

Podsumowanie wyników i wnioski

Po raz pierwszy podjęto próbę wykonania szczegółowej charakterystyki zarośli kosodrzewiny za pomocą metod i narzędzi geoinformatycznych związanych z przetwarzaniem naziemnych i lotniczych materiałów teledetekcyjnych. Główny nacisk położono na metody hiperspektralne, których wykorzystanie do badania roślinności naturalnej miało dotychczas niewielkie znaczenie. Jest to jednocześnie jeden z bardzo niewielu przykładów badań naturalnych zbiorowisk roślinnych zdominowanych przez jeden gatunek.

Kształt krzywych odbicia spektralnego, rozpiętość wartości współczynnika odbicia i różnice istotności statystycznej pomiędzy spektralnymi charakterystykami kosodrzewiny odzwierciedlają poziom zróżnicowania spektralnego zbiorowiska kosodrzewiny. Widoczna jest zmienność wartości współczynnika odbicia wzdłuż poszczególnych transektów, co wiąże się z odmiennymi warunkami siedliskowymi. Żadna z cech środowiska abiotycznego nie ma jednak dominującego wpływu na zarejestrowane wartości współczynnika odbicia. Nie zaobserwowano zwłaszcza spodziewanego zróżnicowania odpowiedzi spektralnej kosodrzewiny ze względu na wysokość nad poziomem morza.

Potencjalnie można wyodrębnić różne typy spektralne kosówki. Różnice, widoczne w kształcie poszczególnych krzywych spektralnych, są istotne statystycznie zwłaszcza w zakresie bliskiej podczerwieni. Częstość występowania istotnych statystycznie różnic nawiązuje do cech absorpcyjnych (np. absorpcja przez wodę w bliskiej podczerwieni) i charakterystycznych dla roślinności zielonej lokalnych maksimów odbicia promieniowania elektromagnetycznego (np. w zakresie światła zielonego).

Analiza poszczególnych spektr kosodrzewiny oraz limby (*Pinus cembra*), sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*), sosny hakowatej (*Pinus uncinata*), świerka (*Picea abies*) i jałowca halnego (*Juniperus communis* subsp. *alpina*) pokazała, że rozpiętość wartości współczynnika odbicia w zakresie bliskiej podczerwieni od kosodrze-

winy na różnych stanowiskach jest większa niż zakres wartości współczynnika odbicia od pozostałych gatunków iglastych. Istnieje natomiast statystycznie istotna różnica średniej ze wszystkich rozpatrywanych pomiarów kosodrzewiny od pozostałych gatunków iglastych w zakresie światła widzialnego. Podobny wniosek można wyciągnąć porównując średnie wartości współczynnika odbicia dla badanych gatunków, wartości maksymalne i minimalne, które także pokazują, że odbicie spektralne od kosodrzewiny we wszystkich punktach oraz obliczoną z nich średnią cechują w zakresie światła widzialnego wyraźnie niższe wartości współczynnika odbicia.

Siła związków spektralnych wskaźników roślinnych ze wskaźnikami stanu kosodrzewiny rośnie, gdy zwiększa się zakres spektralny zastosowanych sensorów i zmniejsza rozpiętość kanałów spektralnych. Współczynniki korelacji pomiędzy wąskokanałowymi wskaźnikami roślinnymi a parametrami biofizycznymi kosodrzewiny obliczone z wykorzystaniem spektr wyekstrahowanych z obrazu z ROSIS'a nie osiągnęły wartości, jakie uzyskano stosując spektralne dane terenowe i laboratoryjne, które mają większy zakres spektralny.

Najsilniejsze związki z LAI wykazał wskaźnik VI, zbudowany z danych z ROSIS'a i ze spektrometru FieldSpec HH. Najsilniejszą zależność z f_{APAR} stworzył w przypadku danych z ROSIS'a TSAVI, a ze spektrometru FieldSpec HH – SAVI2.

Przestrzenny rozkład wartości LAI i f_{APAR} wskazuje na homogeniczną naturę kosodrzewiny, wśród której znajdują się miejsca o bardzo dużym lokalnym zróżnicowaniu. Zróżnicowanie to wynika zarówno z czynników abiotycznych, jak i cech osobniczych poszczególnych krzewów kosodrzewiny. Żaden z czynników abiotycznych nie ma dominującego wpływu na przedstawiony rozkład wartości LAI i f_{APAR} . Wartości mocy powiązań i wskaźnik mocy powiązań, które wykorzystano do oceny tych zależności potwierdziły, że odznacza się ona szeroką amplitudą ekologiczną.

Wartości wskaźników stanu roślinności (LAI i f_{APAR}) uzyskane podczas pomiarów terenowych i wygenerowane w postaci map na podstawie ich związków ze spektralnymi wąskokanałowymi wskaźnikami roślinnymi, dają podstawę do stwierdzenia, że zarośla kosodrzewiny charakteryzują się dobrą kondycją, nawet w obszarach poddanych silnej presji antropogenicznej. Nie stwierdzono gorszego stanu zarośli kosodrzewiny wzdłuż szlaków turystycznych i tras narciarskich, niż na pozostałym analizowanym obszarze.

Powyższe stwierdzenia prowadzą do następujących wniosków:

- LAI i f_{APAR} zostały oszacowane z dobrą dokładnością za pomocą hiperspektralnych dwukanałowych spektralnych wskaźników roślinnych;
- Najlepsze hiperspektralne warianty wskaźników roślinnych zostały zbudowane z kanałów związanych z cechami absorpcyjnymi;
- LAI najlepiej opisują wskaźniki stworzone w oparciu o stosunek dwóch kanałów spektralnych, a f_{APAR} wskaźniki uwzględniające tzw. linię gleby;
- Empiryczne modele regresji umożliwiają uzyskanie wiarygodnych informacji o cechach roślinności;
- Lepsze wyniki można osiągnąć wykorzystując dane obejmujące zakresy bliskiej i średniej podczerwieni (np. obrazy ze skanera HyMap);

- Istnieje możliwość wyróżnienia typów spektralnych kosodrzewiny, co jednak wymaga dalszych badań;
- Istnieje możliwość odróżnienia kosodrzewiny od pozostałych gatunków iglastych, jednak konieczne są dalsze badania uwzględniające próbki z większego obszaru;
- Zarośla kosodrzewiny w rejonie Hali Gąsienicowej cechują się dobrą kondycją niezależnie od stopnia antropopresji;
- Zarośla kosodrzewiny charakteryzują się dobrym przystosowaniem do zróżnicowanych i zmieniających się warunków siedliskowych, co wynika z cech biochemiczno-fizjologicznych kosodrzewiny;
- Brak wpływu czynników abiotycznych na rozkład LAI i f_{APAR} potwierdza znaną prawidłowość, że roślinność górską reaguje skokowo na zmieniające się stopniowo, ze wzrostem wysokości n.p.m., warunki środowiska, co w efekcie powoduje wykształcenie się pięter roślinnych;

Niniejsze badania mogą znaleźć zastosowanie w monitorowaniu i rejestrowaniu zmian na rozległych, trudnodostępnych obszarach w odniesieniu do zarośli kosodrzewiny oraz lasów regla dolnego i górnego.