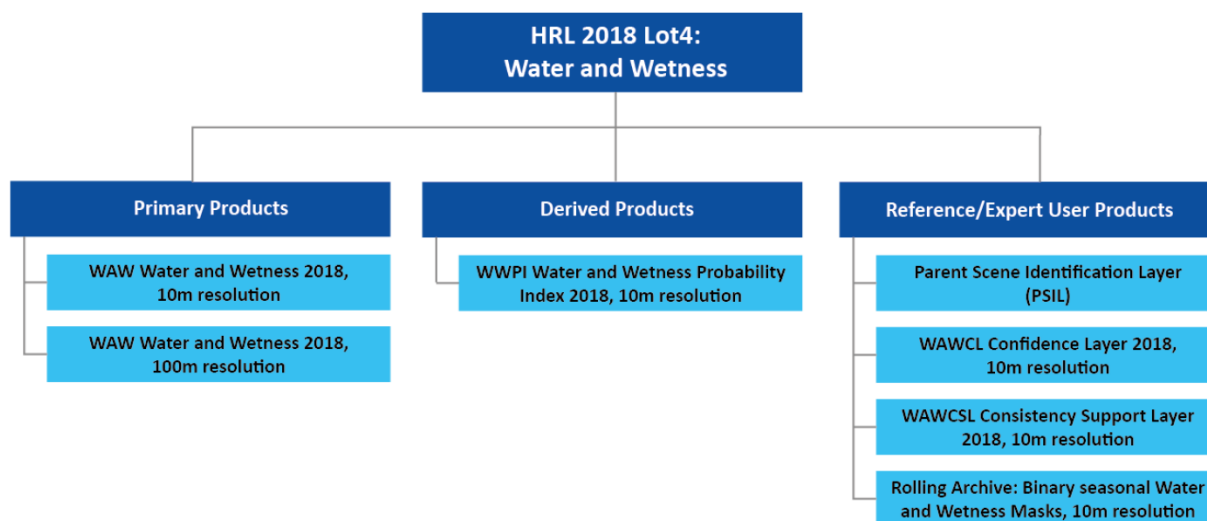
Warstwa tematyczna WAW, przedstawiająca zasięg zbiorników wodnych i obszarów podmokłych, jest dostępna dla lat 2015 i 2018. WAW podzielona jest na cztery klasy:

1. zbiorniki wodne (permanent water), obejmujące stałe jeziora śródlądowe, rzeki oraz naturalne i sztuczne stawy,
2. wody okresowe (temporary water),
3. obszary trwale wilgotne (permanent wet), do których należą obszary stałe podmokłe oraz tereny torfowe,
4. obszary okresowo wilgotne (temporary wet), oraz klasa 0 obszary suche (dry).

Dla roku 2015 dostępne są produkty: Water and Wetness 2015 (WAW) o rozdzielczości przestrzennej 20 m i 100 m oraz Water and Wetness Probability Index 2015 o rozdzielczości 20 m. WAW 2015 został opracowany na podstawie danych optycznych z misji Landsat z lat 2009-2015, a także z wykorzystaniem danych z misji Sentinel-1, SPOT i IRS.

Water and Wetness 2018 (WAW)

W przypadku WAW2018, zestaw produktów jest znacznie bogatszy (Rysunek 5). Przy opracowywaniu WAW2018, korzystano z danych zarejestrowanych w okresie 2012-2018, obejmujących głównie dane Landsat-5, -7, i -8 dla lat 2012-2015 oraz serie czasowe Sentinel-2 i Sentinel-1 z lat 2016-2018. Warstwa WAW2018 jest udostępniana w formacie rastrowym o rozdzielczości przestrzennej 10 m.



Rysunek 5: Produkty HRL Water and Wetness 2018 (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot4: Water and Wetness 2018. User Manual, Document version 5.0, EEA, Copenhagen).

Zakres elementów włączonych i wyłączonych w warstwie WAW przedstawiono w Tabeli 5

Tabela 5: Elementy włączone/wyłączone z produktu *Water and Wetness 2018 (WAW)* (źródło: CLMS 2020. *Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot4: Water and Wetness 2018. User Manual, Document version 5.0, EEA, Copenhagen*).

Elementy włączone w WAW	Elementy wyłączone z WAW
• Stałe jeziora, stawy i rzeki, • Tymczasowe otwarte zbiorniki wodne (w tym rzeki z okresowymi zmianami poziomu wody oraz zmieniające się poziomy jezior i zbiorników), • Obszary czasowo zalane (spowodowane topnieniem śniegu, powodzią lub deszczem), • Mokre pola uprawne, w tym pola ryżowe i obszary podmokłe, • Przejściowe przybrzeżne partie wód (laguny, estuaria)	• Morza i oceany • Stały śnieg i lodowce

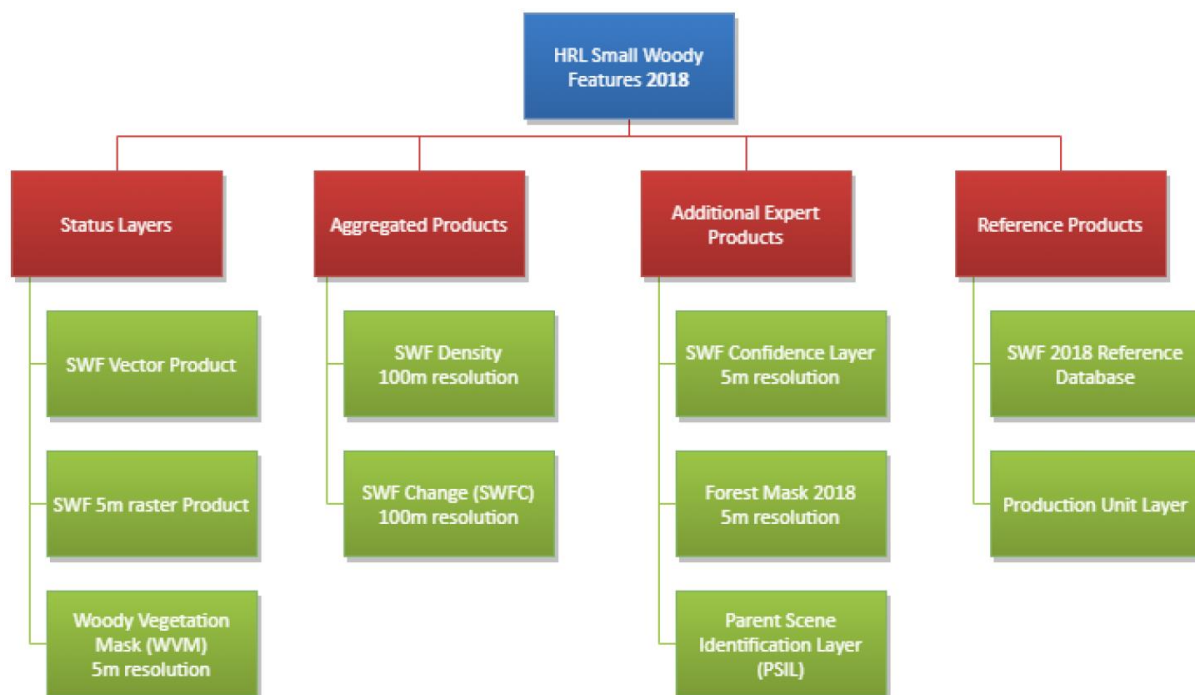
4.2.5 Zadrzewienia śródpolne - drzewa poza lasami (ang. Small Woody Features – SWF)

Small Woody Features 2015 (SWF2015)

Użytkownicy mają oficjalny dostęp do danych SWF dla roku 2015. SWF to stosunkowo nowy produkt CLMS, który dostarcza zharmonizowanych informacji na temat grup drzew oraz struktur liniowych, takich jak żywopłoty i szpalery drzew (o powierzchni od 200 m² do 5000 m²). SWF2015 jest dostępne w formacie wektorowym, podzielone na trzy klasy (1: Linear, 2: Patchy, 3: Additional Woody Features - AWF) oraz w formacie rastrowym o rozdzielczości przestrzennej 5 m i 100 m, z podziałem na 1: SWF i 2: AWF. Do produkcji SWF2015 wykorzystano dane satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej, takie jak Pleiades 1A/B, WorldView-2, WorldView-3, GeoEye-1, Deimos-2 oraz Spot6/7, pozyskane dla roku referencyjnego 2015 (+/-1 rok).

Small Woody Features 2018 (SWF2018)

Rysunek 6 przedstawia zestaw produktów oferowanych w ramach SWF2018. Warto zauważyć, że w odróżnieniu od SWF2015, SWF2018 nie dokonuje podziału na elementy liniowe i nieliniowe. Dodatkowo, dostępna jest maska lasów (Woody Vegetation Mask - WVM), stworzona na podstawie produktów HRL-TCO 2018 oraz CLC 2018.



Rysunek 6: Produkty HRL Small Woody Features 2018 (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Small Woody Features 2018 and Small Woody Features Changes 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).

SWF2018 nie został dotychczas oficjalnie udostępniony użytkownikom. Warstwa SWF dostarcza informacji o zasięgu zadrzewień śródpolnych, obejmujących struktury liniowe, rozproszone oraz izolowane płyty drzew i zakrzaczeń. Tabela 6 ilustruje elementy włączone i wyłączone z SWF2018. Produkt SWF2018 jest dostępny w dwóch formatach: wektorowym oraz rastrowym o rozdzielczości przestrzennej 5 m.

Tabela 6: Elementy włączone/wyłączone z produktu Small Woody Feature 2018 (SWF) (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Small Woody Features 2018 and Small Woody Features Changes 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).

Elementy włączone w SWF	Elementy wyłączone z SWF
• Izolowane/rozproszone płyty drzew • Liniowe żywopłoty i zarośla • Szpalery drzew (wzdłuż granic pól, dróg i rzek)	• Granice pól bez żywopłotów i drzew • Mury kamienne • Rowy • Wszelkiego rodzaju „szara” infrastruktura, taka jak drogi • Sztuczne szpalery drzew (plantacje drzew oliwnych, winnice, sady)

Dokładność geometryczna produktu w formacie wektorowym odpowiada precyzji mapy w skali 1:5000. SWF2018 został opracowany na podstawie analizy obrazowań satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej (VHR) zarejestrowanych w roku referencyjnym 2018 (+/-1 rok). Obrazowania te pochodziły z misji satelitarnych Pleiades 1A & 1B, PlanetScope, SuperView-1, Kompsat-3/3A, a także SPOT6/7 oraz TripleSat.

		InCoNaDa	Page 18
		D4.4	Date 30 Apr 2024

5. Ocena wkładu produktów CLMS w Porozumieniu o ochronie bioróżnorodności

5.1 Możliwości i ograniczenia

Ocena i monitorowanie różnorodności biologicznej wymagają zbierania informacji w różnych skalach. Obecnie teledetekcyjne wykrywanie nie jest w stanie tego zrobić z powodu technicznych ograniczeń systemów obserwacyjnych, które wpływają na gęstość przestrzenną oraz zdolność sensorów do rozróżniania różnych zjawisk. Niektóre z tych ograniczeń mogą zmniejszyć się w przyszłości, ale są one nadal istotne dzisiaj. Produkty CLMS mają stosunkowo niską rozdzielczość przestrzenną wynoszącą 10 metrów (lub też 5 m), co nie jest wystarczająco odpowiednie dla tak złożonego tematu jak bioróżnorodność. W większości przypadków lepiej używać istniejących map o wyższej rozdzielczości niż mapy CLMS. Pomimo tych ograniczeń, mapy CLMS mają swoje mocne strony:

- CLMS otrzymuje dane surowe z programu Copernicus na całym świecie, a produkty pochodne map są obecnie dostępne szczegółowo dla Europy, co może pomóc w wypełnieniu braków w informacjach geograficznych tam, gdzie występują.
- Koordynując dane zbierane w Europie, CLMS dostarcza podstawę do porównań międzynarodowych, wzmacnia monitorowanie globalnej różnorodności biologicznej i przyczynia się do ochrony gatunków i ekosystemów ponad granicami narodowymi.
- W odróżnieniu od wielu innych zbiorów danych, Copernicus jest systemem monitorowania zmian powierzchni z wysoką częstotliwością lotów satelitarnych, co umożliwia częstsze aktualizacje powiązanych produktów kartograficznych.
- Produkty CLMS są niekomercyjne i łatwe do przetwarzania, co może być użyteczne w badaniach i ochronie różnorodności biologicznej nawet przy ograniczonych środkach finansowych.

Centrum Wiedzy o Obserwacji Ziemi (KCEO) niedawno przeanalizowało produkty Copernicus Land Monitoring Service, których rozdzielczość przestrzenna okazała się satysfakcjonująca dla większości użytkowników, podczas gdy rozdzielczość tematyczna była niewystarczająca dla większości zastosowań dotyczących różnorodności biologicznej. Głównym obszarem dalszego rozwoju jest skrócenie czasu dostępności danych (Camia et al. 2023).

5.2 Wkład CLMS w Cele Porozumienia o Różnorodności Biologicznej

- Ochrona obszarów (Cele 1, 3, 4, 10):
Aby osiągnąć cel konserwacji 30% ogółu terenów, konieczna jest wiedza o potencjale renaturyzacji tych terenów. Mapy CLMS mogą pomóc w identyfikacji obszarów, gdzie konserwacja może poprawić ekologiczne połączenia między terenami, co z kolei wspiera ochronę zagrożonych gatunków i usługi ekosystemowe. Dodatkowo, mogą być używane do monitorowania statusu ochrony różnych typów terenów i ich systematycznych zmian.
- Planowanie i zarządzanie terenami (Cele 3, 4, 13):
Dokładne dane geograficzne są kluczowe w planowaniu i zarządzaniu terenami w Polsce. Chociaż mapy CLMS nie spełniają krajowych standardów, mogą być użyteczne na wyższym poziomie, np. w międzynarodowej współpracy i raportowaniu. Harmonizowane dane na poziomie europejskim mogą zapewnić porównywalne podstawy danych między krajami.

		InCoNaDa	Page 19
		D4.4	Date 30 Apr 2024

- **Monitoring ekosystemów i siedlisk (Cele 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 21):**
Produkty CLMS, dzięki danym z satelitów Sentinel, są szczególnie użyteczne na poziomie ekosystemów i siedlisk. Kształt i rozmieszczenie siedlisk mają kluczowe znaczenie dla różnorodności gatunkowej i genetycznej w krajobrazie. Struktura i skład krajobrazu (siedliska, korytarze, bariery) mają bezpośredni wpływ na obecność, rozmieszczenie i przemieszczanie się organizmów. Produkty CLMS mogą wspierać identyfikację zagrożeń dla bioróżnorodności, takich jak fragmentacja siedlisk, wylesianie i urbanizacja oraz wspierać analizy struktury przestrzennej ekosystemów.
- **Zrównoważone rolnictwo i usługi ekosystemowe (Cele 3, 4, 10):**
Zmiany w użytkowaniu gruntów są głównym czynnikiem prowadzącym do utraty bioróżnorodności. Rolnictwo jest kluczową dziedziną, zdolną do ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko. W Polsce dostępne są szczegółowe dane kartograficzne dotyczące gruntów rolnych i leśnych. CLMS może nie dostarczać szczegółowych danych na poziomie gospodarstwa, ale może być użyteczne w międzynarodowym raportowaniu prostych wskaźników, takich jak procent lasów w różnych kategoriach obszarów chronionych. Polityczne instrumenty, takie jak legislacja i ukierunkowane dotacje, mogą zachęcać do zmiany sposobu użytkowania gruntów w kierunku bardziej zrównoważonych praktyk.
- **Zmiany klimatyczne i adaptacja (Cel 11):**
Dane z CLMS mogą pomagać w ocenie ryzyka i wrażliwości na zmiany klimatyczne, a także w monitorowaniu i tworzeniu systemów wczesnego ostrzegania. Mapy te mogą być używane do modelowania przyszłych zmian klimatycznych na poziomie lokalnym i regionalnym. Dane satelitarne umożliwiają nam globalne spojrzenie na zmiany klimatyczne, pozwalając na monitorowanie zmian poziomu mórz, lodowców, pokrywy śnieżnej, pokrycia leśnego i innych zmiennych klimatycznych w czasie. Produkty CLMS mogą wspierać analizy wrażliwości i ryzyka związanego z klimatem, jak powódzie, pożary lasów i wzrost poziomu morza, oraz pomagać w identyfikacji obszarów najbardziej narażonych na zmiany klimatu.
- **Monitoring gatunków (Cele 2, 12):**
Ochrona zagrożonych gatunków wymaga zachowania ich siedlisk, zarówno pod względem powierzchni, jak i rozmieszczenia geograficznego oraz stanu ekologicznego. Mapy CLMS mogą dostarczać ogólnych analiz rozmieszczenia ekosystemów i ich połączeń. Wymagają jednak uzupełnienia o szczegółowe dane z rejestracji terenowych, aby dokładnie ocenić stan siedlisk. Kombinacja danych teledetekcyjnych z rejestracjami terenowymi jest niezbędna do osiągnięcia celów międzynarodowych w zakresie ochrony bioróżnorodności.

6. Ocena dokładności warstw wysokorozdzielczych – High Resolution Layers (HRL)

Satelity wykonują zdjęcia powierzchni ziemi w momencie przelotu nad danym obszarem. Wykorzystywane są do tego sensory, które są wrażliwe na odbicie promieniowania w różnych częściach widma elektromagnetycznego. Zebrane informacje mogą być następnie wykorzystane do identyfikacji różnych typów pokrycia terenu na podstawie ich odpowiedzi spektralnych. Z uwagi na podobieństwo spektralne niektórych obiektów, nie zawsze możliwe jest jednoznaczne rozróżnienie obiektów. W rezultacie może dochodzić do błędów w klasyfikacji, gdzie obszary są błędnie przypisywane do niewłaściwej klasy. Wyróżnia się błędy przeszacowania i błędy pominięcia dla poszczególnych klas. Dlatego ważne jest, aby określić dokładność produktów pochodzących z

sensorów teledetekcyjnych. Określenie dokładności pozwala ocenić, jak dobrze mapa odwzorowuje rzeczywistość oraz do jakich celów jest odpowiednia. Dokumentowane weryfikacje produktów powinny więc stanowić istotny element pracy nad zwiększeniem użyteczności produktów CLMS.

IGiK weryfikował dokładność produktów HRL, ocena składała się z dwóch etapów:

1. Wizualna ocena produktów HRL poprzez systematyczne badanie zdolności do kartowania różnych typów pokrycia terenu i typów krajobrazów.
2. Ocena statystyczna dokładności warstw HRL (błąd przeszacowania, błąd pominięcia)

W każdym przypadku oceny dokładności wykonywano w odniesieniu do krajowych danych referencyjnych, ortofotomapy, baz danych zawierających informacje o pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi tj.: BDOT10K, Nanak Danych o Lasach, LPIS – pola zagospodarowania, GIS Mokradła, LUCAS.

6.1 Ocena produktów HRL

6.1.1 HRL Imperviousness

Nieprzepuszczalność jest ważnym zagadnieniem dla zarządzania środowiskiem i planowania oraz zachowania zdolności produkcji żywności. Dlatego od wielu lat ludzie starają się znaleźć metody dokładnego wykrywania nieprzepuszczalności na obrazach satelitarnych. Zestawy danych HRL IMD mogą dostarczyć przydatnych informacji dla Europy, z korzyścią wynikającą ze standaryzacji i porównywalności między krajami. IMCC dostarcza łatwych do użycia informacji o zmianach w nieprzepuszczalności, co może umożliwić ocenę skutków polityk, takich jak te mające na celu zapobieganie uszczelnianiu gleby na gruntach rolnych. Stwierdziliśmy, że IMCC 2015-2018 ogólnie poprawnie uchwyciło rzeczywiste przypadki uszczelniania gleby, ale zarówno wzrost, jak i utrata powierzchni nieprzepuszczalnych były przeszacowane (wysoki błąd nadmiaru) (Tabela 7). Do zastosowań IMCC 2015-2018 zalecamy łączenie ściśle powiązanych klas New cover (nowa pokrywa) i Increased (zwiększona pokrywa) oraz analogicznie Loss of cover (utrata pokrywy) i Decreased (zmniejszona pokrywa). Te rozróżnienia nie są wiarygodne, ale ogólne informacje o zwiększeniu się lub spadku pokrywy miały niskie niedoszacowanie. Przejście do wyższej rozdzielczości (10 x 10 m) od 2018 roku stanowi dużą poprawę i uczyni dane bardziej wiarygodnymi i użytecznymi, również w rozróżnianiu między nową pokrywą/zwiększoną pokrywą a usunięciem pokrywy/zmniejszeniem pokrywy.

Tabela 7: Macierz błędów dla Polski, pokazująca liczbę pikseli w każdej klasie Imperviousness Classified Change - IMCC 2015-2018 (wiersze) i ich klasyfikację zgodnie z naszą weryfikacją w odniesieniu do zdjęć lotniczych lub satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości (kolumny); UA = dokładność użytkownika i PA = dokładność producenta.

		Prawidłowa klasyfikacja zgodnie z obrazami teledetekcyjnymi								
	Klasy	0	10	1	11	2	12	Liczba pikseli	UA	Przeszacowanie
IMCC2015-2018	0: Unchanged, IMD = 0	198		2				200	99.0	1.0
	10: Unchanged, IMD > 0	88	105	6	1			200	52.5	47.5
	1: New cover, from IMD = 0 in 2015	67	22	108	3			200	54.0	46.0
	11: Increased IMD	27	16	40	117			200	58.5	41.5
	2: Loss of cover, to IMD = 0 in 2018	142	3	6	1	48		200	24.0	76.0
	12: Decreased IMD	2	1	1			1	5	20.0	80.0
	Liczba pikseli	524	147	163	122	48	1	1005		
	PA	37.8	71.4	66.3	95.9	100.0	100.0			

	Niedoszacowanie	62.2	28.6	33.7	4.1	0.0	0.0			
--	-----------------	------	------	------	-----	-----	-----	--	--	--

Podsumowując analizę danych dotyczących HRL Imperviousness w Polsce:

- Najczęstszą klasą w zestawie danych była klasa Unchanged (piksele niezmienione, bez nieprzepuszczalności w 2015 i 2018 roku), stanowiąca zdecydowaną większość pikseli. W dodatku 99,0% pikseli tej klasy zostało poprawnie zidentyfikowanych.
- Najrzadszą klasą była klasa Loss of cover zmniejszonej nieprzepuszczalności, z tylko pięcioma pikselami do sprawdzenia.
- Ogólna średnia dokładność ważona przez powierzchnię klas IMCC wyniosła 97,7% w Polsce.
- Weryfikacja wykazała, że duża część pikseli zmiany powinna być klasyfikowana jako brak zmiany.
- Przeszacowanie obszarów nieprzepuszczalnych wynikało z błędnej klasyfikacji gołej gleby lub piasku jako nieprzepuszczalnych.

6.1.2 HRL Small Woody Features

Nasze analizy wykazały, że obecne dane HRL-SWF są obiecującym źródłem informacji do uchwycenia małych elementów zalesionych, które są słabo odwzorowane w krajowych mapach o pokryciu całościowym. Chociaż dane SWF nie całkowicie pokrywają się z najbardziej szczegółowymi dostępnymi danymi na poziomie kraju, odstępstwa można ogólnie wyjaśnić różnymi zasadami mapowania związanymi z różnymi zestawami danych.

W Polsce, widzimy rolę danych SWF jako kontrolę danych krajowych oraz jako dobre źródło znormalizowanych i regularnie aktualizowanych informacji do raportowania, zarówno na poziomie lokalnym, jak i krajowym. Jednak krajowe zestawy danych nie odpowiadają definicjom SWF i są albo o niższej, albo o wyższej rozdzielczości. Ponadto definicja maski lasu jest ważnym elementem w decydowaniu, co jest klasyfikowane jako SWF i powinna być zharmonizowana z krajowymi definicjami lasów, aby była istotna politycznie na poziomie krajowym.

Zalecamy rundę weryfikacji na skalę krajową przy użyciu losowej próbki punktów i kontrolę w odniesieniu do zdjęć lotniczych z tej samej daty co obrazy produkcji SWF. W przyszłych rundach produkcji zalecamy również użycie modeli wysokościowych cyfrowych do kontrolowania wysokości wykrytej roślinności. Może to prowadzić do bardziej dokładnego produktu i może również pozwolić na uchwycenie jeszcze mniejszych elementów. Polska rejestruje obecnie liniowe i punktowe elementy, które są uważane za ważne w śledzeniu wpływu polityk rolniczych. Są one również prawdopodobnie istotne w ramach nowej WPR, czy to poprzez zasady warunkowości, czy przez nowy instrument ekoschematów.

Jest wiele potencjalnych zastosowań danych SWF, takich jak monitorowanie bioróżnorodności i charakteru krajobrazu, działania na rzecz odbudowy i łagodzenia skutków klimatycznych oraz rozliczanie emisji dwutlenku węgla. Dlatego zachęcamy do dalszej produkcji HRL-SWF, ale zalecamy ostrożność w korzystaniu z danych, dopóki nie zostaną one bardziej rygorystycznie zweryfikowane na poziomie krajowym. Należy również zauważyć, że produkty SWF analizowane w ramach tego badania zostały uzyskane do celów tej analizy w lutym 2022 roku i nie zostały jeszcze oficjalnie opublikowane.

		InCoNaDa	Page 22
		D4.4	Date 30 Apr 2024

6.1.3 HRL Water and Wetness

HRL-WAW zostało porównane z kilkoma różnymi zestawami danych w Polsce, aby ocenić potencjał tego produktu do wykrywania i monitorowania wody i wilgotności w celu wsparcia polityki rolnej. Stwierdziliśmy liczne słabości i błędy w danych WAW.

HRL-WAW dostarcza informacji na temat Wody i Wilgotności, zgodnie z określonymi definicjami. Wilgotność nie jest synonimem terenów bagiennych i nie ma na celu wskazywać na siedlisko. Opisuje obecność lub brak wody na zdjęciach satelitarnych. Niemniej jednak obszary, które są wilgotne przez długi czas, mają tendencję do rozwoju roślinności bagiennej.

Istniejąca krajowa baza topograficzna BDOT10k o pokryciu całościowym dostarcza wysokiej jakości danych odpowiadających mapom topograficznym w skali 1:10 000, jednak ta baza danych nie jest systematycznie aktualizowana dla całego kraju w dowolnym momencie. W przeciwieństwie do tego, CLMS oferuje produkty, które są produkowane dla jednego roku referencyjnego na terenie całego kraju. To sprawia, że porównanie między latami jest bardziej efektywne i wiarygodne. Wody powierzchniowe (permanent wetness) WAW mogłyby służyć jako informacja uzupełniająca o nowo powstałych zbiornikach wodnych (stawach, sztucznych jeziorach), wskazując miejsca, gdzie na przykład BDOT nie został jeszcze zaktualizowany. HRL-WAW może zatem odgrywać ważniejszą rolę, szczególnie jeśli niektóre z obecnych słabości i błędów zostaną rozwiązane w następnej wersji. Dla stawów EFA HRL-WAW obecnie nie jest użyteczny z powodu dużego odsetka brakujących małych stawów.

Wody tymczasowe (Temporary wetness) - jako że odnoszą się to do zalewania gruntów rolnych - mogą być interesującą kategorią do monitorowania. Niestety, nie ma krajowych danych dostępnych do weryfikacji dokładności tymczasowej wody. Jednak brak alternatywnych danych oznacza, że może to być unikalne źródło informacji o zalewaniu gruntów rolnych, dając sektorowi rolniczemu możliwość monitorowania, jak zakres i czas trwania zalewania zmieniają się w czasie w odpowiedzi na np. zmiany klimatu.

W Polsce odsetek bagien sklasyfikowanych jako Permanent wetness wynosił zaledwie 18%. Ustalając, że tylko niewielki odsetek bagien jest klasyfikowany jako Permanent wetness można by się spodziewać, że są one klasyfikowane jako Temporary wetness. Tak właśnie było, gdyż 30% bagien w Polsce było sklasyfikowanych jako Temporary wetness. Klasyfikacja bagien w BDOT10k wskazuje również, że bagien "okresowo wilgotnych" jest znacznie więcej niż bagien trwale wilgotnych. Podczas gdy 38% Permanent wetness dotyczyło bagien okresowo wilgotnych według BDOT, 18% bagien według BDOT było objętych Permanent wetness, a 30% Temporary wetness. Podobny wzorzec zaobserwowano w danych LUCAS (Land Use/Cover Area frame Survey).

Najbardziej chronione tereny bagienne, zarówno w Polsce, jak i w Norwegii, są stosunkowo małe. Duże obszary chronione, takie jak obszary Ramsar, zazwyczaj obejmują nie tylko tereny bagienne, ale również wiele typów siedlisk. Istnieje potrzeba dokładnego monitorowania konkretnych obszarów, zwłaszcza na skalę szczegółową. Produkt HRL-WAW nie spełnia tego wymagania, gdzie małe poligony są słabo wykrywane. HRL-WAW nie jest przydatny do monitorowania stanu i wyznaczania obszarów torfowiskowych w Polsce, jak potwierdza szczegółowa analiza rezerwatów przyrody torfowiskowych. Copernicus Land Monitoring Service dostarcza dodatkowe warstwy pomocnicze przeznaczone dla użytkowników ekspertów, które mogą pomóc w wyjaśnieniu nieścisłości i błędów w HRL-WAW oraz umożliwiają użytkownikom ustawienie własnych progów dla definicji np. Trwała wilgotność, co może zapewnić lepsze podstawy do identyfikacji i monitorowania ekosystemów bagien.

		InCoNaDa	Page 23
		D4.4	Date 30 Apr 2024

6.1.4 HRL Grassland

Ocena dokładności warstwy HRL Grasslands została przeprowadzona na podstawie porównania z danymi ARiMR 2018, BDOT10k, LUCAS.

Z wyników porównania danych HRL Grasslands z ARiMR wynika, że 17,42 % obszarów znajdujących się w bazie ARiMRu zostało pominięte w bazie Grassland HRL. Ponadto HRL-GRA została porównana z klasą użytków zielonych z krajowej bazy danych LPIS. Należy podkreślić, że LPIS dostarcza danych o użytkach zielonych objętych dopłatami, a więc warstwa ta jest nieciągła. Pola wskazywane przez rolników, do których otrzymują dopłaty bezpośrednie, to trwałe użytki zielone oraz trwałe użytki zielone cenne przyrodniczo. W bazie LPIS pola uprawne zajmują powierzchnię 25 245 km², z czego około 82% występuje w HRL-GRA (20 847 km²).

Dodatkowo, HRL Grassland zostało porównane z bazą danych BDOT10k. Ogólnie rzecz biorąc, całkowita powierzchnia użytków zielonych w Polsce jest porównywalna w obu zbiorach danych i wynosi około 56-59 tysięcy km², co stanowi 18-19% powierzchni kraju. HRL-GRA pokazuje nieznacznie większą powierzchnię użytków zielonych niż BDOT10K. Co ciekawe, tylko 32 290 km² użytków zielonych występuje jednocześnie w obu bazach danych, co stanowi 10% powierzchni kraju. Oznacza to, że 54% całkowitej powierzchni użytków zielonych w HRL-GRA występuje na obszarach, które w BDOT10K są klasyfikowane jako inne niż użytki zielone. Należy podkreślić, że ten 46% obejmuje również pokrycie trawiaste w obszarach miejskich.

Ok. 22 971 km² użytków zielonych, które są uwzględnione w bazie danych BDOT10K, nie są skartowane w HRL-GRA, co stanowi ponad 7% powierzchni kraju i prawie 39% całkowitej powierzchni w HRL-GRA. Około 8,6% powierzchni kraju (26 965 km²) jest pokryte przez roślinność trawiastą i roślinność niezadrzewioną, która występuje tylko w HRL-GRA. Potwierdza to wysoki poziom nadmiernej oceny pokrycia trawiastego w HRL-GRA.

W porównaniu HRL-GRA z LUCAS. Około 68% punktów z LUCAS reprezentujących roślinność trawiastą znalazła się w granicach warstwy HRL Grassland. W przypadku pozostałych 32% wskazane miejsca przez LUCAS nie pokryły się z danymi przedstawianymi przez warstwę wysokorozdzielczą. LUCAS przedstawia teren roślinności trawiastej, a w HRL GRA dany obszar ma inne pokrycie terenu. Rozbieżność między bazami często była spowodowana jakością warstwy HRL Grassland. Często warstwa wysokorozdzielcza nie wskazywała całości obszaru zajętego przez roślinność trawiastą, pojawiały się luki w oznaczaniu. Dodatkowo nie można zapominać, że HRL GRA ma rozdzielczość 10 m. Te warunki powodowały, że zdarzały się sytuacje, że LUCAS poprawnie wskazywał teren roślinności trawiastej, jednak trafiał w jedną z luk warstwy HRL GRA, co powodowało niezgodność. Ponieważ często punkty LUCAS „mijały się” z warstwą HRL Grassland spowodowane lukami w warstwie wysokorozdzielczej, zdecydowano się na wykonanie bufora o promieniu 1,5 m oraz 5 m dookoła punktów LUCAS. Zdecydowano się na taki wymiar, ponieważ według instrukcji dla tej klasy punkt przedstawia pokrycie terenu znajdujące się w promieniu 1,5 m. Zdecydowano się na promień 5 m, ponieważ warstwa HRL Grassland ma rozdzielczość 10 m. Około 76% punktów z LUCAS reprezentujących roślinność trawiastą znalazła się w granicach warstwy HRL Grassland. W przypadku pozostałych 24% wskazane miejsca przez LUCAS nie pokryły się z danymi przedstawianymi przez warstwę wysokorozdzielczą – LUCAS przedstawia teren roślinności trawiastej, a w HRL GRA dany obszar ma inne pokrycie terenu. Zwiększenie promienia bufora spowodowało, poprawienie wyników.

6.1.5 Audyty krajobrazowe

Produkty CLMS mogą być w pewnym stopniu wykorzystane w procesie opracowywania audytów krajobrazowych, jednak konieczne jest ich połączenie z danymi z różnych źródeł w celu właściwej klasyfikacji jednostek krajobrazowych. Warstwy HRL mogą być użyteczne do wyznaczania jednostek krajobrazowych, ale same w sobie nie są wystarczającym materiałem do dokładnego wyznaczania

		InCoNaDa	Page 24
		D4.4	Date 30 Apr 2024

krajobrazów. Konkretnie dane z CLMS mogą wspierać proces wyznaczania i klasyfikacji jednostek krajobrazowych, zwłaszcza kombinacja warstw Urban Atlas i HRL Imperviousness dla krajobrazów podmiejskich, miejskich i metropolitalnych oraz warstwa Natura 2000 w połączeniu z HRL Forest Type/Grassland dla krajobrazów naturalnych. Wykorzystanie danych BDOT10k jest kluczowe dla identyfikacji i klasyfikacji wielu klas, jednak baza danych nie jest homogeniczna na poziomie województwa, różni się szczegółowością i wymaga ręcznego ujednolicenia. Produkty CLMS mogą być używane jako dodatkowe narzędzie w przypadkach, gdy szczegółowość BDOT10k jest niewystarczająca. Produkty CLMS mogą być wdrożone do opisu cech krajobrazowych opartych na różnych typach pokrycia terenu.

7. Bibliografia

- Arnold Jr., Chester L., i C. James Gibbons. „Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator”. *Journal of the American Planning Association* 62, nr 2 (30 czerwiec 1996): 243–58. <https://doi.org/10.1080/01944369608975688>.
- Badach, Elżbieta, Janina Szewczyk, Sławomir Lisek, i Jadwiga Bożek. „Size Structure Transformation of Polish Agricultural Farms in 2010–2020 by Typological Groups of Voivodeships”. *Agriculture* 13, nr 9 (wrzesień 2023): 1789. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091789>.
- Bryn, Anders, Geir-Harald Strand, Michael Angeloff, i Yngve Rekdal. „Land cover in Norway based on an area frame survey of vegetation types”. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography* 72, nr 3 (27 maj 2018): 131–45. <https://doi.org/10.1080/00291951.2018.1468356>.
- Camia, Andrea, Ilaria Gliottone, Mark Dowell, Richard Gilmore, Marta Coll, Andrew Skidmore, Gherardo Chirici, i in. „Earth Observation in Support of EU Policies for Biodiversity - A Deep-Dive Assessment of the Knowledge Centre on Earth Observation”. JRC Publications Repository, 20 kwiecień 2023. <https://doi.org/10.2760/185588>.
- Cysek-Pawlak, Monika, Jakub Misiak, Agata Hościło, Geir-Harald Strand, i Sebastian Eiter. „Spatial Planning Needs towards Copernicus Land Monitoring Services: Case Studies from Poland and Norway”. *European Spatial Research and Policy* 30, nr 2 (2023): 235–55. <https://doi.org/10.18778/1231-1952.30.2.13>.
- Directorate-General for Environment (European Commission), Heide Jobstmann, Gundula Prokop, i Arnulf Schönbauer. *Overview of Best Practices for Limiting Soil Sealing or Mitigating Its Effects in EU-27: Final Report*. Publications Office of the European Union, 2011. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/15146>.
- García-Feced, Celia, Christof Jakob Weissteiner, Andrea Baraldi, Maria Luisa Paracchini, Joachim Maes, Grazia Zulian, Markus Kempen, Berien Elbersen, i Marta Pérez-Soba. „Semi-Natural Vegetation in Agricultural Land: European Map and Links to Ecosystem Service Supply”. *Agronomy for Sustainable Development* 35, nr 1 (1 styczeń 2015): 273–83. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0238-1>.
- Global Wetland Outlook. „Outlook”. Dostęp 26 czerwiec 2024. <https://www.global-wetland-outlook.ramsar.org/outlook>.
- Güneralp, Burak, Meredith Reba, Billy U. Hales, Elizabeth A. Wentz, i Karen C. Seto. „Trends in Urban Land Expansion, Density, and Land Transitions from 1970 to 2010: A Global Synthesis”. *Environmental Research Letters* 15, nr 4 (marzec 2020): 044015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6669>.
- Krówczyńska, Małgorzata, Agnieszka Soszyńska, Piotr Pabjanek, Ewa Wilk, Pavol Hurbánek, i Konstantin Rosina. „Accuracy of the Soil Sealing Enhancement Product for Poland”. *Quaestiones Geographicae* 35, nr 3 (1 wrzesień 2016): 89–95. <https://doi.org/10.1515/quageo-2016-0029>.

		InCoNaDa	Page 25
		D4.4	Date 30 Apr 2024

- Olofsson, Pontus, Giles M. Foody, Stephen V. Stehman, i Curtis E. Woodcock. „Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation”. *Remote Sensing of Environment* 129 (15 luty 2013): 122–31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>.
- Palmer, Michael W., Peter G. Earls, Bruce W. Hoagland, Peter S. White, i Thomas Wohlgemuth. „Quantitative Tools for Perfecting Species Lists”. *Environmetrics* 13, nr 2 (2002): 121–37. <https://doi.org/10.1002/env.516>.
- Pelczynski, Janusz, i Bartłomiej Tomkowicz. „Densification of Cities as a Method of Sustainable Development”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 362, nr 1 (listopad 2019): 012106. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012106>.
- Peroni, Francesca, Salvatore Eugenio Pappalardo, Francesco Facchinelli, Edoardo Crescini, Michele Munafò, Michael E. Hodgson, i Massimo De Marchi. „How to Map Soil Sealing, Land Take and Impervious Surfaces? A Systematic Review”. *Environmental Research Letters* 17, nr 5 (maj 2022): 053005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6887>.
- Pontius, Robert G., Emily Shusas, i Menzie McEachern. „Detecting important categorical land changes while accounting for persistence”. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, From pattern to process: Landscape Fragmentation and the analysis of land use/land cover change, 101, nr 2 (1 luty 2004): 251–68. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>.
- Pourtaherian, Parnian, i Jochen A. G. Jaeger. „How effective are greenbelts at mitigating urban sprawl? A comparative study of 60 European cities”. *Landscape and Urban Planning* 227 (1 listopad 2022): 104532. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104532>.
- Rocchini, Duccio, Doreen S. Boyd, Jean-Baptiste Féret, Giles M. Foody, Kate S. He, Angela Lausch, Harini Nagendra, Martin Wegmann, i Nathalie Pettorelli. „Satellite Remote Sensing to Monitor Species Diversity: Potential and Pitfalls”. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 2, nr 1 (2016): 25–36. <https://doi.org/10.1002/rse2.9>.
- „Technical Library”. Dostęp 26 czerwiec 2024. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library>.
- Tiitu, Maija, Petter Naess, i Mika Ristimäki. „The urban density in two Nordic capitals – comparing the development of Oslo and Helsinki metropolitan regions”. *European Planning Studies* 29, nr 6 (3 czerwiec 2021): 1092–1112. <https://doi.org/10.1080/09654313.2020.1817865>.
- Weber, Dominique, Marcel Schwieder, Lukas Ritter, Tiziana Koch, Achilleas Psomas, Nica Huber, Christian Ginzler, i Steffen Boch. „Grassland-Use Intensity Maps for Switzerland Based on Satellite Time Series: Challenges and Opportunities for Ecological Applications”. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* n/a, nr n/a. Dostęp 26 czerwiec 2024. <https://doi.org/10.1002/rse2.372>.
- Weng, Qihao. „Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends”. *Remote Sensing of Environment*, Remote Sensing of Urban Environments, 117 (15 luty 2012): 34–49. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.030>.

8. Spis tabel

Tabela 1: Zestawienie dostępnych warstw szczegółowych HRL dla kolejnych okresów referencyjnych 2012–2015–2018. W przypadku stopnia nieprzepuszczalności gruntu pierwsze dane przygotowano dla roku 2006. 8

Tabela 2: Elementy włączone/wyłączone z produktu Imperviousness Degree 2018 (IMD) (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot1:

		InCoNaDa	Page 26
		D4.4	Date 30 Apr 2024

Imperviousness 2018, Imperviousness Change 2015-2018 and Built-up 2018. User Manual, Document version 1.0, EEA, Copenhagen)	10
Tabela 3: Elementy włączone/wyłączone z produktu Tree Cover Density 2018 (TCD) (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Tree-cover/forest and change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).....	13
Tabela 4: Elementy włączone/wyłączone z produktu Grassland 2018 (GRA) (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Grassland 2018 and Grassland change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).	14
Tabela 5: Elementy włączone/wyłączone z produktu Water and Wetness 2018 (WAW) (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot4: Water and Wetness 2018. User Manual, Document version 5.0, EEA, Copenhagen).....	16
Tabela 6: Elementy włączone/wyłączone z produktu Small Woody Feature 2018 (SWF) (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Small Woody Features 2018 and Small Woody Features Changes 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).....	17
Tabela 7: Macierz błędów dla Polski, pokazująca liczbę pikseli w każdej klasie Imperviousness Classified Change - IMCC 2015-2018 (wiersze) i ich klasyfikację zgodnie z naszą weryfikacją w odniesieniu do zdjęć lotniczych lub satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości (kolumny); UA = dokładność użytkownika i PA = dokładność producenta.	20

9. Spis rysunków

Rysunek 1: Mapy HRL pochodzące z surowych danych z satelitów Sentinel. Mapy są w pełni dostępne dla obszaru Europy w rozdzielczości przestrzennej 10 metrów (z wyjątkiem SWF 5 m).....	7
Rysunek 2: Produkty HRL Imperviousness 2018 (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot1: Imperviousness 2018, Imperviousness Change 2015-2018 and Built-up 2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).....	10
Rysunek 3: Produkty HRL Forest 2018 (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Tree-cover/forest and change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).	12
Rysunek 4: Produkty HRL Grassland-2018 (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Grassland 2018 and Grassland change 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).	14
Rysunek 5: Produkty HRL Water and Wetness 2018 (źródło: CLMS 2020. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Lot4: Water and Wetness 2018. User Manual, Document version 5.0, EEA, Copenhagen).	15
Rysunek 6: Produkty HRL Small Woody Features 2018 (źródło: CLMS 2021. Copernicus Land Monitoring Service: High Resolution land cover characteristics. Small Woody Features 2018 and Small Woody Features Changes 2015-2018. User Manual, Document version 1.2, EEA, Copenhagen).	17