

Czy możliwa jest identyfikacja nieleśnych siedlisk Natura 2000 metodami teledetekcyjnymi? Wyzwanie na przyszłość czy technologia na wyciągnięcie ręki?

Dolina Biebrzy w swej historii miała wielu gospodarzy. Od dawien dawna, jako bagienna dolina o rozległych brzegach, trudna do zdobycia i niedostępna, pełniła funkcję naturalnej granicy państw. W tamtych czasach bogactwo walorów przyrodniczych było jej wartością. Czasy się zmieniały, a wraz z nimi inne stawały się potrzeby człowieka. Dolina Biebrzy coraz częściej przegrywała z potrzebami rolnictwa. Wkroczyły melioracje, osuszenia, a wraz z nimi cały łańcuch zdarzeń, które doprowadziły do zniszczenia lub przekształcenia naturalnych i półnaturalnych ekosystemów bagiennych.

Dziś w Biebrzańskim Parku Narodowym prowadzone są działania ochrony czynnej zmierzające do odtworzenia i wzrostu dawnej różnorodności biologicznej. Właśnie dla realizacji tych celów w 2012 roku zainicjowano projekt *Ochrona siedlisk mokradłowych doliny Górnej Biebrzy*, współfinansowanego przez program LIFE+.

Do głównych zadań projektu należały: odtworzenie mozaiki bagiennych ekosystemów otwartych, stabilizacja poziomu wód gruntowych oraz odtworzenia siedlisk mokradłowych. Jednym z pierwszych wyzwań rozpoczynającego się projektu było przeprowadzenie szczegółowej inwentaryzacji przyrodniczej całego obszaru basenu Górnej Biebrzy o powierzchni 171 km² (w tym zbiorowiska nieleśne o powierzchni 123,8 km²) i opracowanie mapy roślinności obrazującej stan „zero”. Z uwagi na wielkość

obszaru, jego niedostępność, czas i skalę opracowania zdecydowano, że mapa ta zostanie stworzona przy wsparciu danych i analiz teledetekcyjnych. Wykonawcą tego nowatorskiego zadania był zespół specjalistów z wielu dziedzin: botaniki, hydrologii, i teledetekcji, skupiony wokół wykonującej to zadanie firmy MGGP Aero. Przyjęta metodyka prac zakładała pozyskanie jednoczesowej informacji teledetekcyjnej, zarejestrowanej różnymi sensorami z pułapu lotniczego dla całego obszaru opracowania. Zaangażowanie różnych sensorów, takich jak Lotniczy Skaner Laserowy (ALS), kamer wielo- i hiperspektralnych, termalnych i ukośnych, pozwoliło na cyfrowe zarejestrowanie wielu różnych cech badanej roślinności w jednej chwili. Kameralna analiza tych cech i ich wzajemnych relacji w obrębie wydzielonych homogenicznych płatów roślinnych (segmentów) w połączeniu z punktowym rozpoznaniem terenowym pozwoliła na opracowanie mapy roślinności oddającej jej rzeczywisty stan. Innowacyjność metody oraz efekty prac zaprezentujemy na przykładzie detekcji dwóch siedlisk: niżowych muraw bliźniczkowych i torfowisk zasadowych.

Torfowiska zasadowe i murawy bliźniczkowe w basenie Górnej Biebrzy

Na terenie obszaru Natura 2000 Dolina Biebrzy objętym badaniami występuje pięć chronionych typów nieleśnych siedlisk przyrodniczych. Rozpoznanie teledetekcyjne przeprowadzono na dwóch spośród nich: niżowych murawach bliźniczkowych (kod siedliska: 6230) i torfowiskach zasadowych (kod siedliska: 7230). Torfowiska zasadowe pokrywają ponad 900 ha badanego terenu. Występują one przeważnie w dużych płatach, są bardzo zróżnicowane florystycznie i należą do najcenniejszych komponentów przyrody doliny Biebrzy. W ich składzie gatunkowym brak jest jednego wyraźnego dominanta, a dobrze wykształcone i zachowane płaty charakteryzują się dużym bogactwem gatunkowym i dwuwarstwową budową. Warstwę wyższą tworzą byliny z dominacją roślin jednoliściennych (turzyc i traw), natomiast warstwę niższą – mszaki, które średnio osiągają większe

porycie niż byliny.

Siedlisko to rozwija się na torfowiskach zasilanych wodami podziemnymi i stale wysyconych wodą. Poziom wody na tych torfowiskach powinien być zbliżony do poziomu gruntu. W wyniku braku kośnego użytkowania oraz obniżania się poziomu wód gruntowych wiele płątów ulega spontanicznej sukcesji w kierunku lasów bagiennych. Przejawia się to wnikaniem do płątów siedliska różnych gatunków krzewiastych wierzb oraz drzew lasotwórczych: brzozy omszonej (*Betula pubescens*) czy olszy czarnej (*Alnus glutinosa*).



Fot. 1. Torfowisko zasadowe (kod siedliska: 7230) – rozległy płąt dobrze zachowanego siedliska (fot. D. Kopeć, 10 lipca 2014 roku).

Dla odmiany, murawy bliźniczkowe w dolinie Biebrzy występują przeważnie w postaci niewielkich płątów na mineralnych wniesieniach terenu, na obrzeżach torfowisk lub wzdłuż granicy lasu. Badania, prowadzone w ostatnich latach na potrzeby planu

zadań ochronnych, wykazały obecność jedynie dziewięciu płatów tego siedliska o łącznej powierzchni 2,58 ha. Cechą charakterystyczną tych muraw jest specyficzna fizjonomia, uwarunkowana masowym występowaniem bliźniczki psiej trawki (*Nardus stricta*). Gatunek ten dominuje w płatach siedliska i osiąga pokrycie do ok. 70 proc. Dzięki niemu murawa ta wyróżnia się małym zróżnicowaniem wysokości i niskim wzrostem tworzących ją roślin (od 5 do 30 cm, średnio mniej więcej 20 cm).

Siedliska te charakteryzują się więc odmienną od torfowisk fizjonomią, strukturą przestrzenną płatów i warunkami występowania.



Fot. 2. Murawa bliźniczkowa (kod siedliska: 6230) – w płacie dominacja jasnoszarej kępkowej trawy bliźniczki psiej trawki (fot. D. Kopeć, 1 października 2013 roku).

Co nam daje teledetekcja?

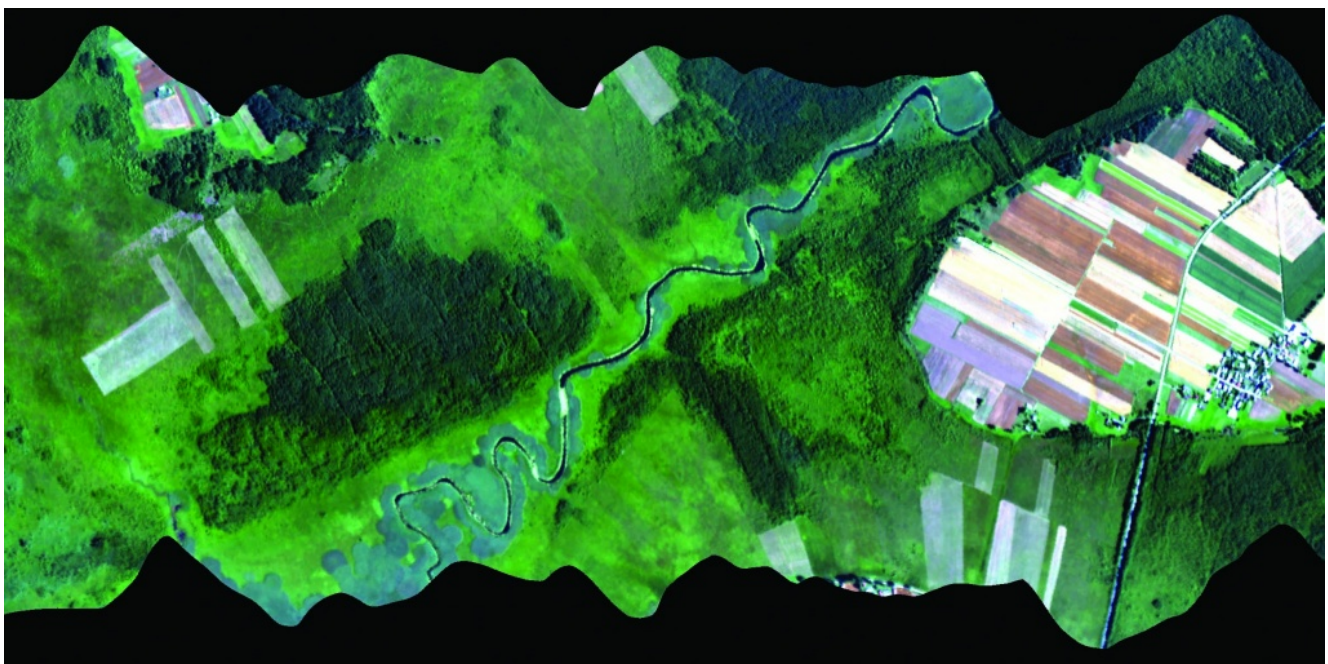
Możliwości analizy teledetekcyjnej elementów środowiska, w tym opisywanych torfowisk zasadowych i murawy bliźniczkowej, zależą od umiejętności opisanie cech fizycznych siedlisk wartościami matematycznymi, zarejestrowanymi przy pomocy lotniczych sensorów teledetekcyjnych. Wydaje się, że zastosowanie tych metod do prowadzenia inwentaryzacji przyrodniczej przynosi wiele korzyści. Pozwala realizować zadania relatywnie szybko, na dużych powierzchniach, zachowując niezbędną szczegółowość i nadając wynikom jednocześnie obiektywny wymiar. Co istotne, pozyskane dane teledetekcyjne są materiałem zarchiwizowanym, dostępnym do dalszej analizy na etapie weryfikacji jakości prac inwentaryzacyjnych, przyszłego monitoringu stanu środowiska lub ponownego przeanalizowania danych z zastosowaniem nowych, niedostępnych obecnie metod analitycznych.

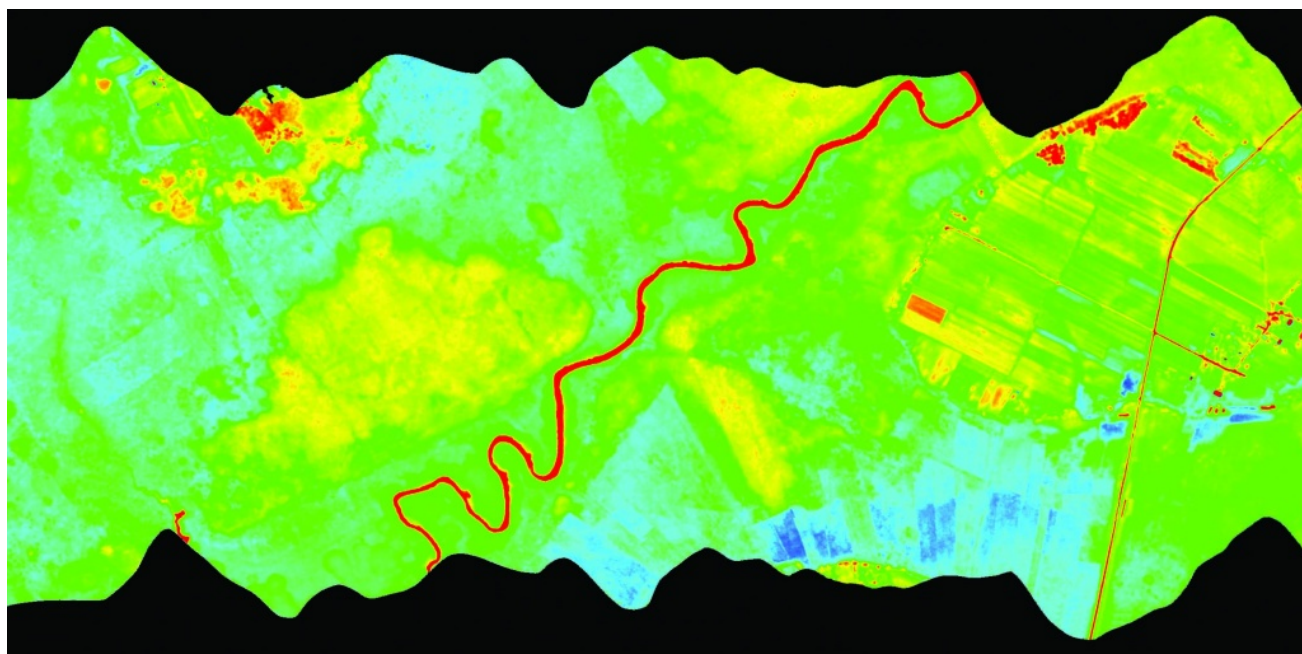
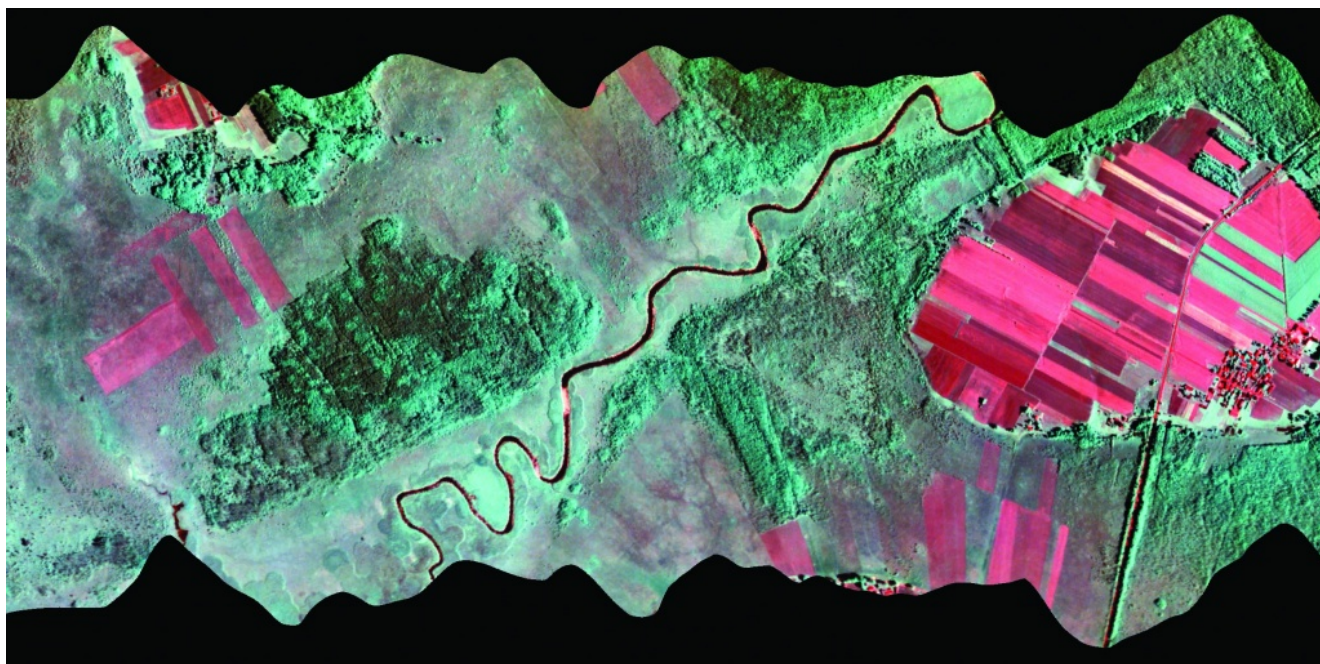
Wielosensorowa kolekcja danych

4 sierpnia 2013 roku, wcześniej rano, z lotniska w Mińsku Mazowieckim wystartowały samoloty kierujące się na północny wschód, ku dolinie Górnej Biebrzy. Uzbrojone w sensory teledetekcyjne (Lotniczy Skaner Laserowy, kamery wielospektralne i hiperspektralne, termalne i ukośne), pozyskały obraz o aktualnym stanie doliny. Był to kluczowy etap projektu. Od jego efektów zależały wszystkie kolejne prace analityczne, determinowane jakością i pojemnością informacyjną danych teledetekcyjnych. W trakcie kolekcji danych nic nie mogło być przypadkowe, od terminu kolekcji danych, który był uwarunkowany fazą rozwoju roślinności i użytkowania doliny, poprzez parametry nalotu i pracy każdego z sensorów. Wszystko miało swój cel i służyło pozyskaniu aktualnej i jednoczesnej informacji o rzeczywistym odwzorowaniu przestrzennym i wysokościowym terenu oraz pokrywy roślinnej. Z pomocą sensorów zidentyfikowano właściwości roślin rejestrowane w różnych zakresach długości fali

elektromagnetycznej, które w indywidualny dla siebie sposób opisywały stan fizyczny roślinności doliny Górnej Biebrzy. Uzyskano w ten sposób kartometryczny materiał w postaci ortofotomap w barwach naturalnych i nienaturalnych (wykorzystując do ich opracowania zakres promieniowania w bliskiej podczerwieni), obrazy termalne oddające potencjał do akumulacji i oddawania energii cieplnej przez siedliska odpowiednio w dzień i w nocy, zobrażenia hiperspektralne pozwalające na identyfikacje indywidualnych charakterystyk spektralnych dla każdej rośliny całkowicie wypełniajacej piksel obrazu. Obliczono również indeksy roślinne, m.in.: $NDVI_{705}$, WBI, SAVI, EVI, SIPI, opisujące stan i kondycje roślin. Analizy te zostały przeprowadzone w środowisku oprogramowania Envi 5.1, przeznaczonym do pracy z danymi teledetekcyjnymi. Dodatkowo na podstawie chmury punktów uzyskanej metodą ALS poza Numerycznym Modelem Terenu (DTM) i Numerycznym Modelem Pokrycia Terenu (DSM) opracowano warstwy oddające pionową strukturę wysokościową szaty roślinnej, względnej wysokości pokrywy roślinnej (nDSM), jej zwarcie i gęstość.

Zgromadzony materiał pozwolił przejść do kolejnego etapu prac, czyli detekcji siedlisk.





Rys. 1. Wielosensorowe kolekcje danych. Od góry zobrazenie wielospektralne, hiperspektralne i termalne.

Detekcja torfowisk zasadowych

Ze względu na duże zróżnicowanie florystyczne torfowiska zasadowe są siedliskiem niejednorodnym i w konsekwencji wynik ich identyfikacji tylko na podstawie zobrażeń hiperspektralnych wydawał się niesatysfakcjonujący. W konsekwencji do detekcji torfowisk posłużono się wieloma

parametrami pochodzącymi z przetworzeń chmury punktów i danych obrazowych. Łącznie obliczono 15 różnych parametrów fizycznie opisujących homogeniczne płaty roślinności. Następnie, wykorzystując cechy 12 spośród nich, wypracowano algorytm, który zidentyfikował segmenty torfowisk. Dla każdej z 12 cech określono zakres wartości, jaki musi spełniać, oraz wzajemne relacje pomiędzy tymi cechami, aby dany segment został zaklasyfikowany do torfowisk zasadowych. Szczególnie ważne w tej analizie okazały się zobrażenia termalne. Wysoka dobowa amplituda temperatury płatów roślinnych oddzielała torfowiska zasadowe od innych hydrogenicznych zbiorowisk nieleśnych. Wysznięto hipotezę, że ma to bezpośredni związek z dużą zdolnością tych siedlisk do szybkiego wychładzania się po zmierzchu.



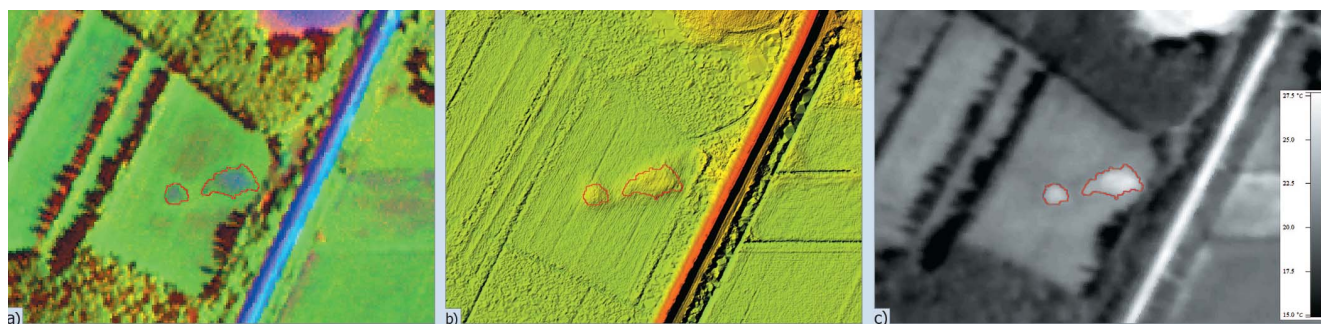
Rys. 2. Wyznaczony teledetekcyjnie zasięg torfowisk zasadowych z wydzieleniem płatów podlegających sukcesji.

Posiadając już wydzielone płaty torfowisk zasadowych, przeprowadzono uproszczoną ocenę ich stanu zachowania, opierając się na informacji, czy siedlisko ulega zarastaniu oraz, ewentualnie, czy jest koszone. Do tej oceny wykorzystano parametr względnej wysokości pokrywy roślinnej nDSM oraz średniej i maksymalnej wysokości roślinności w płacie. Dla torfowisk zasadowych w górnym basenie Biebrzy przyjęto, że

płaty, w których następuje sukcesja roślinności zaroślowej i drzewiastej, cechuje średnia wysokość roślinność powyżej 0,75 m.

Detekcja muraw bliźniczkowych

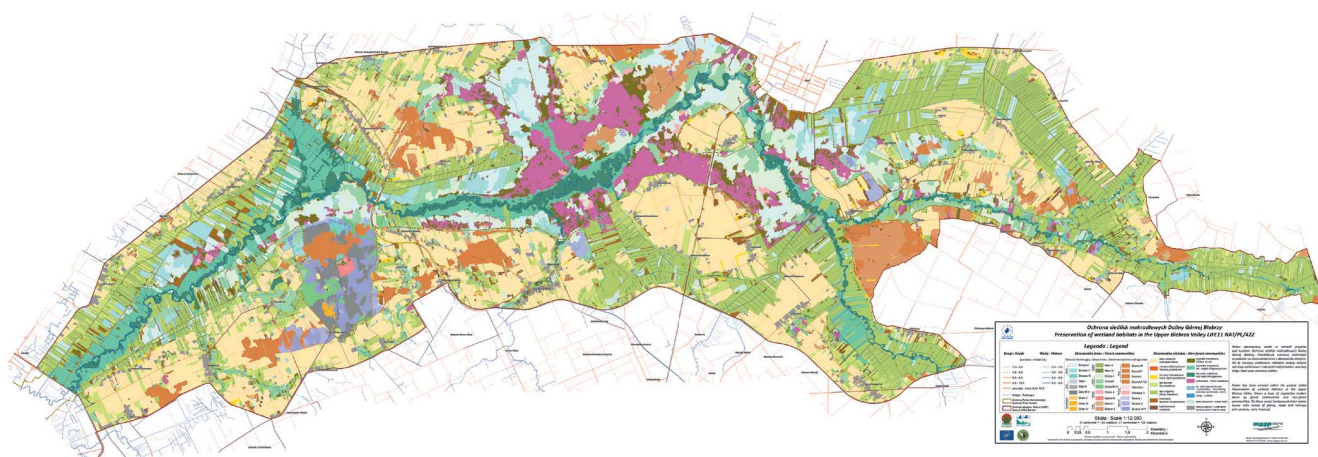
Identyfikacja płatów muraw bliźniczkowych w dolinie Górnej Biebrzy prowadzona była przy użyciu danych hiperspektralnych oraz ALS. Wykorzystując fakt, że murawy buduje jeden gatunek trawy który zajmuje mniej więcej 70 proc. powierzchni płatu, ma zwartą i kępkową budowę, identyfikacji dokonano poprzez klasyfikację obrazów hiperspektralnych z zastosowaniem pól treningowych, dla których terenowo stwierdzono występowanie muraw bliźniczkowych. W procesie klasyfikacji przeprowadzono analizę całego obszaru badań, automatycznie identyfikując piksele o podobnej charakterystyce spektralnej. W wyniku tej analiz wyznaczono potencjalne siedliska muraw. Na dalszym etapie poddano weryfikacji poprawność przeprowadzonej klasyfikacji z zastosowaniem analizy nDSM, DTM i temperatury dziennej. Wykorzystując cechy bliźniczki (niewielka wysokość oraz duża homogeniczność płatów), obliczono zakres średniej wysokości i odchylenie standardowe w segmencie, które były charakterystyczny tylko dla muraw bliźniczkowych. Dodatkowo, biorąc pod uwagę fakt, że murawy występują na mineralnych wniesieniach terenu, sprawdzono warunki mikrorzeźby terenu na DTM oraz zakres wysokości temperatury dziennej z uwagi na podatność siedliska bliźniczki na silne nagrzewanie. Kwerenda obliczonych zmiennych wskazała homogeniczne płaty murawy bliźniczkowej.



Rys. 3. Cechy siedliska (muraw bliźniczkowych) zidentyfikowane na danych teledetekcyjnych: a) obraz hiperspektralny, b) Numeryczny Model Terenu, c) obraz termalny.

Kierunki przyszłych badań

Identyfikacja siedlisk Natura 2000 metodami teledetekcyjnymi zaczyna się dopiero rozwijać, ale już na tym etapie prac osiągnięte efekty są zaskakujące dobre. Dzięki przeprowadzeniu takich badań w dolinie Biebrzy możliwe było wskazanie nowych, dobrze zachowanych płatów torfowisk zasadowych, które metodami kartowania terenowego nie zostały dotychczas wydzielone. Zasadne wydaje się więc dalsze rozwijanie tej przestrzeni badań poprzez poszukiwanie nowych algorytmów opisujących poszczególne siedliska przyrodnicze i pozwalających charakteryzować również ich stan zachowania. Wypracowanie takich narzędzi będzie ważnym krokiem w rozwoju współczesnej ochrony przyrody.



Rys. 4. Mapa roślinności doliny Górnej Biebrzy opracowana metodami teledetekcyjnymi.