Co skrywa las?

Trudno jest dyskutować ze stwierdzeniem, iż lasy mają ogromne znaczenie zarówno w środowisku przyrodniczym jak i w życiu człowieka. Te „płuca Ziemi” gwarantują nie tylko stały dostęp do zasobów tlenu, lecz są również siedliskiem wielu różnych gatunków roślin i zwierząt.

Wyjątkowe znaczenie mają lasy o wysokiej bioróżnorodności, czyli o bardzo dużym zróżnicowaniu występujących w nich gatunków flory i fauny. Często obejmowane są one ochroną, jako rezerwaty czy też parki narodowe i wymagają specjalnej troski mającej na celu monitorowanie ich stanu.

Jednak jak przeprowadzić taki monitoring w sposób kompleksowy i nieoddziałujący na środowisko? Rozwiązaniem może być wykorzystanie danych teledetekcyjnych.

Czego oczy nie widzą…

Teledetekcja wykorzystuje promieniowanie elektromagnetyczne, pochodzące głównie od Słońca, do pozyskiwania informacji o obiektach bez bezpośredniego kontaktu z nimi. W zależności od długości fali spektrum elektromagnetyczne można podzielić na tzw. zakresy spektralne. Do analizowania roślinności najczęściej wykorzystuje się długości fali z przedziału 400 – 2500 nm, czyli światło widzialne, bliską oraz średnią podczerwień. Za pomocą sensorów umiejscowionych na takich nośnikach jak samoloty czy satelity, możemy rejestrować ilość promieniowania, która została odbita od obiektu. W zależności od tego, jakie są cechy fizyczne analizowanego obiektu, zmienia się ilość odbitego od niego promieniowania. Pozwala to nie tylko na identyfikację obiektu (np. gleba odbija promieniowanie inaczej niż zbiorniki wodne), ale także na ocenę jego stanu.

Roślinność ze względu na swoje parametry biofizyczne

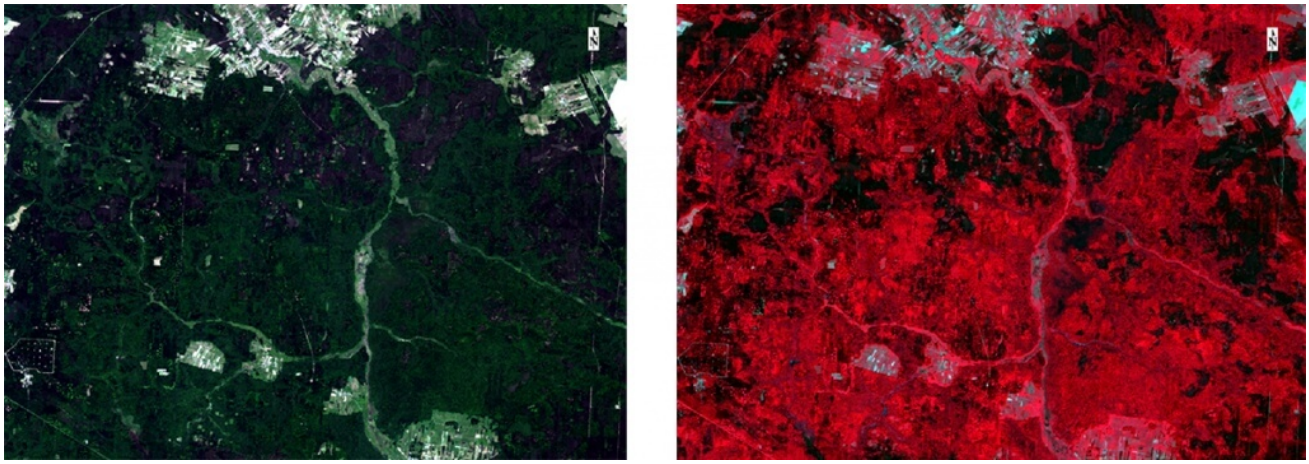
specyficznie odbija promieniowanie elektromagnetyczne. Intensywność odbicia promieniowania w zakresie światła widzialnego zależy od zawartości chlorofilu w roślinach i efektywności zachodzących w nich procesów fotosyntetycznych. Z kolei odbicie w bliskiej podczerwieni wygląda inaczej dla roślin o różnych typach struktur komórkowych, pozwalając na rozróżnianie roślinności liściastej od iglastej, a także na szacowanie uszkodzeń strukturalnych. W zakresie średniej podczerwieni roślinność przesuszoną charakteryzuje zwiększone odbicie, a podtopioną – zaniżone. Wpływ na odbicie promieniowania w zakresie średniej podczerwieni ma zatem zawartość wody w komórkach roślinnych.

Rys. 1. Chora roślinność.

Powyższe zależności wykorzystuje się w analizach roślinności. To, co nie jest widoczne gołym okiem, może zostać wyeksponowane dzięki zastosowaniu zdjęć wielokanałowych

(zestawu zdjęć obrazujących ten sam obszar, przy czym każde zdjęcie rejestruje obraz w wybranym zakresie spektralnym) w odpowiedniej wizualizacji, czyli tzw. kompozycji barwnej. Jedną z popularnych wizualizacji jest kompozycja CIR (colour infrared), w której wykorzystane są dwa z trzech kanałów zakresu światła widzialnego oraz zakres bliskiej podczerwieni do identyfikacji obszarów, na których występuje biomasa i obszarów jej pozbawionych. Jest to tak zwana kompozycja w barwach fałszywych – oznacza to, iż obiekty na obrazie przedstawione są w innych barwach niż ich barwy rzeczywiste.

W kompozycji CIR roślinność przedstawiona jest barwą czerwoną lub różową, podczas gdy obszary antropogeniczne i odkryta gleba – odcieniami niebieskiego i turkusu. Co więcej, dzięki zastosowaniu kanału rejestrującego odbicie promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni, kompozycja taka pozwala na rozróżnienie poszczególnych typów roślinności. Lasy liściaste i iglaste, które na zdjęciu w barwach naturalnych (odpowiadających rzeczywistości) mogą nie być rozróżnialne, są doskonale widoczne na kompozycji CIR, gdzie roślinność liściasta jest zobrazowana w jaskrawych, żywych odcieniach czerwieni, podczas gdy iglasta – w odcieniach stonowanych, ciemnoczerwonych, niekiedy przechodzących w brąz (Rys. 2). Podobnie rozróżniać można roślinność w dobrej kondycji i taką, która znajduje się w warunkach stresowych.



Rys. 2. Puszcza Białowieska – zobrazowanie satelitarne Landsat 8. Po lewej zobrazowanie w barwach naturalnych, po

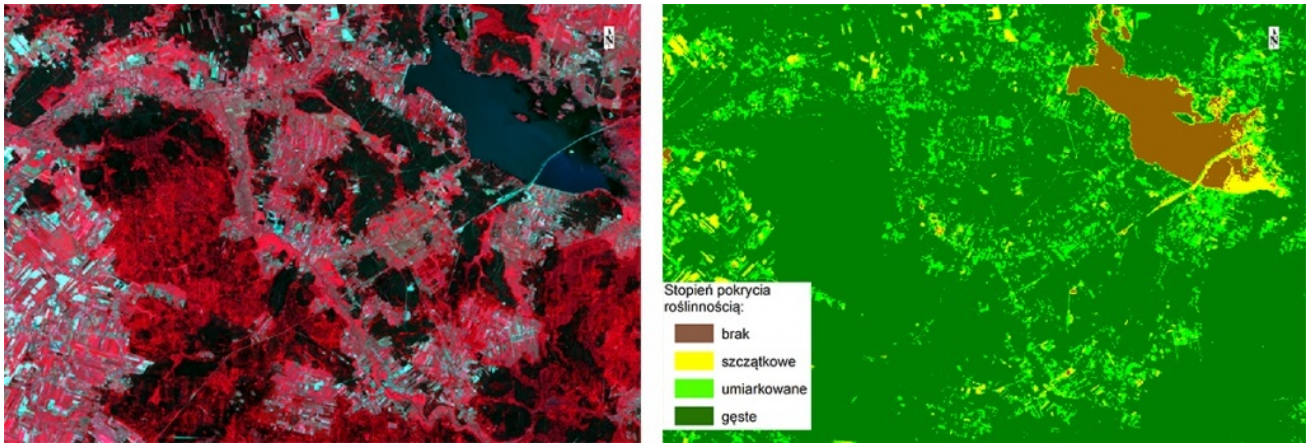
prawej kompozycja w barwach fałszywych (CIR) z wykorzystaniem kanału bliskiej podczerwieni.

Tele-detektyw

Skoro utworzenie odpowiedniej kompozycji barwnej z wykorzystaniem wybranych zakresów spektralnych jest w stanie pokazać tak duże zmiany na obrazie, to jakiego typu informacji dostarczy dogłębna analiza zdjęć? Poszczególne piksele z każdej warstwy zdjęcia wielokanałowego niosą w sobie informację o zarejestrowanej ilości odbitego promieniowania dla konkretnego zakresu długości fal. Taką informację wykorzystać można do prostych oraz zaawansowanych analiz roślinności, w tym lasów.

Dobrym przykładem jest analiza pokrycia terenu przez roślinność. Umożliwić ją może wykorzystanie narzędzia *SPEAR Vegetation Delineation* dostępnego w oprogramowaniu do analizy danych rastrowych ENVI firmy Harris.

SPEAR Vegetation Delineation jest narzędziem typu *workflow* – oznacza to, iż zawiera w sobie zestaw narzędzi podstawowych wymaganych do odpowiedniego przygotowania danych (np. zniwelowanie wpływu atmosfery na zarejestrowaną informację spektralną poprzez wykonanie korekcji atmosferycznej), uruchamianych przy pomocy interaktywnego menu. Menu to krok po kroku przeprowadza użytkownika przez każdy etap analizy, oferując jednocześnie wyczerpujący opis podejmowanych działań oraz informację o wymaganych danych wsadowych. Efektem analizy jest zgeneralizowany barwny obraz, na którym wydzielone są obszary pokryte roślinnością i obszary jej pozbawione; można również oszacować stopień pokrycia terenu szatą roślinną w czterech klasach: brak roślinności, pokrycie szczątkowe, umiarkowane oraz gęste (Rys. 3).



Rys. 3. Porównanie zobrazowania Landsat 8 w kompozycji w barwach fałszywych z obrazem wynikowym uzyskanym z wykorzystaniem narzędzia SPEAR Vegetation Delineation.

Oprócz oszacowania stopnia pokrycia terenu możemy również ocenić kondycję samego drzewostanu.

Z pomocą przychodzą tu teledetekcyjne wskaźniki kondycji roślinności, czyli równania matematyczne, które stanowią sumy, różnice, iloczyny bądź ilorazy wielkości odbitego promieniowania zarejestrowanego w poszczególnych kanałach zdjęcia wielokanałowego. Wskaźniki te oblicza się na podstawie innych zależności w przypadku danych wielospektralnych, czyli takich, które składają się z kilku kanałów rejestrujących szerokie zakresy spektralne (np. przedział długości fal 550 – 600 nm) oraz w przypadku danych hiperspektralnych, które posiadają od kilkudziesięciu do kilkuset kanałów, rejestrujących odbicie w bardzo wąskich zakresach spektralnych (np. kilka nanometrów).

Przedstawione narzędzie *SPEAR Vegetation Delineation* szacuje pokrycie roślinnością wykorzystując m.in. Znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Rys. 4). Wskaźnik ten oparty jest na porównaniu zarejestrowanego odbicia promieniowania elektromagnetycznego z zakresu bliskiej podczerwieni do absorpcji światła widzialnego czerwonego. Wartości odbicia promieniowania w tych zakresach zależą odpowiednio od zawartości chlorofilu oraz stanu i rodzaju struktur

komórkowych roślinności.

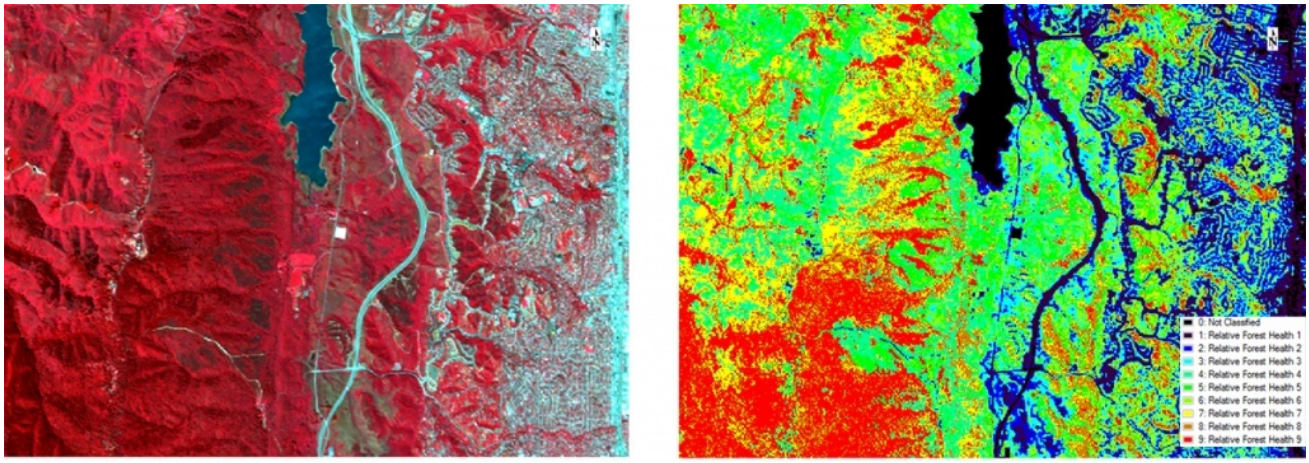
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Rys. 4. Wzór na Znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji.

NDVI jest przykładem wskaźnika wykorzystującego szerokie zakresy spektrum elektromagnetycznego. Wskaźniki tego typu informują o ogólnych cechach roślinności np. jej występowaniu, wigorze, czy też zawartości wody i obliczane są najczęściej ze zdjęć wielospektralnych.

Z kolei wskaźniki oparte na wąskich zakresach spektrum bądź też wykorzystujące konkretne długości fali pozwalają na szczegółowe badanie takich biofizycznych cech roślinności jak: uszkodzenie struktur komórkowych, zawartość chlorofilu czy barwników ochronnych, zawartość azotu lub wykorzystanie światła w procesie fotosyntezy. Do obliczenia takich wskaźników niezbędne są dane hiperspektralne.

W oprogramowaniu ENVI narzędziem dedykowanym do szczegółowej analizy kondycji drzewostanu jest *Forest Health Vegetation Analysis.* Wykorzystuje ono trzy wybrane wskaźniki hiperspektralne do utworzenia kompleksowego wskaźnika kondycji lasu. Wynik zaprezentowany jest w postaci obrazu (Rys. 5), w którym za pomocą 9 barwnych klas przedstawiona jest kondycja roślinności, w skali od 1 (najgorsza) do 9 (najlepsza).



Rys. 5. Porównanie zobrazowania hiperspektralnego w kompozycji w barwach fałszywych z obrazem wynikowym utworzonym z wykorzystaniem narzędzia Forest Health Vegetation.

Nie tylko dla zaawansowanych

Obrazy prezentujące rozkład wartości wskaźników roślinności mogą być wykorzystywane w dalszych analizach jako dane rastrowe, bądź też przekształcone na format wektorowy lub przedstawione w postaci mapy. Wykorzystanie nawet ogólnodostępnych wielospektralnych danych teledetekcyjnych pozwala diametralnie usprawnić metody długotrwałego monitoringu roślinności, a zastosowanie odpowiedniego oprogramowania umożliwia opracowanie danych przez osoby, które nie mają dużego doświadczenia w pracy z teledetekcją. Na podstawie tak pozyskanych informacji można oceniać nie tylko obecny stan lasu, ale także reagować odpowiednio wcześnie w sytuacjach zagrożenia jego stanu zdrowotnego.