

Korzyści z obrazowania wielospektralnego

Przegląd metod teledetekcyjnych w leśnictwie

Informujemy, że wszelkie prawa autorskie i prawa własności intelektualnej do materiału, w szczególności do zawartych w nim zdjęć, tekstów, opisów w tym tłumaczenia stanowią wyłączną własność firmy NaviGate sp. z o.o. oraz MicaSense, Inc. i objęte są ochroną prawną autorską. Zabronione jest w szczególności kopiowanie, modyfikowanie oraz wykorzystywanie w szczególności w celach komercyjnych ww. własności firmy NaviGate Sp. z o.o i MicaSense, Inc. Niniejsza nota dotyczy również znaków towarowych zawartych w katalogu, chyba, że jako właściciel jest oznaczony inny podmiot.



Tłumaczenie: dr hab. inż. Grzegorz Durło



Firma ekspercka, która oferuje innowacyjne rozwiązania pomiarowe oraz szkolenia dla GIS i geodezji, a także jest dostawcą zaawansowanych bezzałogowych statków powietrznych (dronów) do profesjonalnych zastosowań środowiskowych, geodezyjnych i przemysłowych.

NaviGate jest autoryzowanym dystrybutorem dronów marki DJI Enterprise, FlyTech i ATMOS, sensorów (kamer do dronów) MicaSense i oprogramowania do przetwarzania i obróbki danych (Pix4D i Agisoft). Jako integrator technologii wykonujemy dedykowane rozwiązania, spersonalizowane do potrzeb klienta.



ENTERPRISE
AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



FLY
TECH
UAV

AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



ATMOS UAV

AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



OFFICIAL
RESELLER
2020



AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR

Więcej na temat dedykowanej i kompleksowej oferty z bezzałogowymi statkami powietrznej (dronami), a także kamerami multispektralnymi dla Lasów Państwowych znajduje się w Biuletynie Informacyjnym.

navigate.pl/biuletyn-lasy-panstwowe-drony



ul. Wadowicka 8a
30-415 Kraków

tel. 12 200-22-28
drony@navigate.pl

navigate.pl
szkolenia.navigate.pl

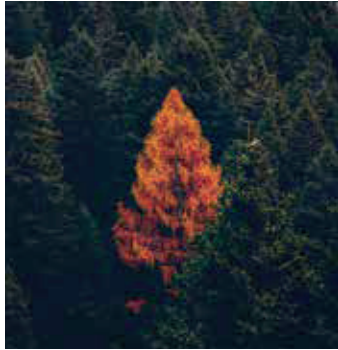


Spis treści

Wstęp	2
Rodzaje zdjęć	4
Tabela rodzajów zdjęć	4
Korzyści z obrazowania wielospektralnego w leśnictwie	6
Zasięg oraz wydajność	7
Dostępność do odległych regionów	7
Rozdzielczość	8
Dokładność	9
Zastosowanie	10
Zagęszczenie drzewostanu	11
Liczebność osobników	12
Stan zdrowotny drzew (chlorofil oraz biomasa)	13
Monitorowanie i identyfikacja chorób	14
Wykrywanie i monitorowanie gatunków inwazyjnych	15
Wykrywanie zmian	17
Klasyfikacja gatunków drzew	18
Zarządzanie zasobami leśnymi	19
Monitorowanie procesu rewitalizacji po pożarze	20
Wnioski	21
Załączniki	22
Odnosiniki do zdjęć	23
Dodatkowe odnosiniki	26

Wstęp

Lasy stanowią około 30% powierzchni lądów. Są integralnym elementem środowiska przyrodniczego roślin i zwierząt, a także źródłem surowców dla wielu gałęzi gospodarki. Choć przez wiele lat głównym sposobem gromadzenia informacji na temat stanu lasu były ankiety wykonywane ręcznie, rozwój technologii satelitarnej w latach pięćdziesiątych zapewnił leśnikom znacznie szerszy dostęp do informacji z odległych oraz niedostępnych na co dzień regionów. Pierwszym krokiem w rozwoju teledetekcji satelitarnej było wystrzelenie sztucznych satelitów wyposażonych w sensory umożliwiające monitorowanie obszarów lądowych. Obecnie teledetekcja obrazowa stanowi wiarygodne źródło informacji o lesie, a nieustanny jej rozwój sprawia, że technologia ta staje się coraz bardziej powszechna. Instrumenty teledetekcyjne, takie jak czujniki promieniowania, kamery, skanery, lasery itp. rejestrują informacje o atrybutach obiektów naziemnych w różnych zakresach widma fal elektromagnetycznych. Dostarczają w ten sposób danych na temat pokrycia gleby przez roślinność, rodzajów i gatunków roślin, liczby drzew na danym obszarze, miąższości drewna, biomasy, stanu zdrowotnego i wielu ważnych z punktu widzenia gospodarki leśnej informacji. Metody teledetekcyjne oferują szeroką gamę narzędzi pozwalających na dokładną analizę zmian użytkowania oraz pokrycia terenu w dużej skali przestrzennej.



Dane teledetekcyjne można podzielić ze względu na trzy kategorie: rozdzielczość przestrzenna, spektralna oraz rozdzielczość czasowa. Techniki gromadzenia danych uzależnione są głównie od zakresu oraz wymaganej dokładności opracowania. Rozdzielczość przestrzenna odnosi się do liczby pikseli obrazu oraz liczby szczegółów opisujących obserwowane obiekty. Rozdzielczość czasowa odnosi się do częstotliwości gromadzenia i rejestrowania informacji. Z kolei rozdzielczość widmowa wskazuje, jaka część widma promieniowania elektromagnetycznego jest rejestrowana przez sensor. Obrazy o wysokiej rozdzielczości widmowej są zwykle rejestrowane przez czujniki wielospektralne i hiperspektralne, które można zamontować na satelitach, samolotach załogowych lub bezzałogowych platformach latających. Ostateczny wybór nośnika zależy od wymaganej rozdzielczości przestrzennej. Na przykład, czujniki zamontowane na dronach mogą zapewnić wyższą rozdzielczość przestrzenną aniżeli obrazy satelitarne, jednak w przypadku monitorowania większych obszarów obrazy satelitarne czy zdjęcia lotnicze są bardziej opłacalne.

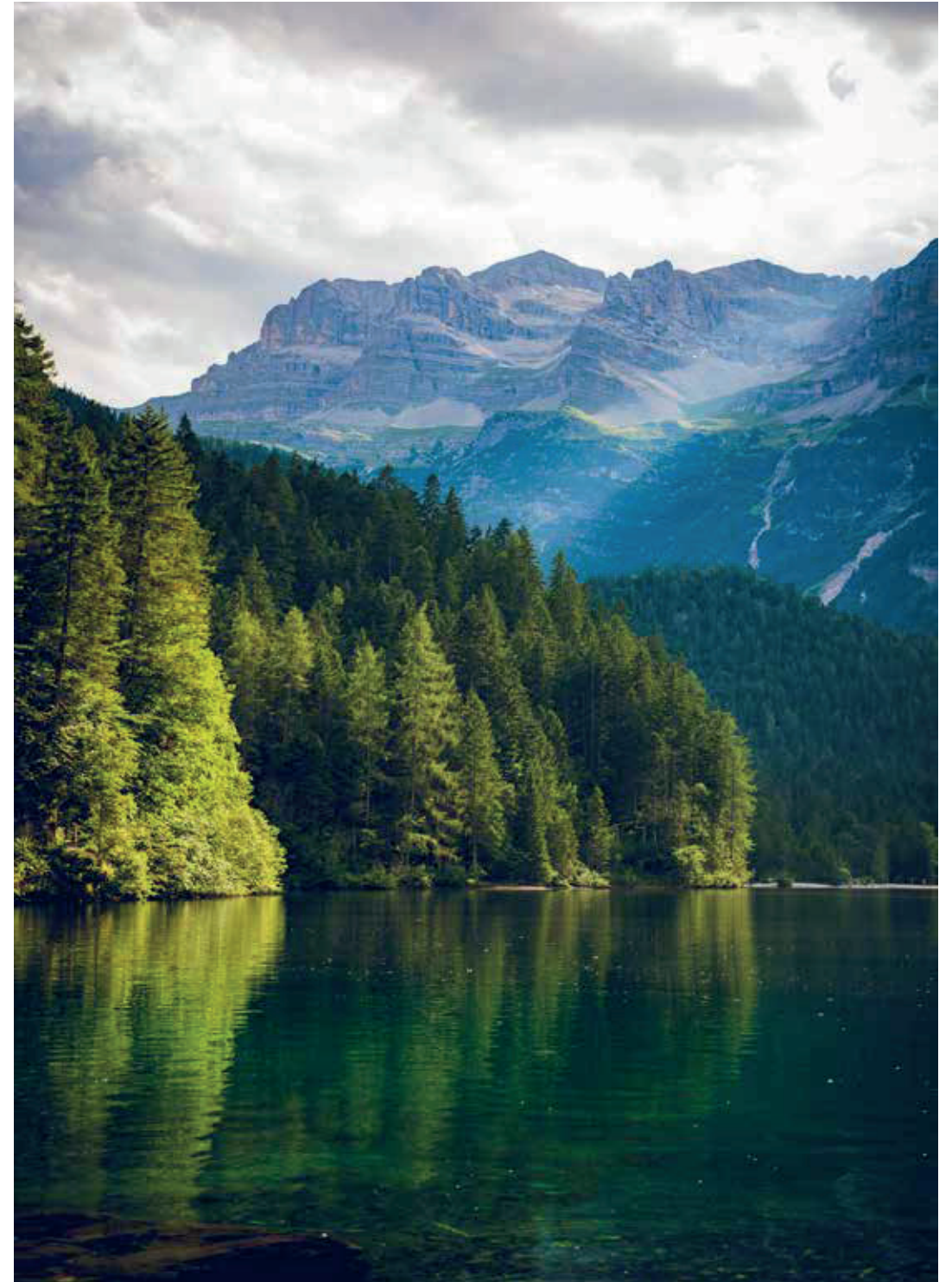


Tabela rodzajów zdjęć

Rodzaje zdjęć	Wielospektralne	Przestrzeń barw RGB	Hiperspektralne	Termiczne LWIR	Laserowe
	zbudowane z ograniczoną liczbą kanałów spektralnych najczęściej wykorzystywanych w analizach środowiska przyrodniczego, stosowane zwykle z bezzałogowymi statkami latającymi	najczęściej używane do odwzorowywania naturalnych kolorów mogą być używane do szybkiego tworzenia ortofotomap	najwyższa rozdzielczość widmowa z setkami pasm, najlepsza do analiz cech strukturalnych zbiorowisk leśnych	przydatna do analizy stresu wodnego u roślin oraz identyfikacji niektórych chorób grzybowych	może służyć do generowania szczegółowego modelu 3D terenu oraz oceny cech strukturalnych i biometrycznych lasu w tym jego miąższości
Korzyści	Wysoka rozdzielczość widmowa za przystępną cenę	Wysoka jakość obrazów, ułatwia identyfikację cech obiektów, przydatna w fotogrametrii. Ekonomiczne rozwiązanie	Wysoka rozdzielczość spektralna	Temperatura powierzchni czynnej i identyfikacja "gorących punktów"	Dostarcza znacznie więcej informacji aniżeli widok z lotu ptaka, przenika przez korony drzew do dolnych partii drzewostanu
Zastosowanie	Diagnostyka stanu zdrowotnego roślin, wczesne wykrywanie chorób itd.	Szybki przegląd porycia terenu, inwentaryzacja obiektów, liczebność drzew i zadrzewienie	Różnorodność wskaźników wegetacyjnych przydatnych w diagnostyce, badaniach naukowych oraz klasyfikacji gatunków roślin	Inspekcja pożarów, dozоровanie pożarysk	Szacowanie biomasy, analiza struktury wysokościowej drzewostanu, modelowanie 3D
Wady	Ograniczona rozdzielczość widmowa utrudnia zaawansowane analizy cech strukturalnych zbiorowisk leśnych	Niska rozdzielczość widmowa, ograniczona jedynie do zjawisk, które można wykryć w zakresie przestrzeni barw widzialnych	Analiza danych dużo bardziej złożona z uwagi na znacznie większą liczbę pasm promieniowania. Bardzo droga	Dostarcza jedynie danych na temat temperatury powierzchni czynnej bez możliwości interpretacji wizualnej obiektu	Nie oferuje obrazu, wymaga specjalnych narzędzi do analizy i może być trudna w interpretacji. Bardzo droga

An aerial photograph of a mountain valley. The left side is a dense green forest. A river flows through the center-right, with a large, irregularly shaped snowfield or glacier remnant situated above it. The terrain is rugged and mountainous.

Korzyści z obrazowania wielospektralnego w leśnictwie

Zasięg oraz wydajność

Plany zarządzania lasu wykonywane są w różnych aspektach dlatego wymagają analizy wielu parametrów na obszernym materiale źródłowym. W trakcie klasycznych zadań inwentaryzacyjnych leśnicy gromadzi od 10 do 20% pełnej informacji o lesie, a następnie dane poddaje ekstrapolacji. W przypadku określania zwarcia lub zadrzewienia drzewostanu liczba pomiarów może być jeszcze mniejsza w celu wytypowania tych fragmentów lasu, które wymagają trzebieży. Takie podejście stwarza ryzyko popełnienia błędu i w efekcie powstania strat w surowcu. Należy jednak pamiętać, że inwentaryzacja wzrokowa wykonana przez leśniczego zawsze pozostanie ważnym elementem oceny stanu lasu oraz źródłem informacji koniecznej do zweryfikowania jakości materiału uzyskanego przy użyciu statków bezzałogowych. Pozytywne rezultaty tej oceny mogą w przyszłości zaowocować zastąpieniem tradycyjnych metod technologią fotogrametryczną. Technologia ta radykalnie zwiększa zasięg obszarowy oraz dokładność pomiaru. Na przykład lot dronem nad powierzchnią 50 ha zajmuje około 1 godziny, w tym czasie leśnik musiałby poświęcić co najmniej 1 dzień lub więcej w zależności od warunków terenowych i rozmieszczenia poszczególnych oddziałów.

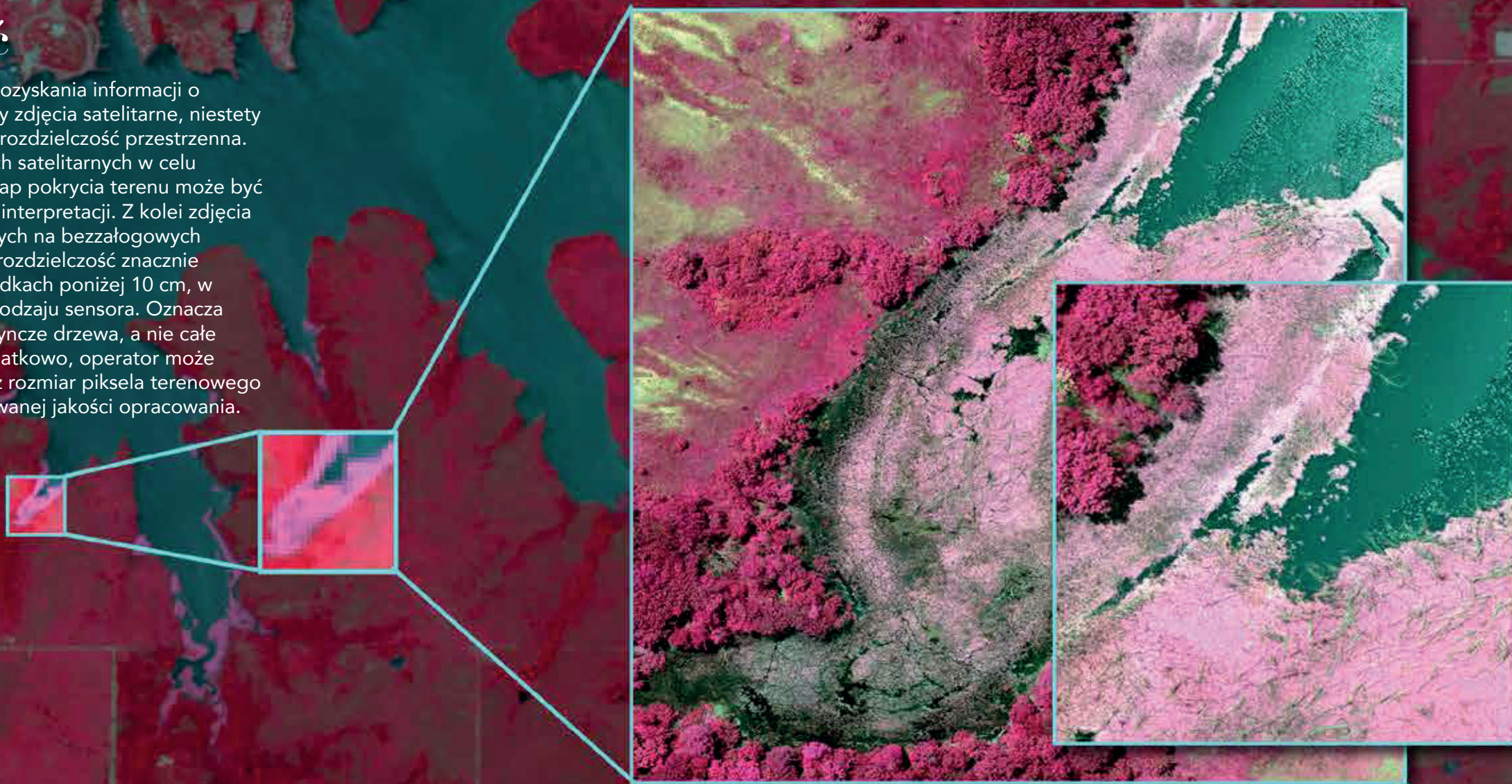
Dostępność do odległych regionów

Jak wiadomo, większość obszarów leśnych nie jest zlokalizowana na idealnie płaskich obszarach, składają się one bowiem z pagórków, mniej lub bardziej nachylonych zboczy, dolin, kotlin czy grzbietów - jak w terenach górskich. Generalnie tylko niewielki procent terenów leśnych jest dostępny dla pojazdów oraz ruchu pieszego ale niemal w całości są one dostępne dla bezzałogowych statków latających. Z tego względu im bardziej urozmaicony pod względem orograficznym obszar tym więcej danych możemy uzyskać ze zdjęć wykonanych z pokładu drona, a co za tym idzie, znacznie więcej informacji o stanie lasu.



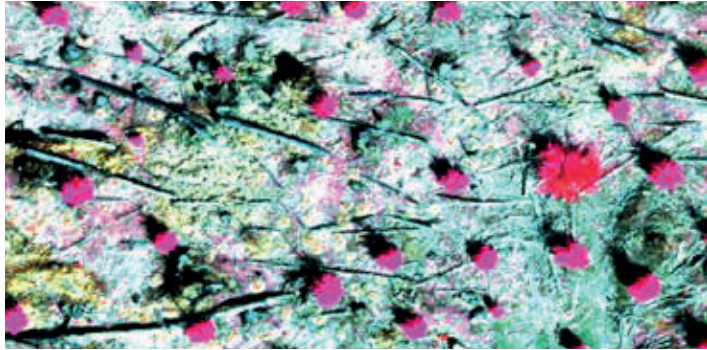
Rozdzielczość

W przeszłości jedyną metodą pozyskania informacji o lasach na dużych obszarach były zdjęcia satelitarne, niestety ograniczeniem była zawsze ich rozdzielczość przestrzenna. Z tego powodu praca na danych satelitarnych w celu sporządzania szczegółowych map pokrycia terenu może być niezadowalająca oraz trudna w interpretacji. Z kolei zdjęcia uzyskane z kamer zainstalowanych na bezzałogowych platformach latających oferują rozdzielczość znacznie poniżej 1 metra w wielu przypadkach poniżej 10 cm, w zależności od wysokości lotu i rodzaju sensora. Oznacza to, że można analizować pojedyncze drzewa, a nie całe biogrupy czy wydzielenia. Dodatkowo, operator może dostosować wysokość lotu oraz rozmiar piksela terenowego do typu szaty roślinnej i oczekiwanej jakości opracowania.



Rycina przedstawiająca porównanie rozdzielczości zdjęć z drona oraz satelity

Tło stanowi obraz z satelity Sentinel-2A



Dokładność

Być może największą korzyścią map wykonanych z kamer zainstalowanych na bezzałogowych platformach latających jest poprawa dokładności odwzorowania. Narzędzia analityczne wspomagające przetwarzanie obrazów wielospektralnych pozwalają leśnikom na analizę zarówno całych drzewostanów jak i poszczególnych fragmentów, a nawet pojedynczych drzew. Algorytmy liczenia drzew pozwalają na bardzo dokładne określenie zagęszczenia w oparciu o ortofotomapę całego obszaru, a nie tylko w oparciu o wybrane fragment lasu widoczne z linii oddziałowych.



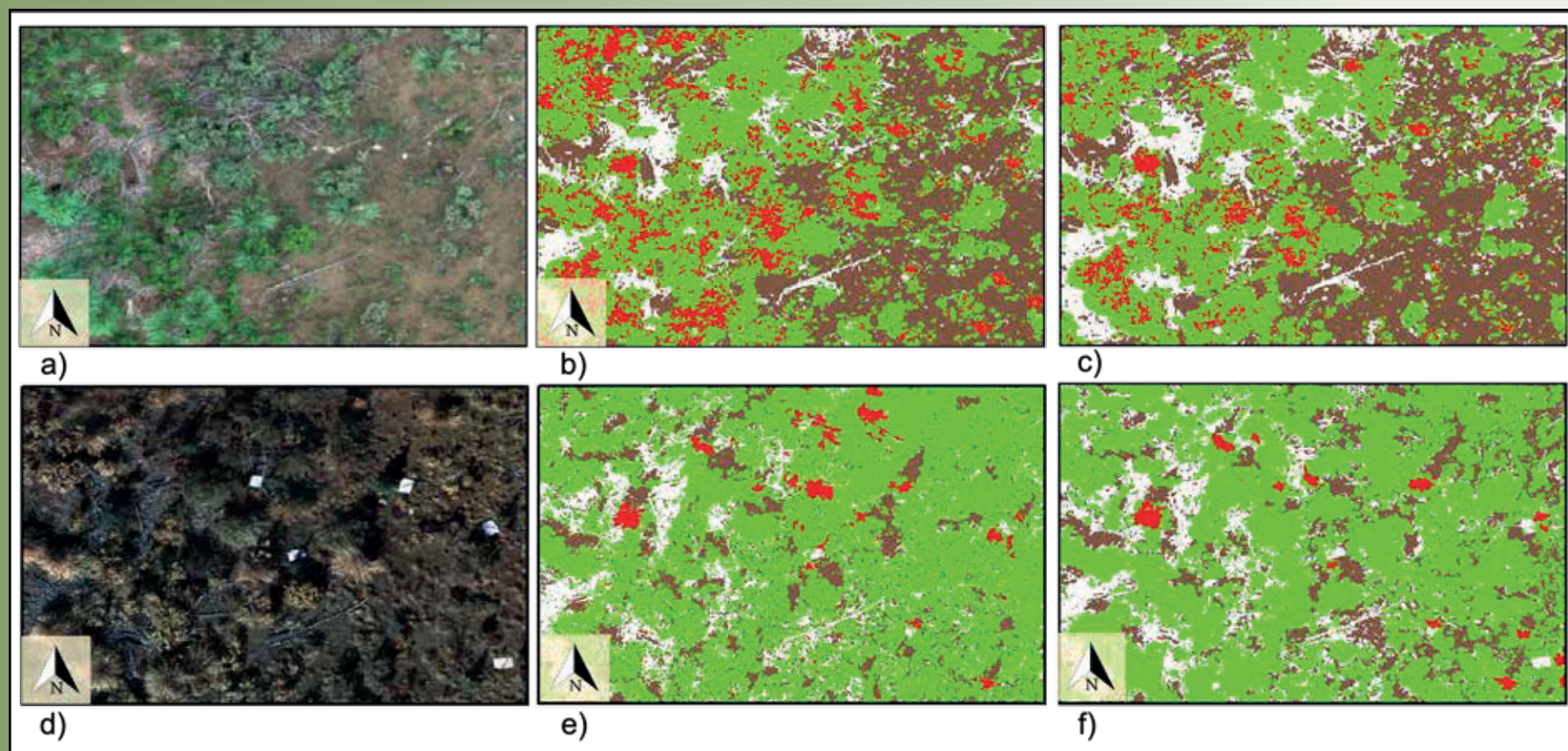
Zastosowanie

Zagęszczenie drzewostanu

Zagęszczenie drzew wyrażone liczbą osobników na jednostkę powierzchni jest ważnym elementem charakteryzującym konkurencję w zbiorowisku. W lasach o dużej gęstości (>70%) nie wszystkie drzewa mają taki sam dostęp do zasobów np. składników odżywczych czy wody, co skutkuje większą konkurencją, eliminacją słabszych osobników i wzrostem ryzyka uszkodzenia drzewostanu. Zagęszczenie jest zwykle określane klasycznymi metodami urządzeniowymi np. metodą powierzchni kołowych. Metoda ta opiera się na założeniu, że wszystkie osobniki mają losowy rozkład przestrzenny. Pomimo jej popularności nie jest to metoda najdokładniejsza, ponadto wymaga znacznego nakładu pracy i jest czasochłonna. Metody teledetekcyjne z użyciem dronów umożliwiają określenie zagęszczenia drzew w obszarach trudnodostępnych oraz ocenę stanu zdrowotnego drzew przy użyciu wskaźników wegetacyjnych wykorzystujących np. pasmo NIR takich jak NDVI, EVI czy SIPI. Niektóre z tych indeksów wykorzystuje się również do szacowania wielkości biomasy. Modele oparte na analizie wskaźnika refleksyjności zapewniają georeferencję w skali krajobrazu dla obszarów o dużym wskaźniku zagęszczenia drzew ułatwiając w ten sposób wyznaczenie trzebieży.

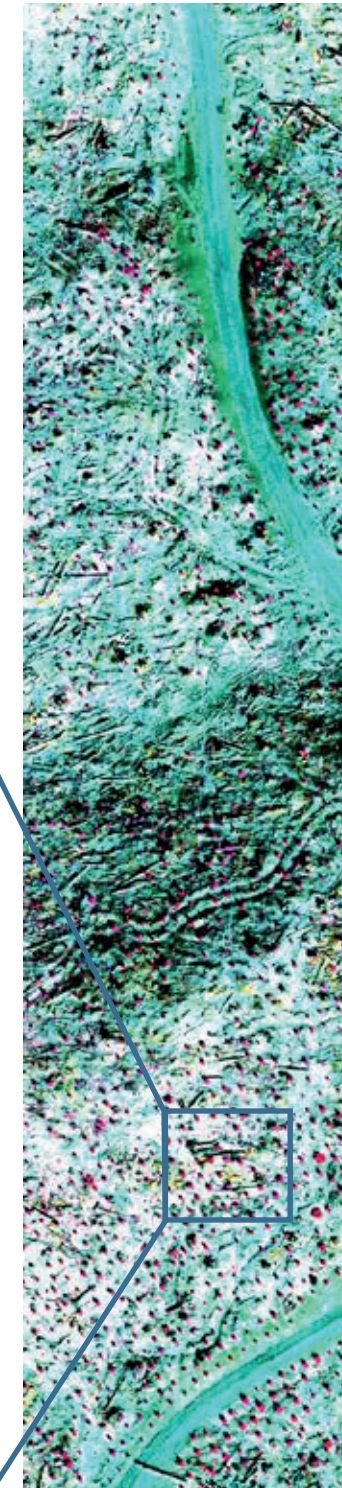
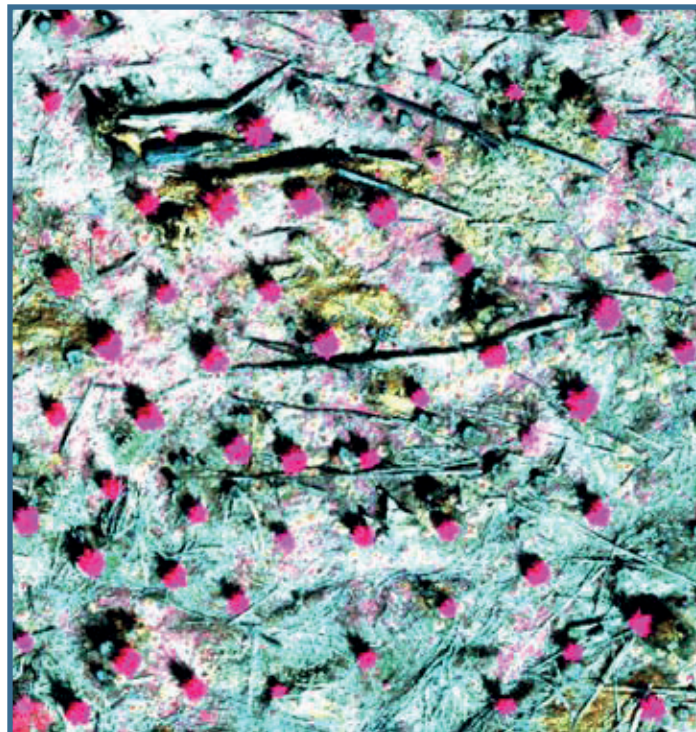
Ryciny po prawej stronie prezentują mapy gęstości drzew wygenerowane po dwóch misjach wykonanych w odstępie 3 miesięcy nad drzewostanem jałowca w stanie Oregon. Zdjęcia wykonano kamerą wielospektralną RedEdge-MX Micasense. Obrazy (a) i (d) to różne podzbiory oryginalnej ortomozaiki.

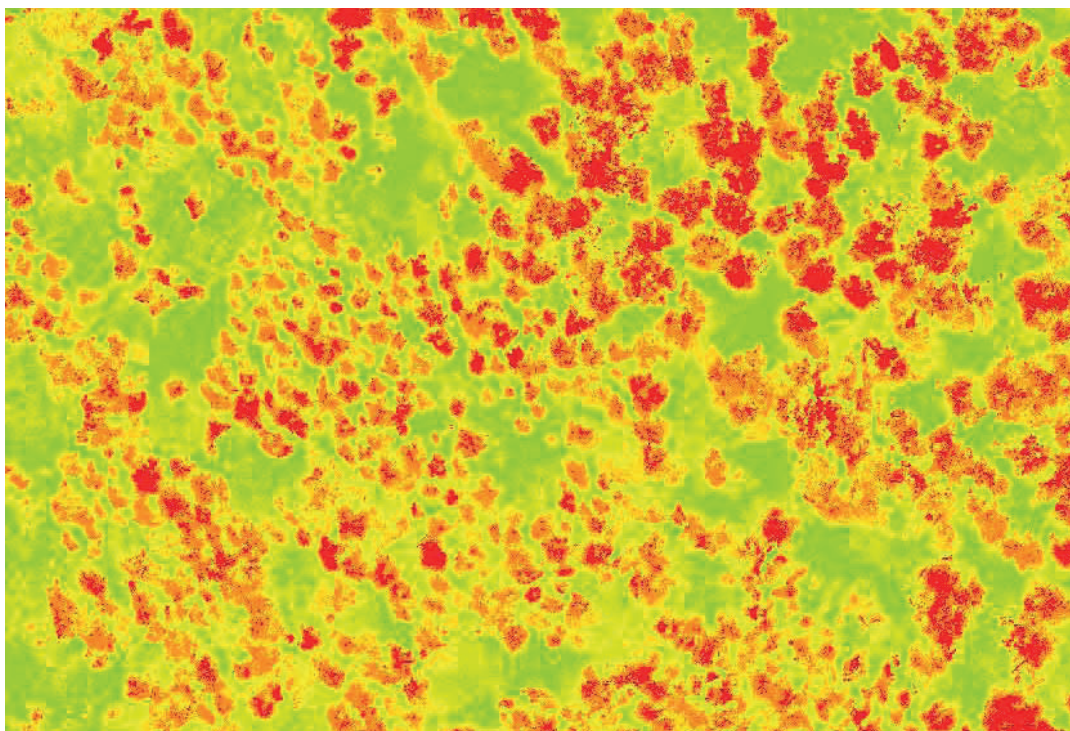
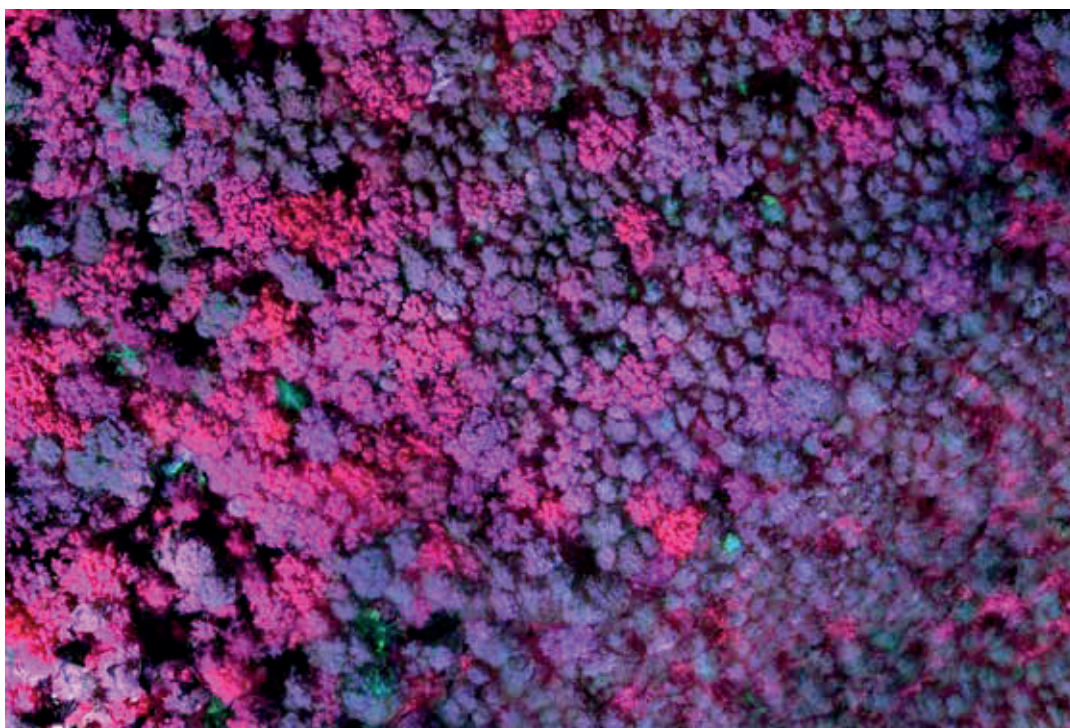
Obrazy (b) oraz (e) to rastry RGB tych podzbiorów, a obrazy (c) i (f) to wynik klasyfikacji wielospektralnej. Drzewa jałowca są na wszystkich obrazach prezentowane w kolorze czerwonym. Obrazy wielospektralne miały najsilniejszy związek ($R_{corr} = 80\%$) z późniejszymi pomiarami naziemnymi.



Liczebność osobników

Liczba drzew na danej powierzchni jest niezwykle ważnym jeśli nie najważniejszym elementem oceny zasobów w gospodarstwie leśnym. Wiedza na ten temat stanowi podstawę określania tempa odnowienia lasu, aktualnej jego miąższości oraz prognozowanej zasobności, decyduje o strategii gospodarowania i kierunku dalszego rozwoju ekosystemu leśnego. Tradycyjne metody pomiarowe oparte na stałych powierzchniach kontrolnych lub na losowo wybranych stanowiskach mogą być obarczone błędami przypadkowymi, ponadto obejmują zwykle tylko niewielką część większego fragment drzewostanu, są także czasochłonne i kosztowne. W przeciwieństwie do tej metody algorytmy liczące drzewa w oparciu o zdjęcia wysokiej rozdzielczości wykonane przy użyciu bezzałogowych statków latających są w stanie zidentyfikować, a następnie wyizolować każdego osobnika na końcu podając całkowitą liczbę drzew. Obrazy wykonane kamerami wielospektralnymi są przydatne do liczenia stanowisk w terenach, na których konkurencyjna roślinność może utrudniać identyfikację drzew tylko na podstawie zdjęć RGB. Wykorzystanie pasm RedEdge oraz NIR może ułatwić odróżnienie koron drzew od pozostałych roślin, zaś metody uczenia maszynowego mogą ten proces zautomatyzować. Ponieważ coraz więcej leśników używa dronów w codziennej pracy zwiększa się dokładność w obszarze inwentaryzacji, a jednocześnie maleją koszty pracy. Ryciny obok prezentują materiał opracowany na podstawie zdjęć wykonanych kamerą ALTUM Micasense. Do generowania liczby drzew wykorzystano podkład CIR, obok mapa referencyjna RGB tego obszaru.





Stan zdrowotny drzew (chlorofil oraz biomasa)

Lasy zajmują bardzo duże obszary lądu, często występują na terenach trudnodostępnych, zarówno jeśli chodzi o ukształtowanie terenu jak i rodzaj roślinności. Jednak monitorowanie tych obszarów jest niezwykle ważne z punktu widzenia ochrony przed pożarami oraz nielegalnym pozyskaniem surowca. Istnieje wiele czynników zagrażających stabilności drzewostanów w tym szkodniki owadzie, choroby grzybowe, deficyt wody czy brak składników odżywczych. Obrazowanie wielospektralne wykonane przy użyciu kamer zainstalowanych na dronach oferuje znacznie łatwiejszy dostęp do informacji na temat stanu zdrowotnego lasu, umożliwia dostęp do odległych obszarów, pozwala uchwycić zarówno widoczne jak i niewidoczne przy pomocy zwykłych kamer oznaki osłabienia drzew czy symptomy choroby. Na podstawie różnych zakresów promieniowania, w szczególności pasma RedEdge, możliwe jest generowanie map wskaźników wegetacyjnych pozwalających na ocenę zawartości chlorofilu w liściach oraz porównanie tych indeksów z dowolnym krokiem czasowym.

Możliwości, jakie oferują sensory wielospektralne zainstalowane na dronach to nie tylko identyfikacja zagrożeń w środowisku leśnym ale również transformacja współrzędnych z układu pikselowego do układu współrzędnych geodezyjnych, co ułatwia odnajdywanie miejsc uszkodzeń oraz zapobieganie rozprzestrzenianiu się chorób.

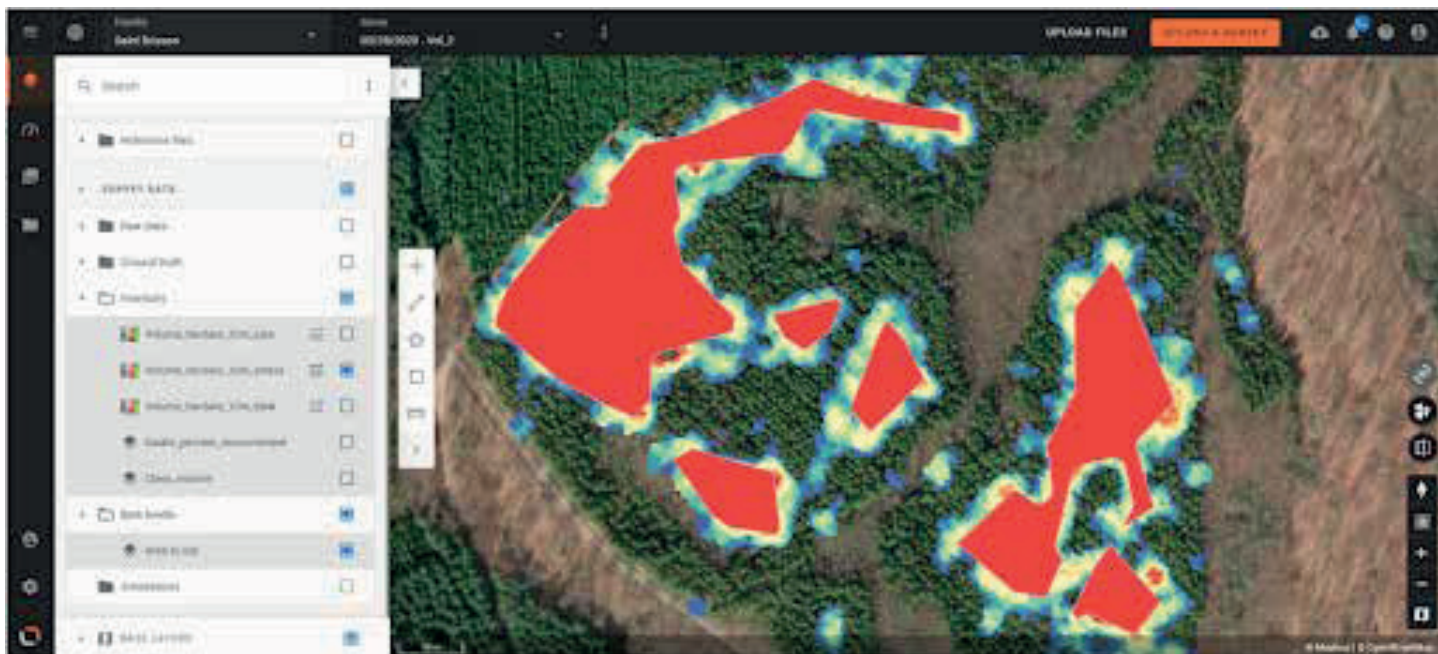
Prezentowane zdjęcia zostały wykonane kamerą Micasense ALTUM. Kompozycja CIR (u góry) oraz mapa NDVI (na dole) ukazują stopień uszkodzenia koron drzew boru sosnowego przez kornika ostrozębnego w południowo-wschodniej części Polski. Odcienie fioletu wskazują na stan osłabienia drzew zaś walor zielony na mapie NDVI oznacza korony dojrzałych zdrowych osobników.



Monitorowanie i identyfikacja chorób

Szkodniki owadzie stanowią największe zagrożenie dla trwałości lasów na świecie i jeżeli nie zostaną wykryte wystarczająco wcześnie mogą doprowadzić do rozpadu drzewostanu na bardzo dużym obszarze. Ocena ilościowa owadów w odległych lub trudnodostępnych obszarach może być bardzo utrudniona przy użyciu tradycyjnych metod. Drzewa często wykazują objawy chorobowe, gdy jest już za późno co utrudnia ocenę skali zagrożenia w trakcie obserwacji z ziemi. Rozdzielczość przestrzenna zdjęć satelitarnych dostarcza informacji w skali makro i pozwala zidentyfikować rejony zagrożeń, ale brakuje im szczegółów potrzebnych do określenia lokalizacji miejsc gwałtownego rozmnażania owadów i stopnia uszkodzenia poszczególnych osobników.

Zobrazowania z platform bezałogowych dostarczają szczegółowych obrazów stopnia porażenia drzew, które leśnicy mogą wykorzystać w trakcie zabiegów ochronnych lub cięć sanitarnych. Tak było na przykładzie - po lewej stronie - Delair współpracował z ForestryClub de France w celu wykorzystania zdjęć z kamery Micasense RedEdge-MX zainstalowanej na dronie do oceny inwazji kornika drukarza i kierowania cięciami sanitarnymi w drzewostanie. Na platformie delair.ai przetworzono i przeanalizowano obrazy satelitarne, obrazy z kamer na dronach oraz dane z obserwacji naziemnych. Następnie zastosowano automatyczną analizę wykrywania koron drzew (mapa u góry), w kolejnym kroku nałożono informację o stanie zdrowia drzew w oparciu o metodykę Forestry Club de France. W ten sposób zespół wskazał obszary z osłabionymi oraz martwymi drzewami nadającymi się do wycięcia (mapa na dole). W przypadku stosowania tradycyjnych metod obserwacji zapewne większość drzew zostałaby usunięta, aby uniknąć dalszego rozprzestrzeniania się szkodnika. W tym jednak wypadku jedynie 35% drzewostanu usunięto oszczędzając pozostałe osobniki i zapewniając potencjalny dochód z dobrej jakości surowca.




Wykrywanie i monitorowanie gatunków inwazyjnych

Gatunki inwazyjne wpływają na równowagę ekologiczną w kolonizowanych przez siebie ekosystemach, dominują nad gatunkami rodzimymi i w ten sposób ograniczają ich rozwój.

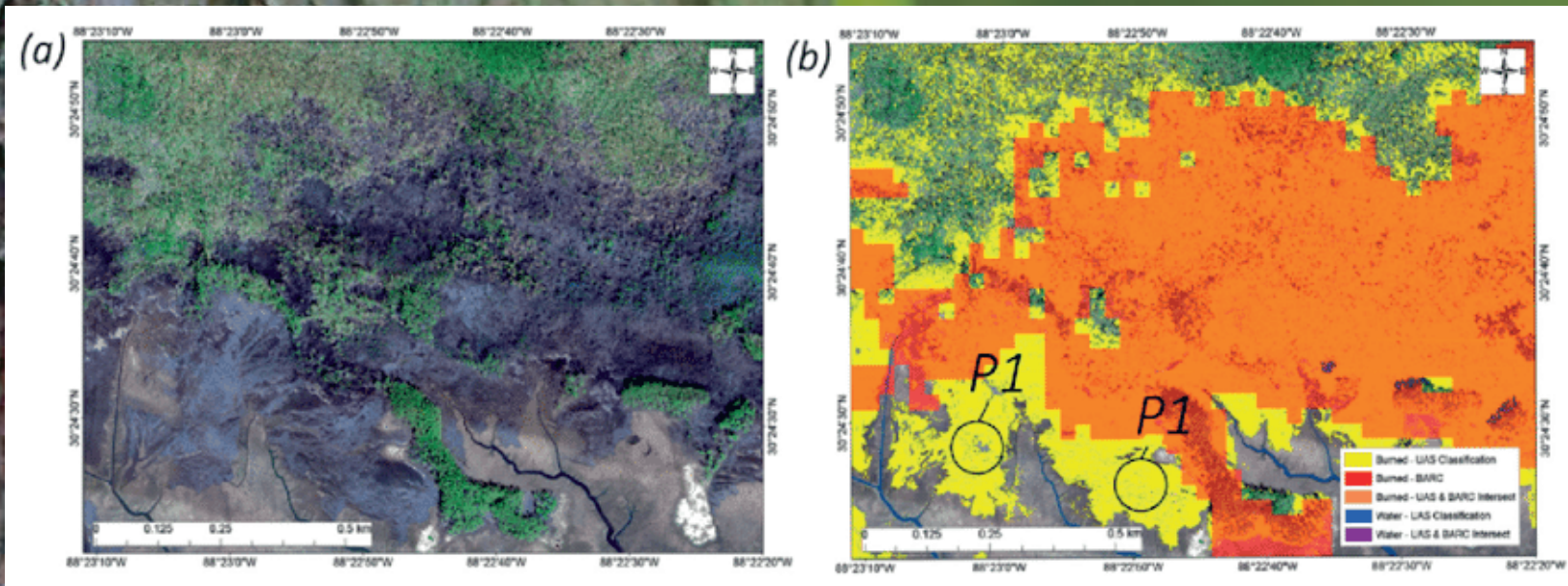
Aby przywrócić równowagę w zaburzonym ekosystemie leśnicy potrzebują dokładnych informacji o lokalizacji i tempie rozprzestrzeniania się niepożądanych osobników, aby mogli opracować skuteczny plan ochrony. Zdjęcia z kamer wielospektralnych zainstalowanych na dronach pozwalają na uchwycenie sygnatur widmowych zarówno gatunków rodzimych jak i inwazyjnych. Z kolei dane georeferencyjne ułatwiają leśnikom identyfikację miejsc i podejmowanie precyzyjnych działań o charakterze ochronnym. W trakcie kolejnych misji można ocenić skuteczność wykonywanych zabiegów.

Na mapie poniżej zaprezentowano inwazję trzciny (*Phragmites* sp.) (zaznaczonej na pomarańczowo) na przybrzeżnych mokradłach Zatoki Meksykańskiej. Kanały: niebieski, zielony, czerwony oraz RedEdge posłużyły do wykonania klasyfikacji osobników, która następnie posłużyła do identyfikacji gatunków oraz zasięgu występowania gatunków inwazyjnych. Połączenie map wskaźników wegetacyjnych z cyfrowym modelem powierzchni terenu pozwoliło na dokładne odwzorowanie gatunków inwazyjnych.





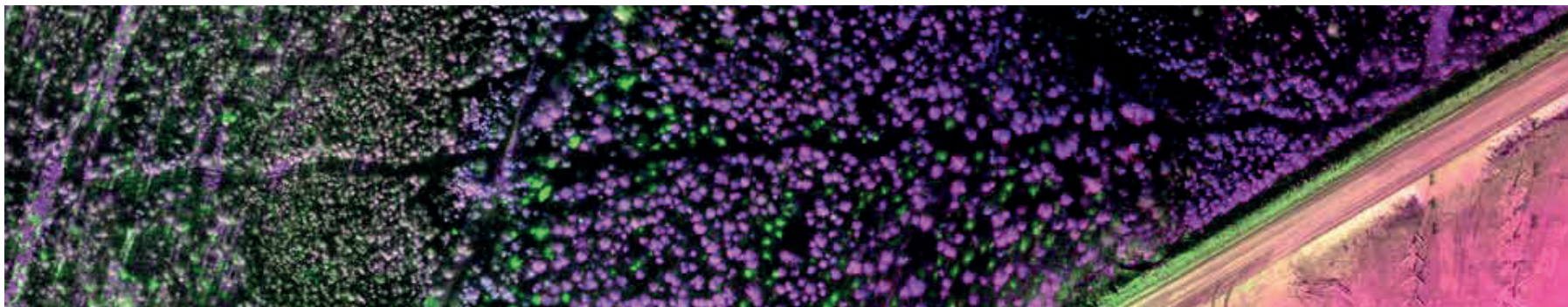
Forest **pyll** baso лес šuma гора **bosc** šuma les Skov Bos
mets metsä **forêt** bosque **Wald** δάσος (dásos) **erdő**
Skógur foraoise **foresta** mežs miškas шума **foresti**
skog las floresta **pădure** лес (les) шума (shuma) les
gozd **bosque** skog лис (lis) **coedwig**



Wykrywanie zmian

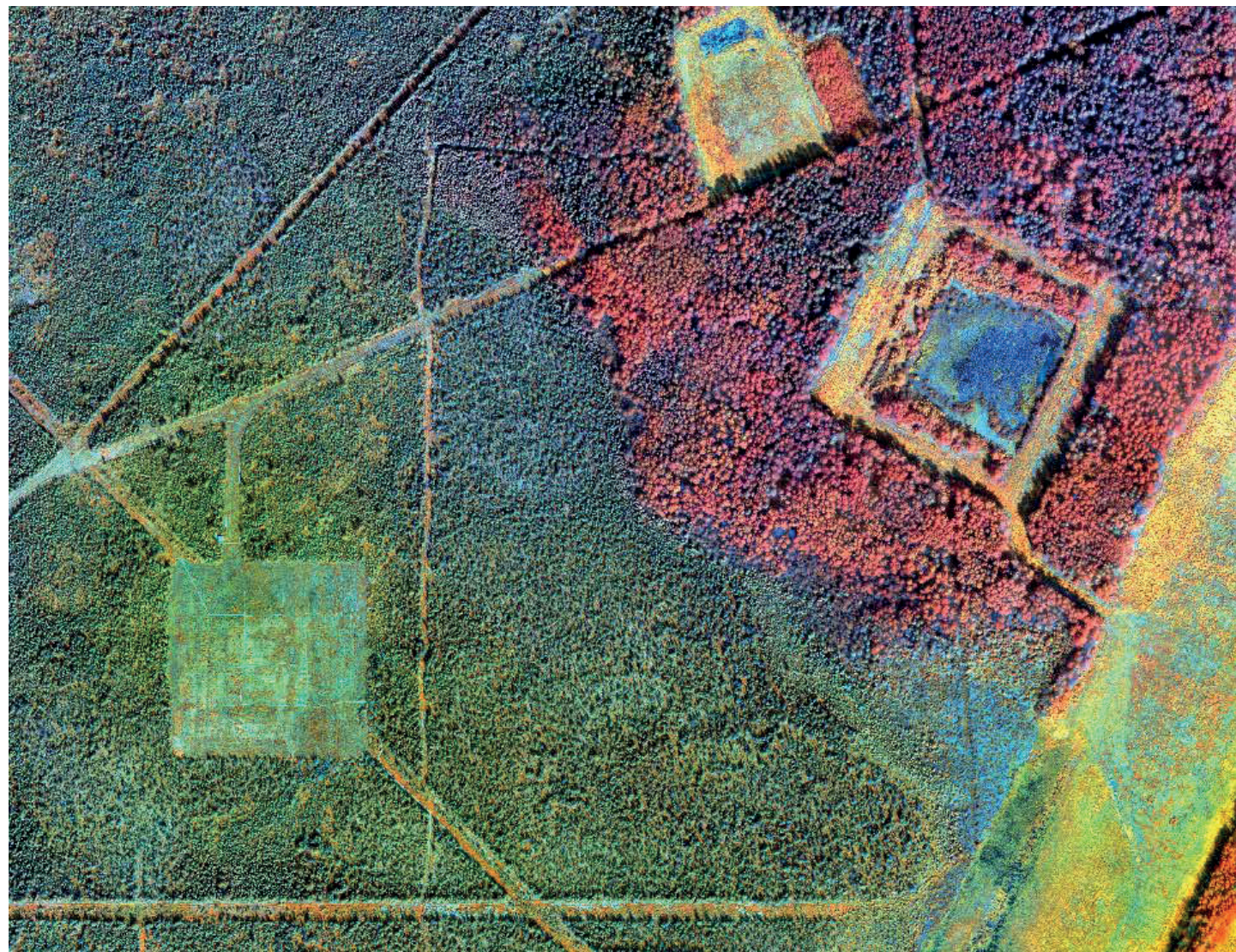
Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa publikuje co 5 lat globalną ocenę stanu lasów, która zawiera najważniejsze informacje na temat zasobów leśnych, zarządzania oraz stanu użytkowania ekosystemów na świecie. Z tegorocznego raportu wynika, że od 2015 r. ubywa około 10 mln hektarów lasów rocznie. W skali globalnej zmiany te analizowane są na podstawie zdjęć satelitarnych. Satelita Landsat 8 znajdujący się obecnie na orbicie ma 16 dniowy cykl powtarzania, co oznacza, że rejestruje informacje z tego samego miejsca co 16 dni. Jednak w skali lokalnej wiele sytuacji może wymagać znacznie częstszego monitorowania w wyższej rozdzielczości w celu śledzenia zmian wynikających zarówno z wpływu czynników naturalnych jak i antropopresji. Przykładem może być pożar w rejonie Grand Batures z 2016 roku, który spalił 1719 ha zbiorowisk leśnych w rejonie ujścia rzeki oraz na wyżynach. Obrazy po lewej

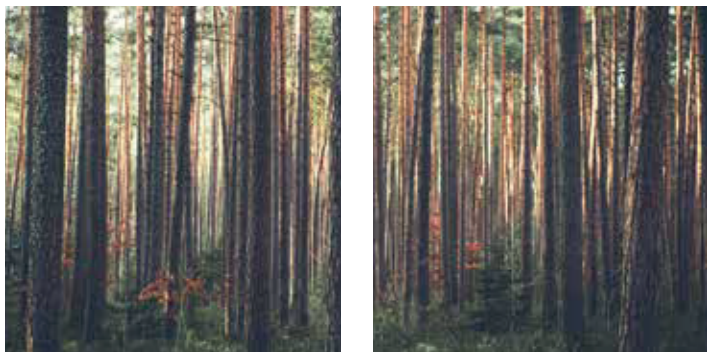
stronie porównują wyniki ze zdjęć wykonanych na orbicie oraz z kamer zainstalowanych na dronach. W opracowaniu wykorzystano sensor Micasense RedEdge do sklasyfikowania spalonej roślinności po pożarze. Na mapach zaznaczono obszary (kolor pomarańczowy), na których oboma metodami teledetekcji sklasyfikowano spaloną roślinność. Okazuje się, że kamery wielospektralne zainstalowane na dronach zapewniają taką samą jakość obrazu co zdjęcia satelitarne oraz sensory multispektralne zamontowane na załogowych statkach powietrznych. Jednak w odróżnieniu od satelitów i statków załogowych loty dronami mogą być wykonywane tak często jak jest to konieczne nad wybranymi obszarami, zaś czujniki dysponują większą rozdzielczością przestrzenną umożliwiając leśnikom dostęp do bardziej szczegółowych informacji o lesie.



Klasyfikacja gatunków drzew

Klasyfikacja gatunków w lasach to niezwykle ważna, a zarazem bardzo złożona i kosztowna czynność. Wiele zagadnień z zakresu ekologii lasu np. status ochrony, wydzielenie obszarów przyrody chronionej, monitorowanie siedlisk wymaga stałej kontroli oraz inwentaryzacji lasu. Tradycyjne metody takie jak analiza zdjęć satelitarnych czy konwencjonalne pomiary naziemne są ograniczone czasowo, przestrzennie i dość kosztowne. Może to prowadzić do błędnej interpretacji oraz utrudnić pozyskanie pełnej informacji o składzie gatunkowym lasu. Drony wyposażone w kamery wielospektralne pozwalają ekologom i leśnikom na przeprowadzenie badań na dużą skalę z dnia na dzień, z tygodnia na tydzień lub co miesiąc w zależności od potrzeb. Zaawansowane algorytmy klasyfikacji o dokładności około 95% pozwalają na tworzenie wiarygodnych prognoz na temat stanu lasu; technologia bezzałogowa dostarcza wszystkiego co potrzeba leśnikom do sprawnego zarządzania lasem. Prezentowana ortofotomozaika została wygenerowana na podstawie zdjęć wykonanych przy użyciu kamery Micasense ALTUM, obraz w fałszywych kolorach podkreśla cechy reflektancji każdego z gatunków. Dane te wykorzystywane są do monitorowania zabiegów rekultywacyjnych na terenach, w których prowadzono poszukiwania ropy naftowej. Zdjęcia satelitarne w dalszym ciągu są źródłem informacji o lasach na dużych obszarach, lecz materiały z dronów znajdują zastosowanie tam, gdzie potrzebna jest wysoka dokładność w mniejszej skali, w takich sytuacjach analiza zdjęcia z kamer wielospektralnych może zastąpić naziemne metody inwentaryzacji lasu.

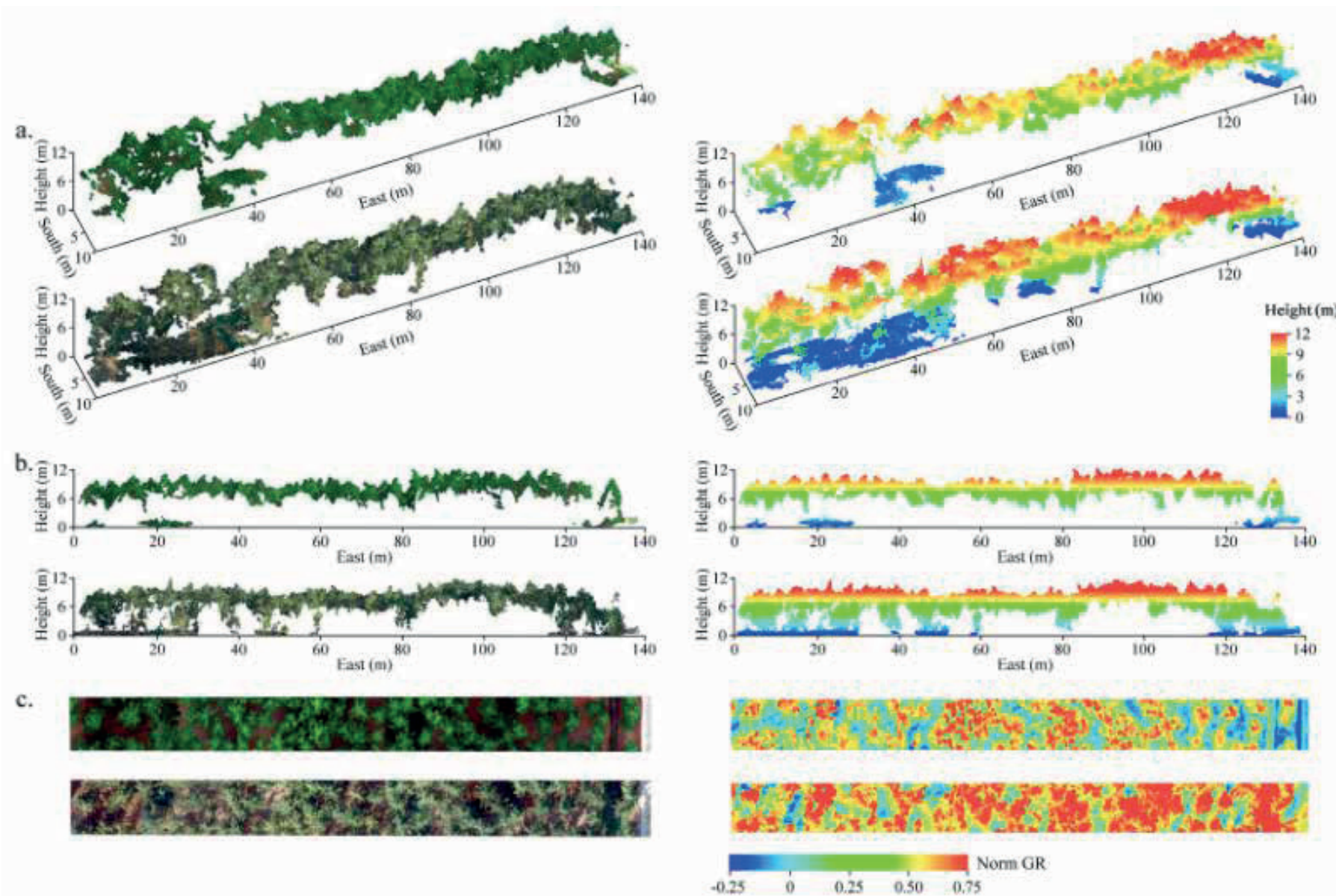




Zarządzanie zasobami leśnymi

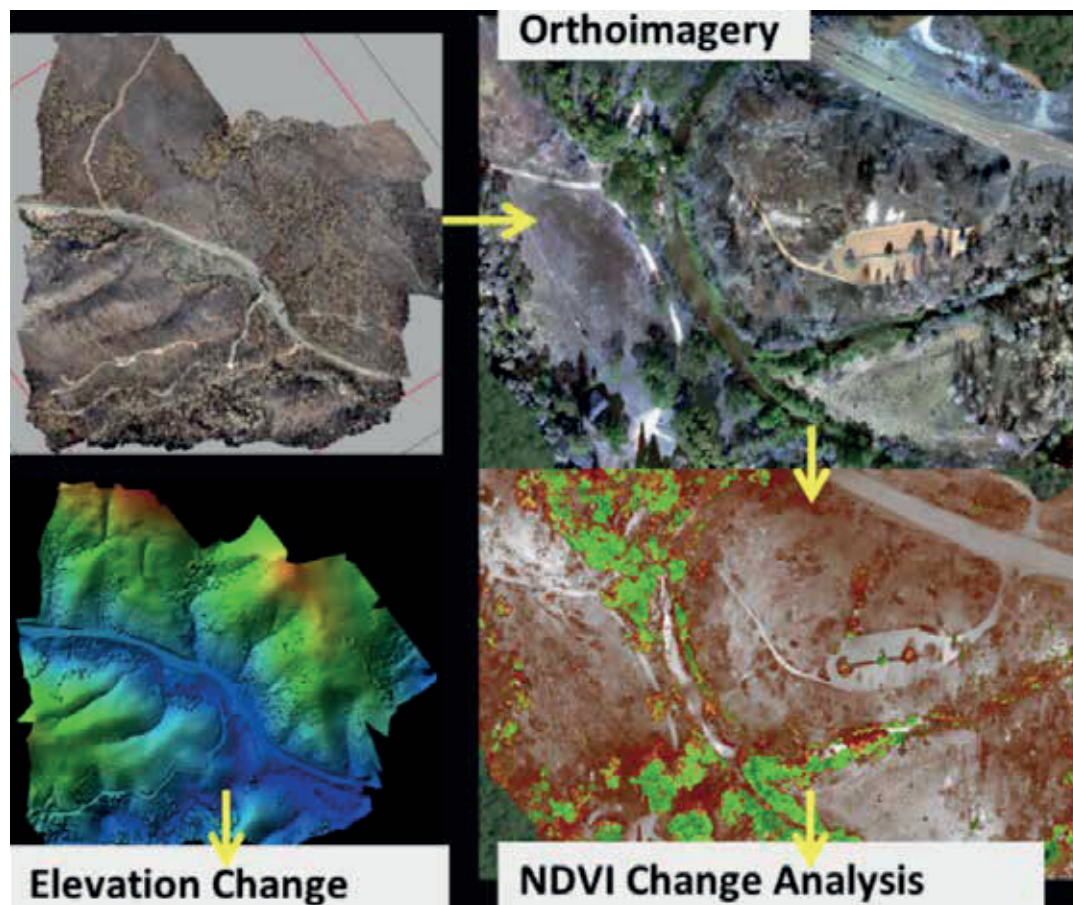
Inwentaryzacja lasów to gromadzenie danych o zasobach leśnych m. in. takich jak różnorodność biologiczna, stan zdrowotny, skład gatunkowy, liczba drzew, wiek osobników, cechy biometryczne, miąższość oraz wielkość biomasy. Te informacje mają kluczowe znaczenie w planowaniu hodowlanym i strategii zarządzania zasobami. Prace związane z gromadzeniem danych o lesie można prowadzić metodami terenowymi lub z wykorzystaniem technik teledetekcji. Tradycyjne metody obejmują zazwyczaj niewielkich rozmiarów fragmenty lasu, w których leśnicy lub geodeci dokonują pomiarów każdego drzewa na tzw. powierzchniach kontrolnych. Jednak w przypadku większych obszarów, metoda ta ma ograniczone zastosowanie raczej tylko do weryfikacji punktowej. Pomiary tego typu wykorzystuje się jako podstawa szacowania zasobów dla większego terenu.

Analiza zdjęć z kamer multispektralnych może dostarczyć wielowymiarowych danych o złożonym charakterze pozwalając na precyzyjny wgląd w ekosystem leśny, w niektórych przypadkach produkty fotogrametryczne umożliwiają nawet obliczenia wielkości biomasy i szacowanie plonu. Wykres po prawej stronie porównuje chmury



punktów wygenerowanych na podstawie zdjęć z kamery RGB (dolny wynik w każdej sekcji) z danymi wielospektralnymi uzyskanymi przy pomocy kamery Micasense RedEdge (górny wynik w każdej sekcji), z których oba zostały przetestowane jako niskobudżetowe źródło informacji o lesie,

w przypadku gdy nie dysponujemy wynikami skanowania LIDAR. A i B to różne kąty widzenia chmury punktów 3D generowanych z każdego typu kamery. C pokazuje ortomozajkę ze znormalizowanym stosunkiem zieleni do czerwieni.



Monitorowanie procesu rewitalizacji po pożarze

Wiele podmiotów oraz firm zarządzających lasami posiada gotowe rozwiązania w zakresie rewitalizacji terenów leśnych po klęskach, jednak gwałtowny wzrost liczby pożarów wielkopowierzchniowych na świecie wymaga, aby agencje i przedsiębiorstwa położyły większy nacisk na zabiegi związane z odtwarzaniem ekosystemów leśnych. Główne obszary wymagające tej uwagi to sadzenie drzew, stabilizacja gleby, retencja wody, stosowanie roślinności okrywowej i gospodarowanie roślinnością krzewiastą. Zdjęcia wykonane z kamer na dronach mogą szczególnie pomóc w monitorowaniu stanu zdrowia młodych drzew na uprawach, a także odtwarzaniu rodzimej roślinności na terenach zdegradowanych przez pożar. Badania udatności upraw przy pomocy bezzałogowych systemów latających mogą pomóc leśnikom w podejmowaniu decyzji w zakresie uzupełnień i ochrony, dzięki temu wysiłki te będą bardziej skuteczne i opłacalne.

Mapy po lewej stronie przedstawiają ortofotomozaikę spalonej doliny w Whiskeytown National Recreation Area w Kalifornii, a także cyfrowy model DSM oraz mapę wskaźnika NDVI przedstawiającą odradzającą się roślinność na tym terenie. Naukowcy z lokalnego centrum badawczego USGS wykorzystali kamerę Micasense RedEdge do zobrazowania tego obszaru oraz innych regionów o dużym ryzyku erozji gleb po klęskach żywiołowych.



Wnioski

Dążąc do optymalizacji produkcji leśnej, zwiększenia wydajności zabiegów ochronnych i zarządzania zasobami w celu utrzymania stabilnego ekosystemu leśnicy coraz częściej sięgają do precyzyjnych danych, których źródłem są nowoczesne technologie pomiarowe - w tym systemy bezzałogowe. Można rzec, że zdjęcia oraz mapy uzyskiwane przy pomocy kamer zainstalowanych na dronach stają się powszechne w środowisku leśnym. Zaletą tych systemów jest ich uniwersalność, możliwość wykonywania lotów z dużą częstotliwością, dokładność i co najważniejsze są tańsze aniżeli materiały gromadzone przy użyciu statków załogowych lub metod ręcznych. Ponadto, drony wyposażone w kamery wielospektralne oraz wyniki analiz zdjęć w różnych kanałach mogą pomóc leśnikom w uzyskaniu odpowiedzi na ważne pytania dotyczące stanu zdrowotnego drzew, stanu zasobów czy skuteczności zabiegów ochronnych. Często wyniki obrazowania wielokanałowego pozwalają uzyskać informacje o stanie lasu zanim pojawią się objawy chorób. Wspierają diagnostykę, pozwalają uchwycić symptomy chorobowe i oznaki etiologiczne, stanowią skuteczne narzędzie w monitorowaniu wzrostu drzew na każdym etapie ich rozwoju, w szczególności na uprawach i w młodnikach.

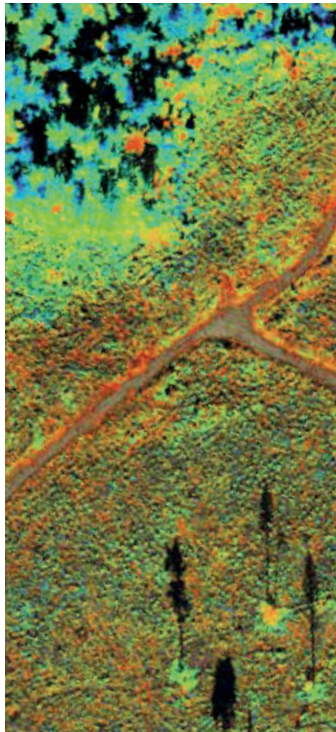
Załączniki



Odnosiniki do zdjęć

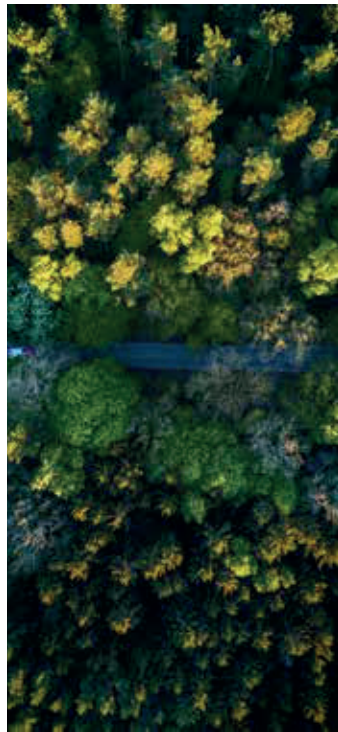


Okładka



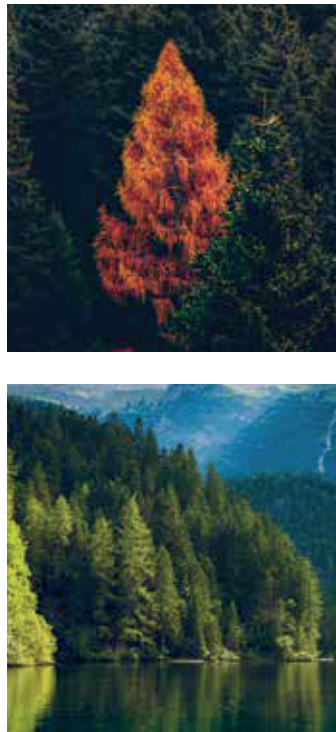
- Kamera MicaSense Altum
- Mapa chlorofilu
- Olympic Forest, USA

Strona 2



Zdjęcie autorstwa Stephana Müllera z Pexels

Strona 3



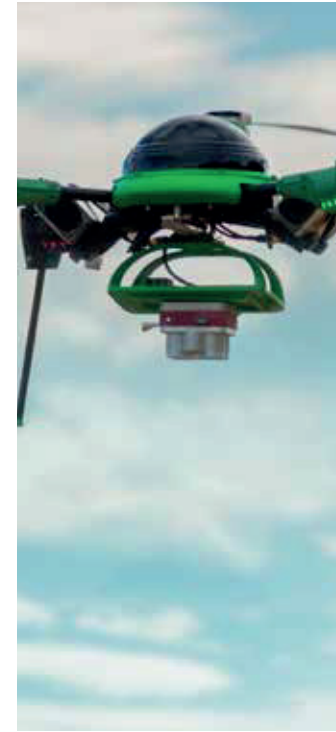
Zdjęcia autorstwa Eberharda Grossgasteigera i Philipa Ackermanna z Pexels

Strona 6



Zdjęcie autorstwa Alexandra Gonzalesa z UnSplash

Strona 7



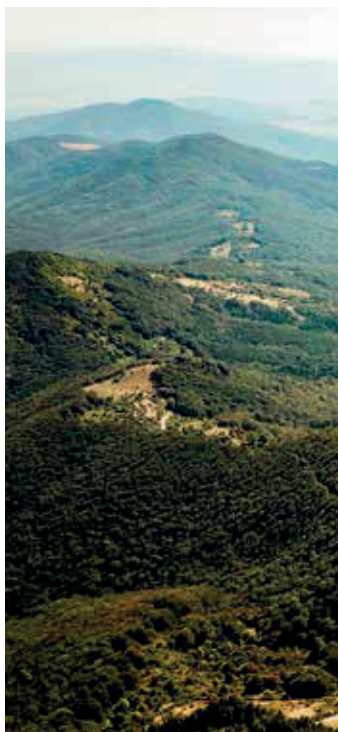
Zdjęcie autorstwa Johannes Rappricha z Pexels
Kompozycja barwna ze zdjęć wykonanych kamerą Altum firmy Micasense zainstalowaną na dronie



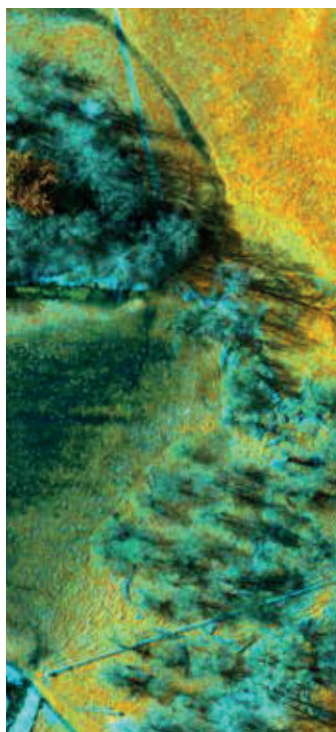
Strona 8



- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Kompozycja w fałszywych kolorach
- Stan Oklahoma, USA



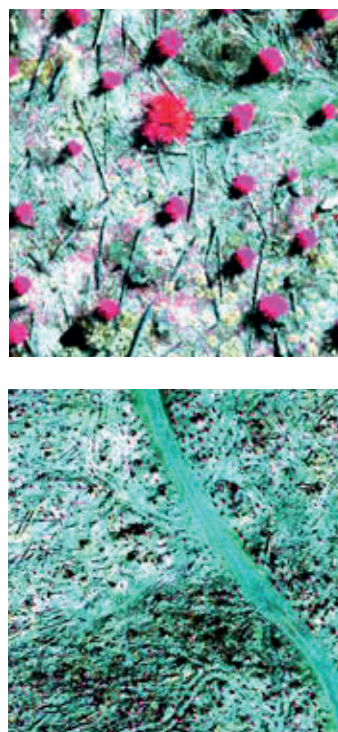
Zdjęcie wykonane przez Indigo Blackwood z Pexels



- Kamera MicaSense Dual Camera System
- Kompozycja w fałszywych kolorach
- ◀ Olympic Forest, USA



- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Różni autorzy
- ◀ Juniper Forest, USA

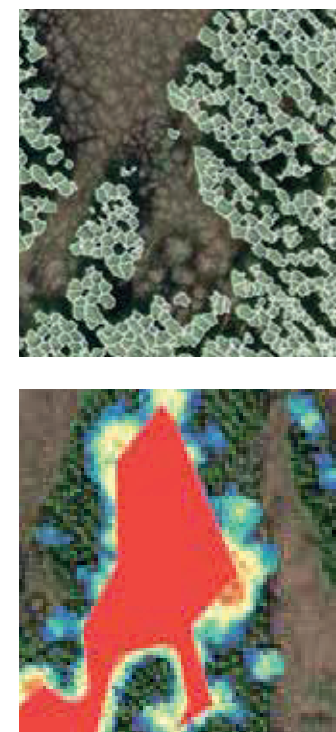


- Kamera MicaSense Altum
- Kanał NIR
- ◀ Washington State, USA



- Kamera MicaSense Altum
- Kompozycja NDVI oraz mapa CIR
- ◀ Polska

Zdjęcie autorstwa Davida Bruyndonckx z Unsplash

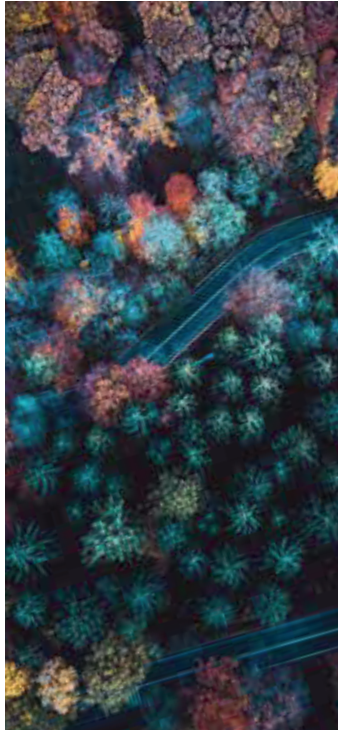


- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Analiza koron drzew
- ◀ Francja

- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Analiza niestandardowa
- ◀ Francja



- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Kompozycja złożona
- ◀ Zatoka Meksykańska, USA

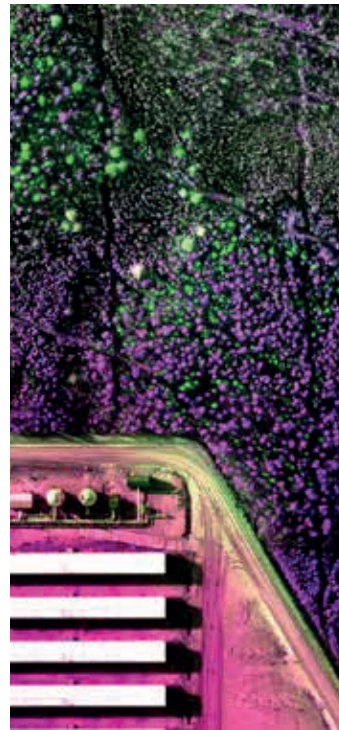


Zdjęcie autorstwa Marka Plötza z Pexels

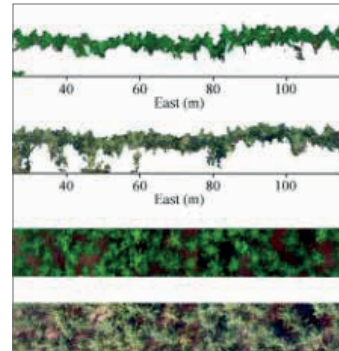


- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Klasyfikacja spalonej roślinności
- ◀ Stan Alabama, USA

Zdjęcie autorstwa Picography z Pexels

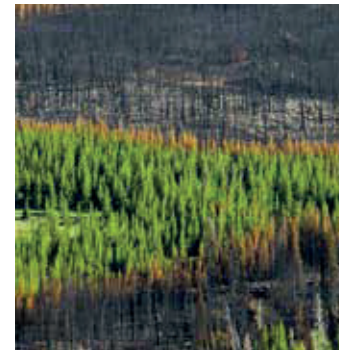
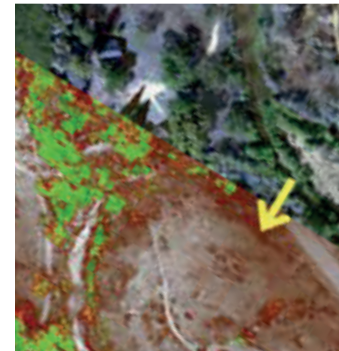


- Kamera MicaSense Altum
- Kompozycja w fałszywych kolorach
- ◀ Stan Alberta, CA



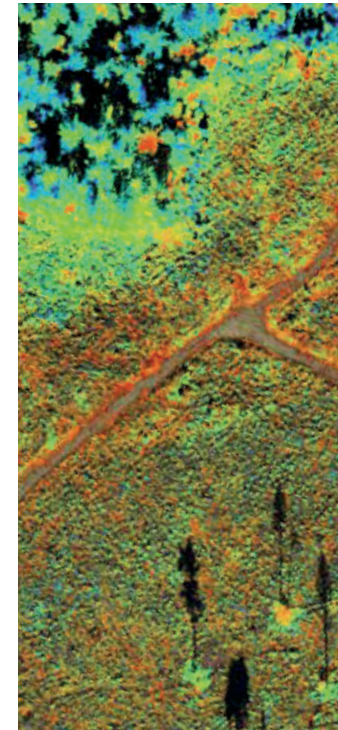
- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Mapa RGB oraz chmura punktów
- ◀ Miejsce nieokreślone, Chiny

Zdjęcie autorstwa Sebastiana Englera z Unsplash



- Kamera MicaSense RedEdge-MX
- Mapy RGB, NDVI oraz model DSM
- ◀ Stan Kalifornia, USA

Zdjęcie z zasobów NPS.gov



- Kamera MicaSense Altum
- Mapa chlorofilu
- ◀ Olympic Forest, USA



Zdjęcie autorstwa Kelly Lacy z Pexels

Mapa zagęszczenia drzew

- 🔍 [Wykorzystanie zdjęć wykonanych kamerą zainstalowaną na dronie na małej wysokości do oceny zagęszczenia jałowca zachodniego i powierzchni koron drzew na stanowiskach, na których wykonano zabiegi ochronne i na tych, na których zabiegów nie wykonywano.](#)

Stan zdrowotny drzew (chlorofil oraz biomasa)

- 📶 [Kwantyfikacja stopnia uszkodzenia drzew przez kornika za pomocą obrazów wykonanych kamerą MicaSense Altum.](#)

Monitorowanie i identyfikacja chorób

- 📄 Courtesy of Delair oraz Forestry Club de France
- 🔍 [W jaki sposób sztuczna inteligencja pomogła poprawić stan sanitarny w lasach zaatakowanych przez kornika?](#)

Wykrywanie i monitorowanie gatunków inwazyjnych.

- 🔍 [Obrazowanie zjawiska inwazyjnego rozprzestrzeniania się trzciny na przybrzeżnych mokradłach Zatoki Meksykańskiej z wykorzystaniem zdjęć z kamery multispektralnej zainstalowanej na małym statku bezzałogowym.](#)

Wykrywanie zmian

- 🔍 [Teledetekcja pożarów za pomocą małego bezzałogowego system latającego. Obrazowanie po pożarze, tempo regeneracji roślinności oraz analiza uszkodzeń na obszarze Grand Bay, Mississippi w stanie Alabama, USA.](#)

Klasyfikacja gatunków

- 📶 [Zastosowanie kamery MicaSense Altum do monitorowania oraz oceny postępów rekultywacji torfowisk borealnych.](#)

Zarządzanie zasobami leśnymi

- 🔍 [Szacowanie cech strukturalnych drzewostanu z użyciem indeksów spektralnych oraz chmury punktów uzyskanych ze zdjęć wykonanych kamerą RGB i sensorem wielokanałowym z pokładu bezzałogowego systemu latającego.](#)

Monitorowanie procesu rewitalizacji po pożarze

- 🔍 [Wykorzystanie zdjęć wykonanych z pokładu drona do oceny skutków pożaru Carr w 2018 roku w Kaliforni, USA.](#)



Firma ekspercka, która oferuje innowacyjne rozwiązania pomiarowe oraz szkolenia dla GIS i geodezji, a także jest dostawcą zaawansowanych bezzałogowych statków powietrznych (dronów) do profesjonalnych zastosowań środowiskowych, geodezyjnych i przemysłowych.

NaviGate jest autoryzowanym dystrybutorem dronów marki DJI Enterprise, FlyTech i ATMOS, sensorów (kamer do dronów) MicaSense i oprogramowania do przetwarzania i obróbki danych (Pix4D i Agisoft). Jako integrator technologii wykonujemy dedykowane rozwiązania, spersonalizowane do potrzeb klienta.



AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR



AUTORYZOWANY DYSTRYBUTOR

Więcej na temat dedykowanej i kompleksowej oferty z bezzałogowymi statkami powietrznej (dronami), a także kamerami multispektralnymi dla Lasów Państwowych znajduje się w Biuletynie Informacyjnym.

navigate.pl/biuletyn-lasy-panstwowe-drony



ul. Wadowicka 8a
30-415 Kraków

tel. 12 200-22-28
drony@navigate.pl

navigate.pl
szkolenia.navigate.pl

