



dr inż.

Paweł Strzeński

Pracuje w Katedrze Urządzania Lasu na Wydziale Leśnym i Technologii DREWNA Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. W badaniach wykorzystuje zaawansowane technologie geomatyczne, a w szczególności naziemne i lotnicze skanowanie laserowe oraz obrazy satelitarne i lotnicze.

pawel.strzelinski
@up.poznan.pl

LAS W PODCZERWIENI

O zdjęciach robionych z setek, a nawet tysięcy kilometrów, mających dokładność kilku centymetrów, o nieoczywistych zastosowaniach obrazów satelitarnych i najnowszych technologiach służących nauce i praktyce.

Paweł Strzeński

Wydział Leśny i Technologii DREWNA
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Space: the final frontier... – to słowa, które znają wszyscy miłośnicy filmów since fiction. Produkcje te odzwierciedlają odwieczną ciekawość człowieka, pragnącego zobaczyć i poznać więcej. Rozwój technologiczny w połowie XX wieku sprawił, że człowiek przekroczył granicę kosmosu. Bardzo szybko okazało się, że z orbity okołozemskiej widać nie tylko więcej, lecz także lepiej. Zapotrzebowanie na „kosmiczne” dane błyskawicznie rosło.

Ponad 60 lat doświadczeń z satelitami zaowocowało m.in. tym, że obecnie możemy korzystać z obrazów dostarczanych przez satelity cywilne dysponujące czujnikami rejestrującymi obraz powierzchni Ziemi o wymiarze piksela (tzw. rozdzielczość przestrzenna) wynoszącym 10 cm dla odcieni szarości i 40 cm dla bliskiej podczerwieni

Oczywiście możliwa do osiągnięcia stosunkowo wysoka rozdzielczość przestrzenna nie jest jedyną zaletą wykorzystywania satelitów. Często o wiele większe znaczenie ma możliwy do rejestracji zakres spektralny, opisywany długością fali elektromagnetycznej. Ludzkie oko postrzega rzeczywistość w tzw. barwach naturalnych, co odpowiada zakresowi spektralnemu między 400 a 700 nm. Jednakże o wiele ciekawsze informacje o środowisku przyrodniczym można otrzy-

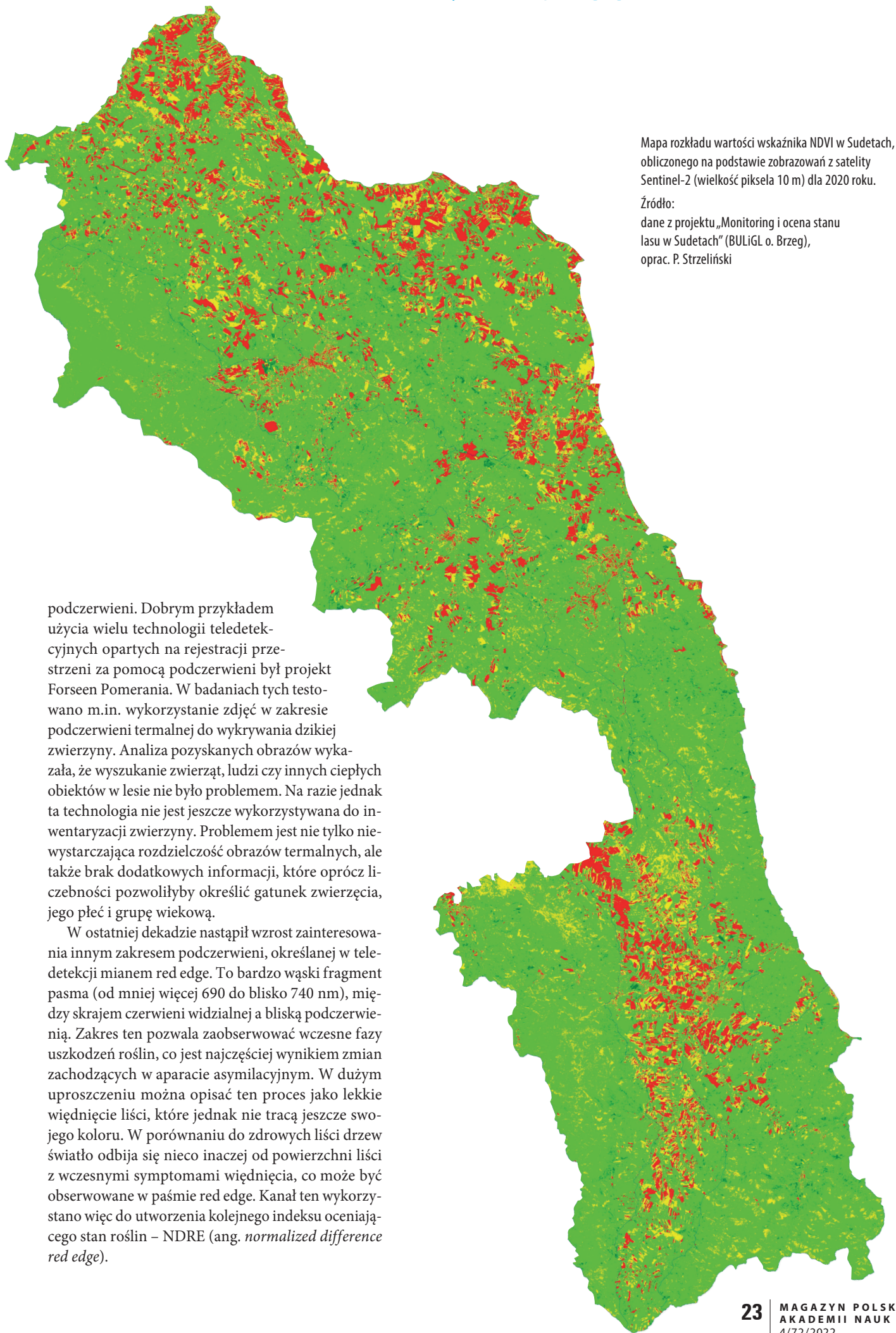
mac, analizując obrazy zarejestrowane w paśmie podczerwonym (powyżej 700 nm).

Pierwszym satelitą środowiskowym, którego obraz zaczęto powszechnie wykorzystywać w analizach przyrodniczych, był Landsat 1, umieszczony na orbicie 23 lipca 1972 roku. Dzięki obserwacjom uzyskanym z tego satelity został opisany jeden z najbardziej dzisiaj znanych wskaźników wegetacji – czyli NDVI (ang. *normalized difference vegetation index*). Obecnie wskaźnik ten jest bardzo powszechnie stosowany, a przez to, że wymaga tylko informacji z dwóch kanałów barwnych – czerwonego (R) i podczerwonego (NIR) – jest też bardzo prosty do obliczenia.

Z czasem pojawiały się na orbitach nowsze wersje satelity Landsat. Rośnie też rozdzielczość przestrzenna i czasowa satelitów środowiskowych. W 2014 roku na orbicie pojawił się pierwszy satelita konstelacji Sentinel, którego kolejne wersje dostarczają w pięciodniowych odstępach czasu obrazy o rozdzielczości od 10 do 60 m. Są one rejestrowane w 13 kanałach, w tym w kanałach światła podczerwonego. Co najważniejsze, materiały te są udostępniane bezpłatnie! Są więc również wykorzystywane do analiz NDVI oraz wielu innych wskaźników środowiskowych.

Zdjęcie jak termometr

Podczerwone pasmo promieniowania elektromagnetycznego to bardzo szeroki zakres. Zawiera się w nim m.in. podczerwień termalna, niezwykle przydatna w wykrywaniu źródeł ciepła. W leśnictwie mogłoby mieć to zastosowanie np. do monitorowania przeciwpożarowego. To nie koniec zalet i zastosowań



Mapa rozkładu wartości wskaźnika NDVI w Sudetach, obliczonego na podstawie zobrażeń z satelity Sentinel-2 (wielkość piksela 10 m) dla 2020 roku.

Źródło:

dane z projektu „Monitoring i ocena stanu lasu w Sudetach” (BULiGL o. Brzeg), oprac. P. Strzeński

podczerwieni. Dobrym przykładem użycia wielu technologii teledetekcyjnych opartych na rejestracji przestrzeni za pomocą podczerwieni był projekt Forseen Pomerania. W badaniach tych testowano m.in. wykorzystanie zdjęć w zakresie podczerwieni termalnej do wykrywania dzikiej zwierzyny. Analiza pozyskanych obrazów wykazała, że wyszukanie zwierząt, ludzi czy innych ciepłych obiektów w lesie nie było problemem. Na razie jednak ta technologia nie jest jeszcze wykorzystywana do inwentaryzacji zwierzyny. Problemem jest nie tylko niewystarczająca rozdzielczość obrazów termalnych, ale także brak dodatkowych informacji, które oprócz liczebności pozwoliłyby określić gatunek zwierzęcia, jego płeć i grupę wiekową.

W ostatniej dekadzie nastąpił wzrost zainteresowania innym zakresem podczerwieni, określanej w teledetekcji mianem red edge. To bardzo wąski fragment pasma (od mniej więcej 690 do blisko 740 nm), między skrajem czerwieni widzialnej a bliską podczerwinią. Zakres ten pozwala zaobserwować wczesne fazy uszkodzeń roślin, co jest najczęściej wynikiem zmian zachodzących w aparacie asymilacyjnym. W dużym uproszczeniu można opisać ten proces jako lekkie wędnięcie liści, które jednak nie tracą jeszcze swojego koloru. W porównaniu do zdrowych liści drzew światło odbija się nieco inaczej od powierzchni liści z wczesnymi symptomami wędnięcia, co może być obserwowane w paśmie red edge. Kanał ten wykorzystano więc do utworzenia kolejnego indeksu oceniającego stan roślin – NDRE (ang. *normalized difference red edge*).

Wykrywanie martwych i obumierających drzew w lasach komunalnych miasta Poznania. Żółte punkty oznaczają drzewa zamierające i martwe, zidentyfikowane na podstawie analizy wskaźnika NDRE.

Źródło: ortofotomapa CIR z 2017 roku, zasoby Zakładu Lasów Poznańskich, oprac. Ł. Polakowski

Dzięki wykorzystaniu red edge można było wyodrębnić korony pojedynczych dużych drzew, czyli takich, których powierzchnię korony widzianą okiem satelity odzwierciedlało kilka czy nawet kilkanaście pikseli o kolorystyce odróżniającej je od sąsiednich roślin. Wykrywanie takich drzew w przypadku wczesnych etapów gradacji pozwala na podjęcie działań niezbędnych do jej zahamowania. Mogą to być np. opryski z wykorzystaniem odpowiednich środków chemicznych lub usuwanie pojedynczych chorych osobników, będących źródłem wylegania się kolejnych generacji korników. Problematyka ta bardzo często pojawia się w kontekście beskidzkich i sudeckich drzewostanów świerkowych.

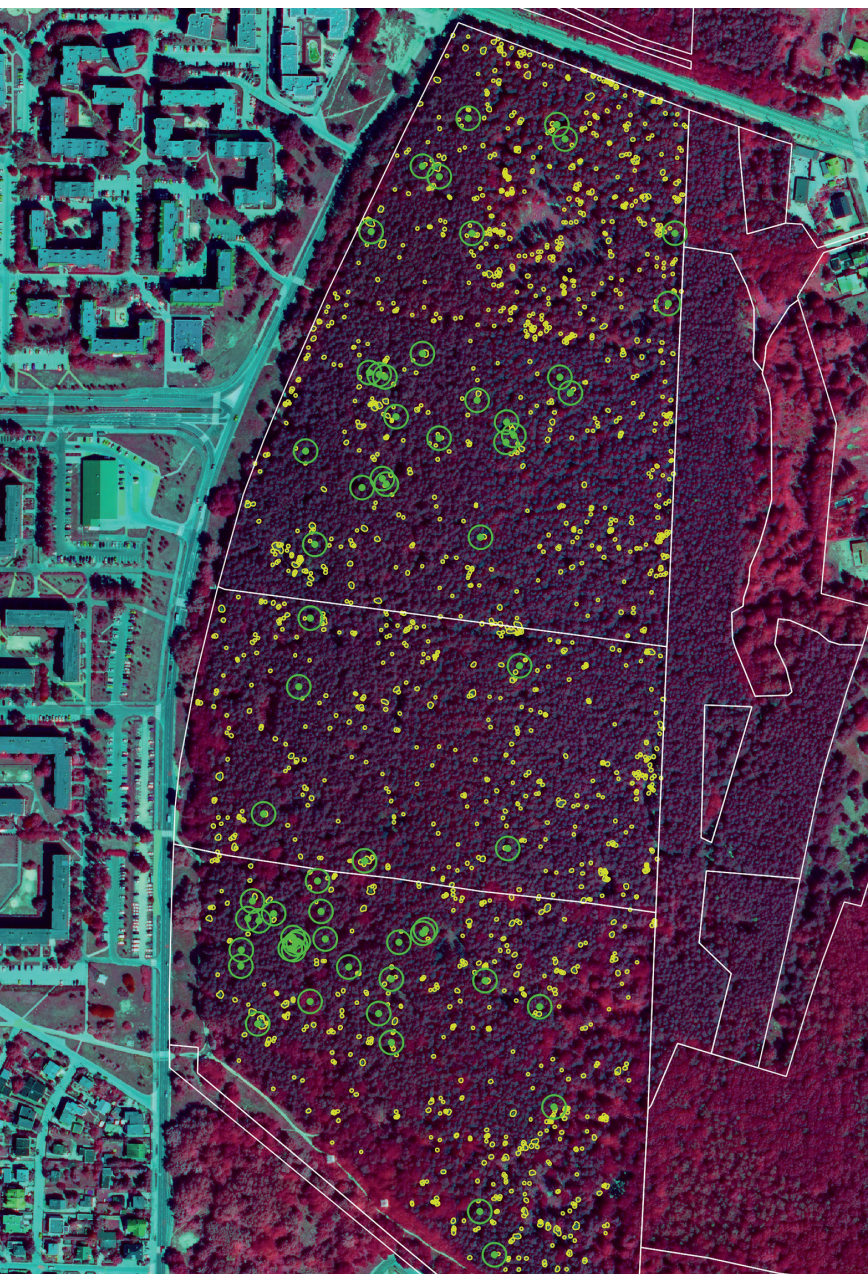
Jednym z projektów badawczych, w którym są wykorzystywane obrazy satelitarne, jest program „Monitoring i ocena stanu lasu w Sudetach”, realizowany od 2020 roku na zlecenie Lasów Państwowych przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Brzegu. Celem tego projektu oprócz określenia stanu zdrowotnego lasów sudeckich było zdefiniowanie stopnia stabilności i prawdopodobieństwa ich zamierania w przyszłości. Analizy zagrożeń w tym projekcie są przeprowadzane z wykorzystaniem m.in. obrazów ze wspomnianych już satelitów – Landsat 8 (w zakresie NDVI) oraz Sentinel-2 (NDVI i NDRE), a weryfikowane przez naziemną sieć powierzchni monitoringowych stanowiącą dla nich referencję.

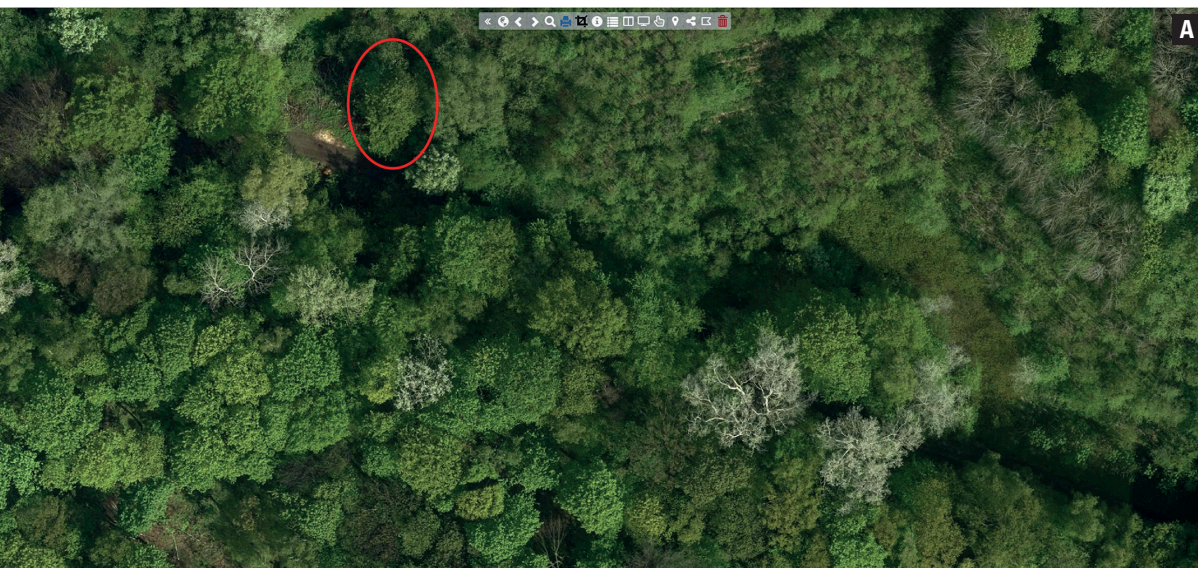
Drony nad miastem

Można oczywiście zejść z poziomu satelitarne na pułapy, gdzie operują samoloty lub drony, ale tego typu naloty wymagają odpowiednich procedur i warunków pogodowych. To absolutnie nie dyskwalifikuje zastosowania statków powietrznych. Wręcz przeciwnie. Możliwość osiągnięcia subcentymetrowych rozdzielczości obrazów multispektralnych oraz integrowanie tych danych ze skanowaniem laserowym (modelowanie 3D) z jednej strony otworzyło nowe przestrzenie badawcze, a z drugiej umożliwia szybsze podejmowanie trafnych decyzji. Zasada ta była podstawą do utworzenia i wdrożenia systemu informacji przestrzennej dla lasów komunalnych miasta Poznania. Jednym z etapów tego projektu, rozpoczętego w 2017 roku, było m.in. uruchomienie monitoringu przyrodniczego w miejskich lasach. Oceniając stan zdrowotny drzewostanów, wykorzystano ortofotomapy ze zdjęć lotniczych (zarejestrowanych w kanałach RGB i CIR) oraz zaawansowane algorytmy wyszukujące w sposób automatyczny na tych zobrazowaniach martwe i obumierające drzewa. Było to możliwe po utworzeniu odpowiednich wzorców – tzw. kluczy fotogrametrycznych, które opierają się na badaniach terenowych z precyzyjną lokalizacją modelowych drzew, reprezentujących różne gatunki, wiek i warunki siedliskowe, a przede wszystkim – klasy defoliacji koron. Wskazanie wybranych modelowych drzew na ortofotomapach pozwoliło opracować charakterystykę barwną pikseli, składających się na ich korony. A stąd był już tylko krok do utworzenia algorytmów, które w sposób automatyczny wyszukiwały na całym analizowanym obszarze korony o podobnej charakterystyce.

Las w podczerwieni

Jeśli chodzi o technologie lotnicze, dużo szerzej był zakrojony projekt „Prace badawczo-rozwojowe nad prototypową technologią multisensorycznej lotniczej stacji diagnostycznej, umożliwiającą wielkopo-





Porównanie zdjęć lotniczych wykonanych w barwach naturalnych (A) i w barwej podczerwieni (B). Elipsą zaznaczono miejsce z największym kontrastem między koronami trzech gatunków drzew.

Źródło:

<http://195.216.117.150/sip/nmap/mapa/1/default> (dostęp: 12.04.2019), oprac. P. Strzeliński

wierzchniową inwentaryzację oraz parametryzację roślin”, realizowany przez spółkę GISPRO we współpracy z naukowcami z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i Politechniki Poznańskiej. Badania prowadzono nad wykorzystaniem lotniczego systemu czujników rejestrujących obrazy RGB, CIR, red edge w połączeniu z danymi lotniczego skanowania laserowego (ang. ALS – *airborne laser scanning*) do parametryzacji roślinności. Niby nic nowego ani nadzwyczajnego. Ale trzeba dodać, że dane lotnicze uzupełniano analizami obrazów satelitarnych Landsat 8 i Sentinel-2. Z kolei referencję naziemną stanowiła sieć powierzchni precyzyjnie pomierzonych i zeskanowanych technologią naziemnego skaningu laserowego (ang. TLS – *terrestrial laser scanning*). A wszystko przy możliwie najwyższych parametrach rozdzielczości.

Projekt ten skupiał się na lasach nizinnych, a konkretnie na terenie Puszczy Noteckiej, gdzie dominu-

ją drzewostany sosnowe. Podobnie jak w przypadku górskich świerczyn, tak i drzewostany sosnowe na nizinach są nękane gradacjami owadów. Szczególnie dotkliwa właśnie dla Puszczy Noteckiej była gradacja strzygoni choinówki, która w latach 1922–1924 doprowadziła do zniszczenia ponad 60 tys. ha lasów. Projekt GISPRO wykazał, że integracja kilku nowoczesnych technologii pozwala na skuteczną inwentaryzację stanu zdrowotnego lasu, zarówno gdy skupia się na pojedynczych drzewach, jak i obejmuje całe drzewostany. Opracowano więc kolejny system (sprzęt, oprogramowanie i metody analityczne) pozwalający na sprawne monitorowanie ekosystemów leśnych.

Podsumowaniem powinna być wizja niedalekiej przyszłości, kiedy autonomiczne drony skanujące leśną przestrzeń, błyskawicznie diagnozując czynniki szkodotwórcze, aplikowałyby precyzyjne nanoboty przywracające równowagę w ekosystemie. Ale czy to tylko wizja przyszłości? ■

Chcesz wiedzieć więcej?

Hellwig F.M., Stelmaszczuk-Górska M.A., Dubois C., Wolsza M., Truckenbrodt S.C., Sagichewski H., Chmara S., Bannehr L., Lausch A., Schmillius C., *Mapping European Spruce Bark Beetle Infestation at Its Early Phase Using Gyrocopter-Mounted Hyperspectral Data and Field Measurements*, „Remote Sensing” 2021, <https://doi.org/10.3390/rs13224659>.

Hawryło P., Bednarz B., Wężyk P., Szostak M., *Estimating defoliation of Scots pine stands using machine learning methods and vegetation indices of Sentinel-2*, „European Journal of Remote Sensing” 2018, <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1417745>.

Schröder J. (red.), *Szacowanie biomasy leśnej za pomocą teledetekcji i modelowania. Wyniki projektu zrealizowanego w ramach współpracy polsko-niemieckiej*, Forseen Pomerania”, Eberswaldzka Seria Leśna, 2014.