

Sanjana Dutt

***Dynamika fragmentacji krajobrazu Borów Tucholskich - analiza wieloskalowa
z wykorzystaniem teledetekcji satelitarnej***

Streszczenie

Fragmentacja lasów znacząco wpływa na bioróżnorodność, sekwestrację węgla i odporność ekosystemów, jednak lasy strefy umiarkowanej, takie jak te położone w północnej Polsce w granicach Rezerwatu Biosfery Bory Tucholskie (RBBT), pozostają niedostatecznie zbadane w porównaniu z innymi systemami, np. tropikalnymi. Niniejsza rozprawa analizuje dynamikę fragmentacji w RBBT, krajobrazie ukształtowanym przez monokulturową gospodarkę leśną, intensywną presję użytkowania ziemi oraz ekstremalne zjawiska klimatyczne, takie jak nawałnica z sierpnia 2017 roku. Wykorzystując teledetekcję satelitarną różnej rozdzielczości (Sentinel-2, PALSAR, Landsat-8, CORINE), zaawansowane metryki krajobrazowe (np. gęstość obszaru leśnego, ang. *forest area density*; FAD) oraz uczenie maszynowe, przeanalizowano wzorce wieloskalowe i wieloczasowe, konsekwencje ekologiczne oraz strategie monitorowania, które powinny wspierać adaptacyjną ochronę środowiska i zwiększać odporność ekologiczną.

Praca odpowiada na cztery pytania badawcze: (i) Jak ewoluowały metody oceny i analizy fragmentacji lasów? (ii) Jak fragmentacja i wieloskalowe zaburzenia zmieniają strukturę i spójność krajobrazu leśnego? (iii) Jakie procesy ekologiczne dominują w wyróżnianych strefach fragmentacji, tj. strefie rdzennej, przejściowej i rzadkiej? (iv) Które wskaźniki wegetacji najlepiej wspierają monitorowanie oraz priorytetyzację i efektywność działań ochronnych? Podsumowując pięć załączonych artykułów, rozprawa doktorska prezentuje rozwój metodologii od metryk opartych na płatach do podejścia zorientowanego na spójności krajobrazu (Artykuł 1), wskazuje poziomy odniesienia przed wystąpieniem zaburzeń w krajobrazie i rozpoczęciem oceny fragmentacji (Artykuł 2), szacuje utratę zwartych (rdzennych) obszarów leśnych i ekspansję stref krawędziowych w krajobrazie po wystąpieniu nawałnicy w 2017 roku (Artykuł 3), wskazuje (mapuje) obszary wysokiego ryzyka na skutki huraganowych wiatrów, spowodowane bliskością gruntów rolnych i podatną ekspozycją terenu za pomocą autorskiej koncepcji oceny krajobrazu z wykorzystaniem „modelu podatności na fragmentację” (ang. *Fragmentation Susceptibility Modeling Framework*) (Artykuł 4) oraz identyfikuje stres wodny i inne wybrane parametry, jako efekt dominujących procesów ekologicznych analizowanych przy wykorzystaniu wskaźników teledetekcyjnych opartych na danych obrazowych Sentinel-2 i metodach uczenia maszynowego (Artykuł 5).

Rozprawa doktorska jest pionierskim opracowaniem, które wykorzystuje skalowalne, otwarte ramy analityczne, integrujące teledetekcję satelitarną, metryki krajobrazowe i uczenie maszynowe w celu analizy fragmentacji pod kątem struktury i funkcjonalności, zwłaszcza w kontekście celowej ochrony stref rdzeniowych i odbudowy korytarzy ekologicznych. W trakcie prac zauważono ograniczenia wynikające z braku danych LiDAR do walidacji modelu 3D, zależność wyników analiz od szczegółowych danych inwentaryzacyjnych oraz ograniczenia obliczeniowe w tworzonym modelowaniu wieloskalowym. Przyszłe badania nad podjętą problematyką, zwłaszcza w zakresie ekologicznym, powinny już wykorzystywać metryki oparte na wokselach, uczenie głębokie i ciągłą walidację modelu w oparciu o dokładne dane terenowe.

Opracowana metodologia ma zastosowanie także poza obszarem analizy – Rezerwatem Biosfery Bory Tucholskie, w monitorowanie lasów umiarkowanych i borealnych z wykorzystaniem danych satelitarnych i platform chmurowych (np. Google Earth Engine; GEE). Narzędzia te wspierają globalne ramy różnorodności biologicznej zawarte w ramach Porozumienia Kunming-Montreal (2022), które zakłada odbudowę do 2030 roku 30% zdegradowanych ekosystemów i ochronę 30% obszarów lądowych, oraz działania zapisane w protokole REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*) w celu pomiaru i monitorowania pokrywy leśnej oraz zapasów węgla z wykorzystaniem mechanizmu MRV (*Measurement, Reporting and Verification*) dla łagodzenia zmian klimatycznych. Praca doktorska wspiera Cele Zrównoważonego Rozwoju ONZ (ang. *Sustainable Development Goals UN*; SDG) w szczególności SDG 15 (Życie na lądzie), SDG 13 (*Działania w dziedzinie klimatu*) oraz SDG 6 (*Czysta woda i warunki sanitarne*), dostarczając praktycznych elementów strategii dla ochrony bioróżnorodności i adaptacji klimatycznej w lasach strefy umiarkowanej.

Słowa kluczowe: fragmentacja lasów, metryki krajobrazowe, spójność krajobrazu, teledetekcja satelitarna, uczenie maszynowe, Bory Tucholskie, RBBT, lasy strefy umiarkowanej, ochrona krajobrazu, Porozumienie Kunming-Montreal, REDD+, MRV.