



Możliwości wykorzystania
nowoczesnych technologii
w monitoringu siedlisk przyrodniczych

K. Stereńczak, A. Modzelewska, M. Ciesielski, P. Mroczek, M. Białczak, E.
Wysocka-Fijorek, S. Kurpiewska, K. Guderski, D. Czubak, T. Hycza
Zakład Geomatyki IBL

1. Wprowadzenie
2. Podejście do ekspertyzy
3. Przegląd literatury
 - a. metodyka
 - b. wyniki
4. Eksperyment - klasyfikacja
 - a. metodyka
 - b. wyniki
5. Ocena możliwości odróżnienia siedlisk
 - a. założenia
6. Powierzchnia siedlisk
7. Stan ochrony
8. Monitoring wysp rzecznych
9. Podsumowanie
10. Możliwości zastosowania innych danych teledetekcyjnych

Wprowadzenie

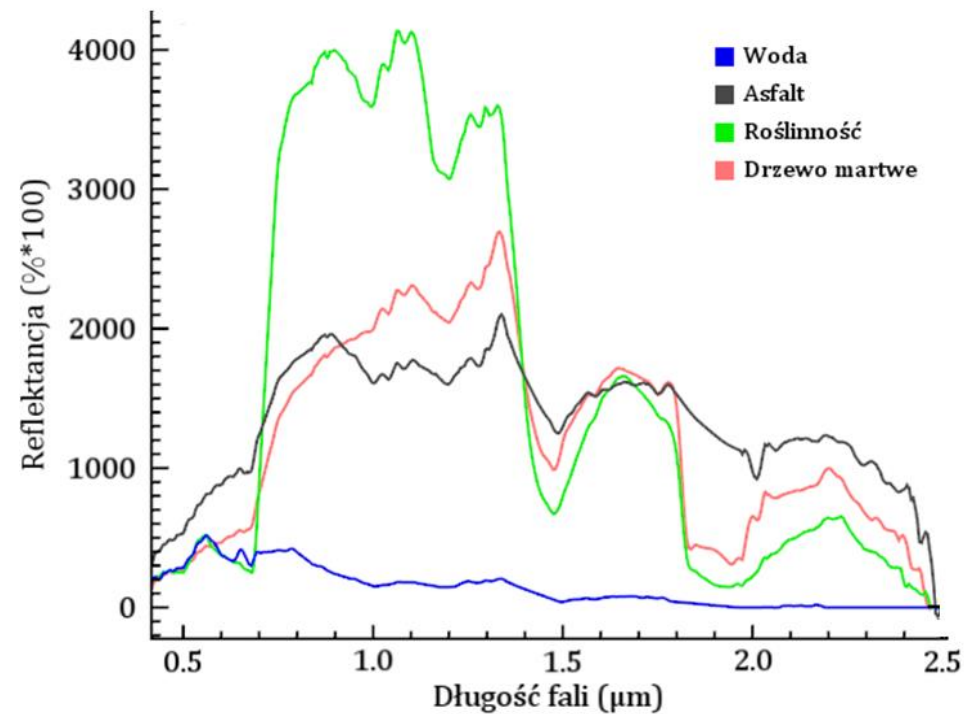
Teledetekcja - ogół metod badań wykonywanych zdalnie, bez fizycznego kontaktu z obiektem badań wykorzystujących dane takie jak zdjęcia lotnicze, satelitarne.

Dane teledetekcyjne umożliwiają obserwacje Ziemi w sposób zdalny. Obrazy satelitarne charakteryzują się różnymi rozdzielczościami (przestrzenną, czasową, spektralną), które wpływają na ich użyteczność do monitoringu siedlisk. Dane satelitów komercyjnych charakteryzują się lepszymi parametrami niż te, które są dostępne bezpłatnie. Jednocześnie najnowsze misje NASA i ESA dostarczają coraz lepszych danych (Sentinel-2, Landsat 8/9).

Czynniki wpływające na możliwość detekcji siedlisk z zastosowaniem zdjęć satelitarnych:

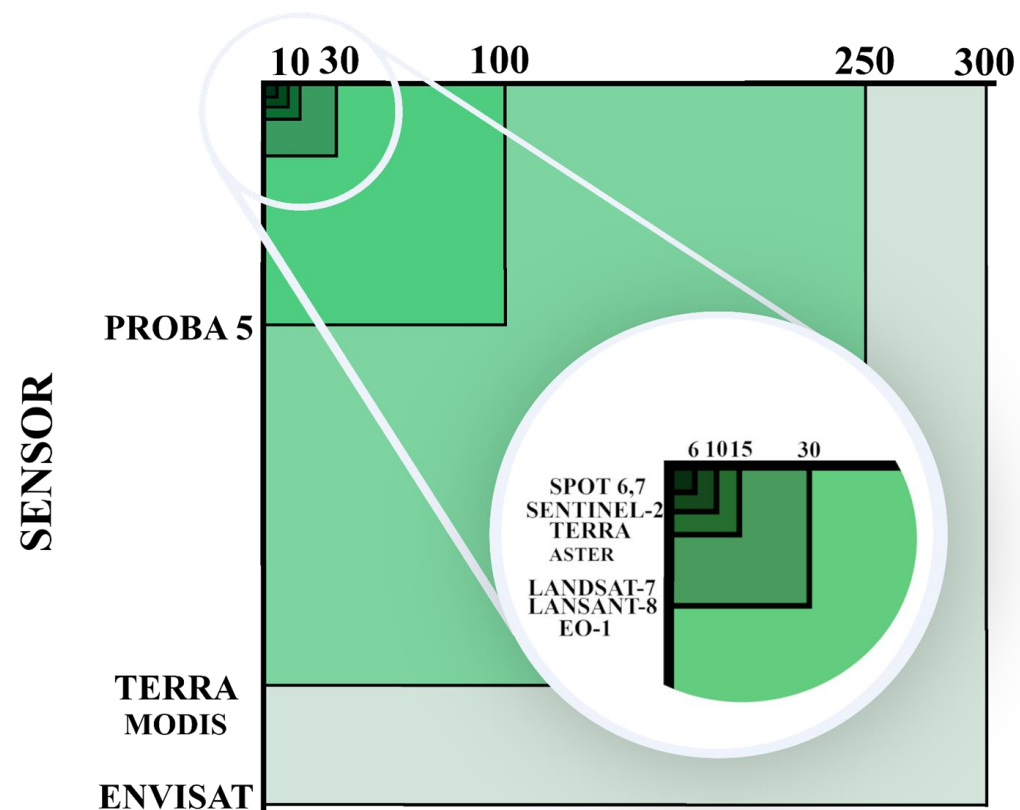
- rozdzielczość przestrzenna obrazu - determinuje wielkość obiektów, które mogą być wyróżnione
- rozdzielczość spektralna obrazu - wpływa na informacyjność obrazu, jak wiele i jak różnych obiektów można wykryć
- czas rewizyty satelity - istotny szczególnie w przypadku monitoringu

Każdy obiekt w specyficzny dla siebie sposób odbija promieniowanie elektromagnetyczne, co wynika z właściwości tego obiektu. Można to przedstawić za pomocą charakterystyki spektralnej, która jest specyficzna dla obiektów o podobnych właściwościach i pozwala na rozróżnianie między sobą na obrazach pikseli odwzorowujących, np. różne formy pokrycia terenu. Im wyższa rozdzielczość spektralna obrazu, tym lepiej odwzorowana charakterystyka obiektu, a zatem większa liczba obiektów możliwa do odróżnienia.



Rozdzielczość przestrzenna (GSD, ang. *Ground Sampling Distance*) - jest to odległość w terenie, jaką odwzorowuje piksel obrazu. W praktyce - najmniejszy obraz jaki możemy rozpoznać na zdjęciu musi przewyższać swoją wielkość powierzchnię piksela terenowego.

ROZDZIELCZOŚĆ PRZESTRZENNA W METRACH

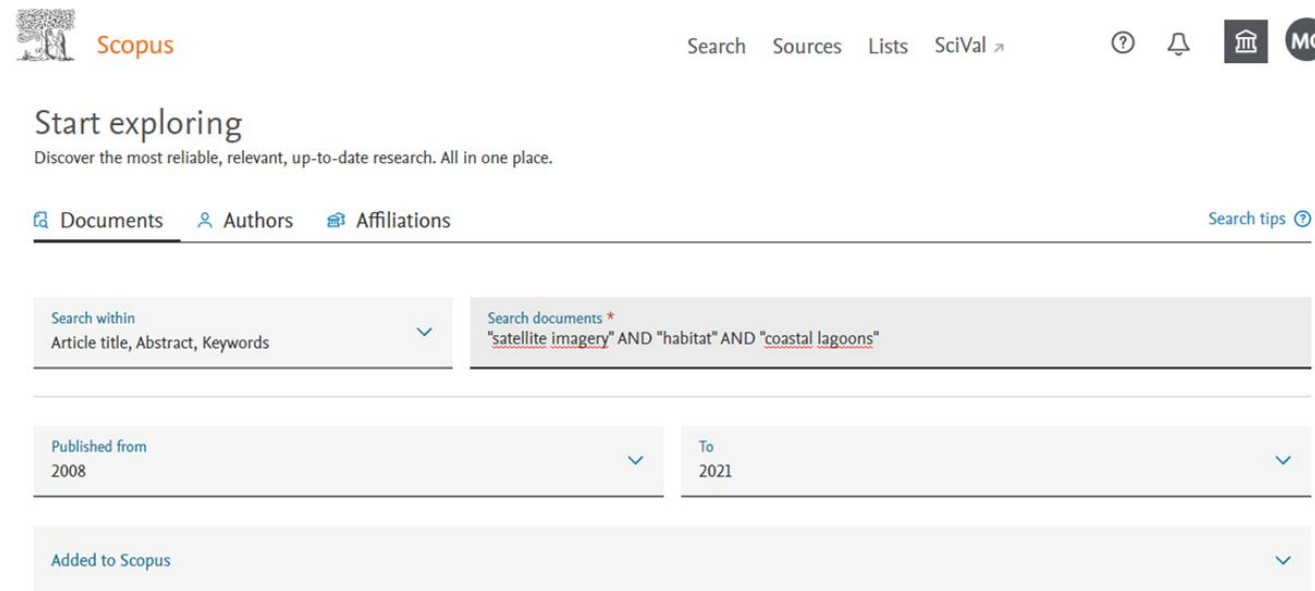


Przegląd literatury

W celu wyszukania pozycji literatury, potencjalnie dotyczących przedmiotu ekspertyzy, do największej na świecie bazy bibliograficznej Scopus, wprowadzono zdefiniowane zapytania warunkowe o charakterze szczegółowym dotyczące poszczególnych siedlisk Natura 2000 występujących w Polsce.

Słów i sformułowań z zapytań wyszukiwano w tytule, abstrakcie oraz w słowach kluczowych rekordów w bazie, które opublikowano w latach 2008 – wrzesień 2021.

Systematyczny przegląd literatury uzupełniono przeglądem eksperckim poprzez dołączenie znanych, autorom ekspertyzy, prac z przedmiotowego zakresu.



The screenshot shows the Scopus search interface. At the top left is the Scopus logo. To the right are navigation links: Search, Sources, Lists, and SciVal. Further right are icons for help, notifications, and a profile icon labeled 'MC'. Below the navigation is the heading 'Start exploring' with the tagline 'Discover the most reliable, relevant, up-to-date research. All in one place.' Underneath are tabs for 'Documents', 'Authors', and 'Affiliations', with 'Documents' selected. A 'Search tips' link is on the far right. The search area contains a dropdown menu for 'Search within' set to 'Article title, Abstract, Keywords'. The search query is '"satellite imagery" AND "habitat" AND "coastal lagoons"'. Below the search bar are two date range selectors: 'Published from 2008' and 'To 2021'. At the bottom is a dropdown menu for 'Added to Scopus'.

Wszystkie **604** wyszukanych pozycji literatury, które potencjalnie dotyczyły tematyki przeglądu, zostały poddane dwuetapowej analizie mającej na celu weryfikację ich treści. W pierwszym etapie odrzucono pozycje literatury, które m.in.:

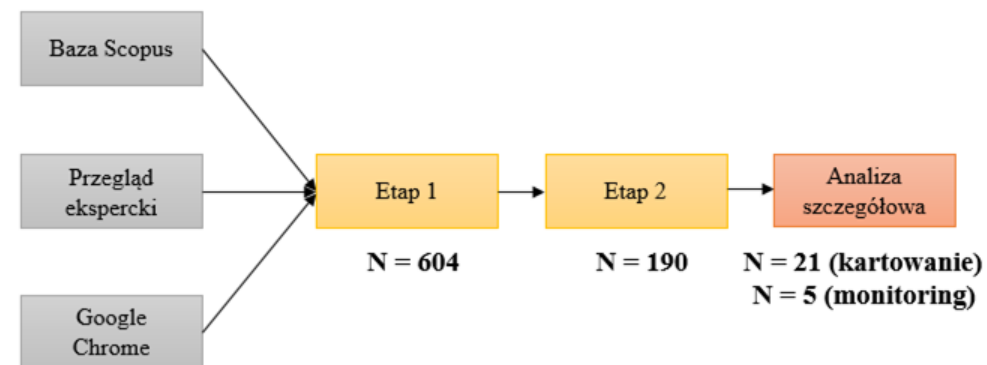
- Przedstawiały wyniki badań przy wykorzystaniu innych danych teledetekcyjnych niż bezpłatne dane satelitarne (wyjątek stanowił artykuł, w którym wygenerowano zobrażenia tożsame z danymi Sentinel-2 w sposób sztuczny).

Na tej podstawie do drugiego etapu analizy zakwalifikowano łącznie **190** pozycji literatury. W tym etapie odrzucono pozycje literatury, które:

- Nie dotyczyły kartowania lub monitoringu siedlisk Natura 2000 lub siedlisk o podobnej charakterystyce. Siedliska o podobnej charakterystyce zostały ekspercko zidentyfikowane przez botaników.
- Nie były prowadzone na obszarze Europy.

Łącznie do szczegółowej analizy pozostawiono **26** unikalnych pozycji literatury.

Źródła danych



We wszystkich pozycjach literatury łącznie przedmiotem kartowania objęte było 47 siedlisk Natura 2000 (17 z 20 typów siedlisk) (99 rekordów w tabeli, w tym 52 rekordy dotyczące kartowania odnosiły się do siedlisk o podobnej charakterystyce do siedlisk Natura 2000) oraz 27 siedlisk, w których podnoszono aspekt monitoringu.

Typ siedliska	Liczba rekordów
Otwarte morze i obszary pływowe	9
Morskie wybrzeża klifowe oraz żwirowe lub kamieniste plaże	2
Atlantyckie i kontynentalne słone błota (marsze) i słone łąki	12
Wydmy piaszczyste na wybrzeżach Atlantyku, Morza Północnego i Bałtyku	6
Wydmy kontynentalne, stare i bezwapniowe	1
Wody stojące	1
Wody bieżące	1
Wrzosowiska i zarośla strefy umiarkowanej	11
Zarośla subśródziemnomorskie i strefy umiarkowanej	0
Naturalne murawy	4
Półnaturalne odmiany suchych muraw i zarośli	7
Półnaturalne podmokłe łąki ziołoroślowe	6
Mezofilne murawy	4
Bagna torfowe o charakterze kwasowym	8
Mokradła wapienne	1
Piargi	2
Roślinność szczelin na skalnych zboczach	3
Inne siedliska skalne	0
Lasy strefy umiarkowanej Europy	21
Alpejskie i subalpejskie lasy iglaste	0

Eksperyment - klasyfikacja

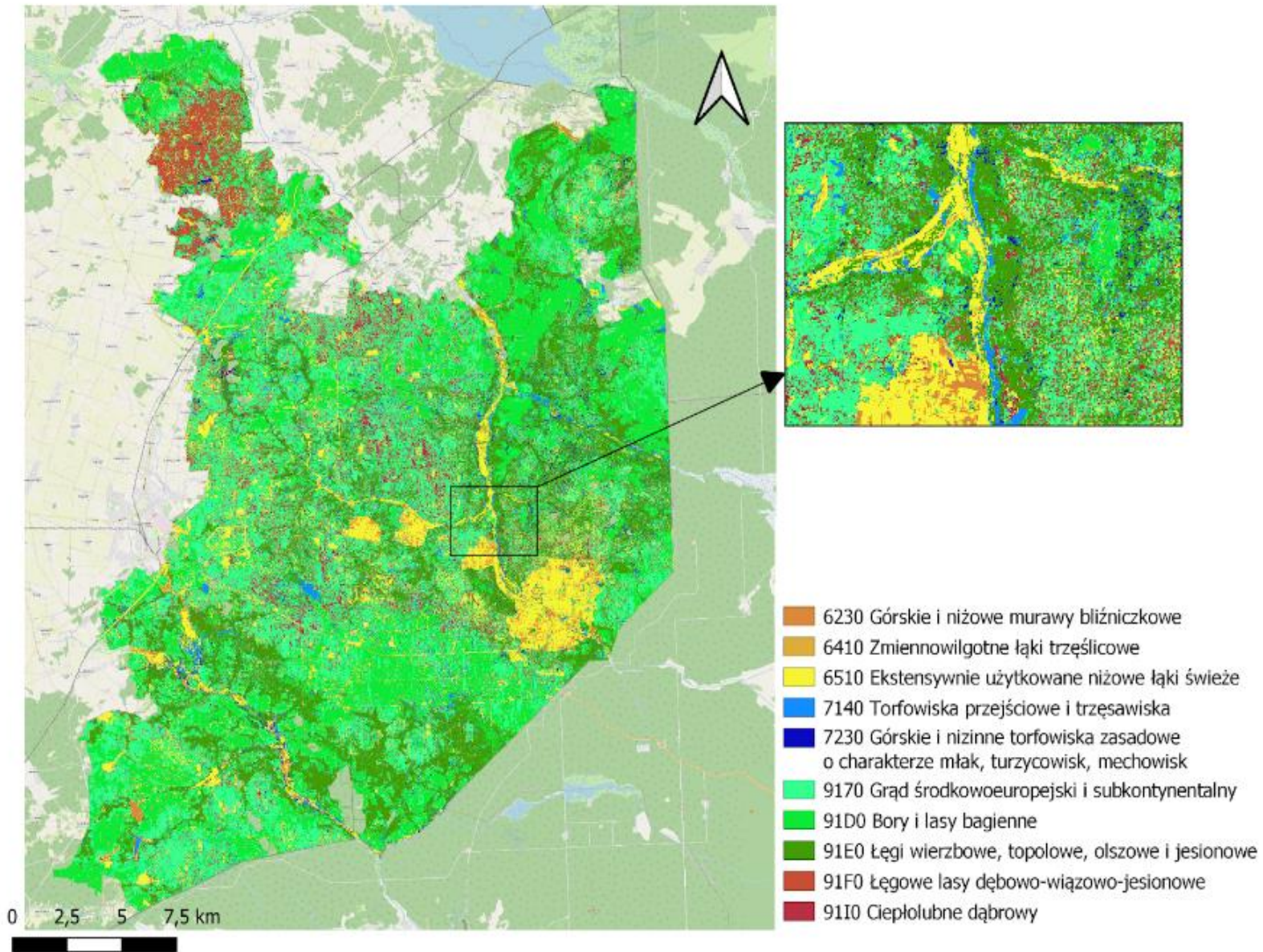
Przetestowano dane, które spośród darmowych danych satelitarnych charakteryzują się najwyższą rozdzielczością przestrzenną (10 m) i najbardziej optymalnym zakresem spektralnym - **Sentinel 2**.

Przetestowano kilka algorytmów parametrycznych i uczenia maszynowego, wybrano ten, który dawał najwyższe dokładności - **SVM** (ang. *Support Vector Machine*, Vapnik, 1979).

Przetestowano **pojedyncze zdjęcia** pozyskane w różnych miesiącach w trakcie okresu wegetacyjnego (maj, czerwiec, lipiec/sierpień), wzbogacone o **wskaźniki teledetekcyjne** oraz połączone w **zestawy danych wieloczasowych** - najwyższe dokładności dawało (w przypadku każdego z analizowanych obszarów) połączenie pojedynczych zdjęć w zestaw **wieloczasowy**: maj+czerwiec+lipiec dla Białowieży i maj+czerwiec+sierpień dla Biebrzy.

- Dokładność całkowita klasyfikacji: 68% (PB), 67% (BbPN)
- Dokładności dla poszczególnych klas:

typ siedliska	kod siedliska	dokładność producenta	dokładność użytkownika
Wydmy śródlądowe z murawami napiaskowymi	2330	50%	54%
Starorzecza i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowiskami z <i>Nymphaeion</i> , <i>Potamion</i>	3150	92%	87%
Cieptolubne śródlądowe murawy napiaskowe (<i>Koelerion glaucae</i>)	6120	32%	31%
Murawy kserotermiczne (<i>Festuco-Brometea</i>)	6210	63%	68%
Bogate florystycznie górskie i niżowe murawy bliźniczkowe (<i>Nardion</i> – płaty bogate florystycznie)	6230	78%	81%
Zmiennowilgotne łąki trzęślicowe (<i>Molinion</i>)	6410	92%	95%
Łąki selernicowe (<i>Cnidion dubii</i>)	6440	71%	68%
Ekstensywnie użytkowane niżowe łąki świeże (<i>Arrhenatherion</i>)	6510	65%	61%
Torfowiska wysokie z roślinnością torfotwórczą (żywe)	7110	100%	92%
Torfowiska przejściowe i trzęsawiska (przeważnie z roślinnością z <i>Scheuchzerio-Caricetea nigrae</i>)	7140	75%	73%
Górskie i nizinne torfowiska zasadowe o charakterze młak, turzycowisk i mechowisk	7230	75%	85%
Grąd środkowoeuropejski i subkontynentalny (<i>Galio-Carpinetum</i> , <i>Tilio-Carpinetum</i>)	9170	67%	69%
Bory i lasy bagienne (<i>Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis</i> , <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum</i> , <i>Pino mugo-Sphagnetum</i> , <i>Sphagno girgensohnii-Piceetum</i>)	91D0	85%	71%
Łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe (<i>Salicetum albae</i> , <i>Populetum albae</i> , <i>Alnenion glutinoso-incanae</i> , olsy źródliskowe)	91E0	66%	63%
Łęgowe lasy dębowo-wiązowo-jesionowe (<i>Ficario-Ulmetum</i>)	91F0	69%	67%
Cieptolubne dąbrowy (<i>Quercetalia pubescenti-petraeae</i>)	91I0	73%	73%
Śródlądowy bór chrobotkowy	91T0	94%	90%



Ocena możliwości odróżnienia siedlisk

Oceniono potencjalną możliwość wyróżnienia każdego siedliska przy użyciu danych teledetekcyjnych w skali od 1 do 5, gdzie:

- 1 - brak możliwości detekcji,
- 2 - detekcja raczej nie jest możliwa,
- 3 - możliwość detekcji wymaga dodatkowej weryfikacji,
- 4 - detekcja raczej jest możliwa,
- 5 - detekcja jest możliwa.

Ocena rozróżnialności każdego siedliska została wyznaczona na podstawie:

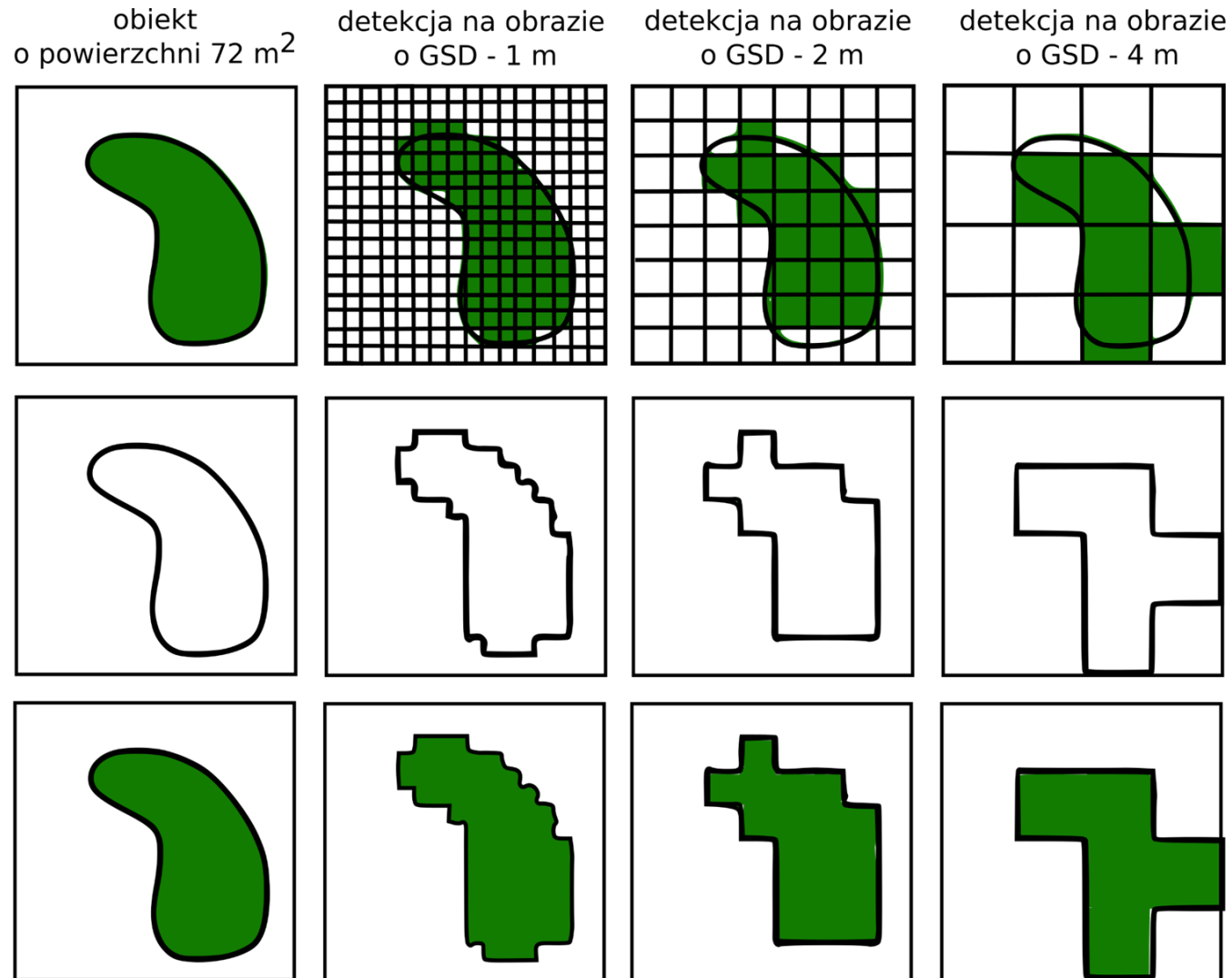
- * stwierdzono na podstawie literatury
- ** stwierdzono na podstawie literatury i klasyfikacji zdjęć (eksperymentu)
- stwierdzono na podstawie eksperckiej wiedzy o charakterystyce
- *** spektralnej obiektu

Oceniono potencjalną możliwość wyróżnienia każdego siedliska przy użyciu danych teledetekcyjnych w skali od 1 do 5, gdzie 1 - brak możliwości detekcji, 2 - detekcja raczej nie jest możliwa, 3 - możliwość detekcji wymaga dodatkowej weryfikacji, 4 - detekcja raczej jest możliwa, 5 - detekcja jest możliwa (poniżej fragment tabeli).

Typ siedliska	Kod siedliska	Liczba rekordów	Literatura							Eksperyment		OCENA	
			OA - min	OA - max	Kappa - min	Kappa - max	F1 - min	F1 - max	Dokładność dla siedliska	PA	UA		
Zmiennowilgotne łąki trzęślicowe (Molinion)	6410	5	55.20	94.50	88.5	93.5			NIE	0.92	0.95	5	**
Ziolorośla górskie (Adenostylon alliariae) i ziolorośla nadrzeczne	6430	1	94.50	94.50	93.5	93.5			NIE			4	*
Łąki selernicowe (Cnidion dubii)	6440	0								0.71	0.68	4	**
Ekstensywnie użytkowane niżowe łąki świeże (Arrhenatherion)	6510	4	60.50	94.50	93.5	93.5			TAK	0.65	0.61	4	**
Górskie łąki konietlicowe użytkowane ekstensywnie (Polygonum-Tri)	6520	0										3	***
Eutroficzne łąki wilgotne (zw. Calthion)*	65XX	0										3	***
Torfowiska wysokie z roślinnością torfotwórczą (żywe)	7110	3	70.50	85.40	50	80	70.4	70.4	NIE	1.00	0.92	5	**
Torfowiska wysokie zdegradowane, zdolne do naturalnej i stymulacji	7120	2	70.50	85.40	50	50			NIE			4	*
Torfowiska przejściowe i trzęsawiska (przeważnie z roślinnością z	7140	3	70.50	85.00	80	80	70.4	70.4	TAK	0.75	0.73	4	**
Obniżenia na podłożu torfowym z roślinnością ze związku Rhynchospora	7150	0										2	***
Torfowiska nakredowe (Cladietum marisci, Caricetum buxbaumii, Clad	7210	0										3	***
Źródłiska wapienne ze zbiorowiskami Cratoneurion commutati	7220	0										2	***
Górskie i nizinne torfowiska zasadowe o charakterze młak, turzycow	7230	1	70.50	70.50					TAK	0.75	0.85	4	**
Brzegi lub osuszane dna zbiorników wodnych ze zbiorowiskami z	3130	0										2	***
Twardowodne oligo- i mezotroficzne zbiorniki z podwodnymi łąkami	3140	0										4	***
Starorzeczka i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowisk	3150	1	93.00	93.00					NIE	0.92	0.87	5	**
Naturalne, dystroficzne zbiorniki wodne	3160	0										3	***
Zarośla wrześni na kamieńcach i zwirowiskach górskich potoków (3230	0										3	***
Zarośla wierzbowe na kamieńcach i zwirowiskach górskich potokó	3240	0										3	***
Nizinne i podgórskie rzeki ze zbiorowiskami włosieniczników	3260	0										3	***
Zalewane muliste brzegi rzek	3270	1	93.00	93.00					NIE			4	*

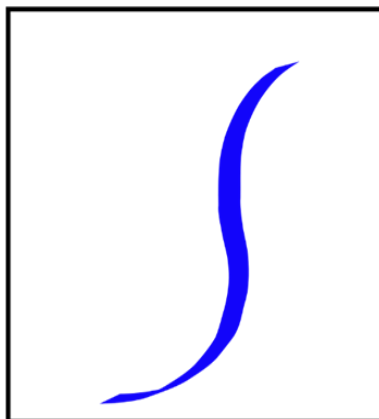
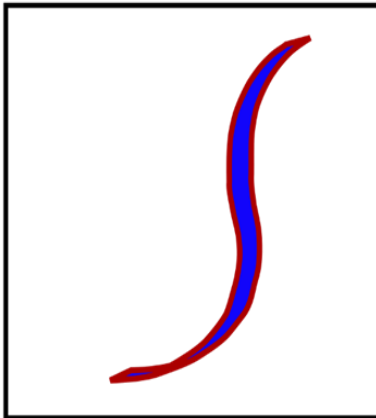
Powierzchnia siedlisk

Możliwość poprawnego odwzorowania kształtu i przebiegu granicy obiektu na obrazowaniach zmniejsza się wraz z rozdzielczością przestrzenną zdjęć.

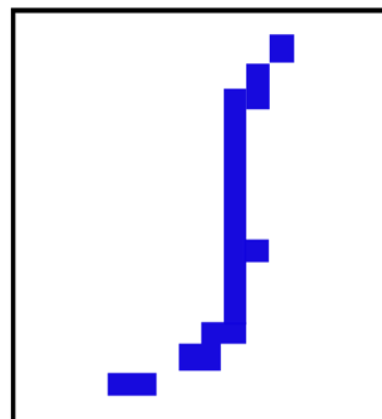
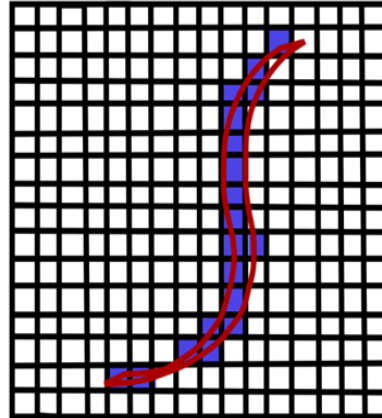


Szczególnie trudne jest poprawne odwzorowanie obiektów liniowych oraz obiektów o nieregularnym kształcie.

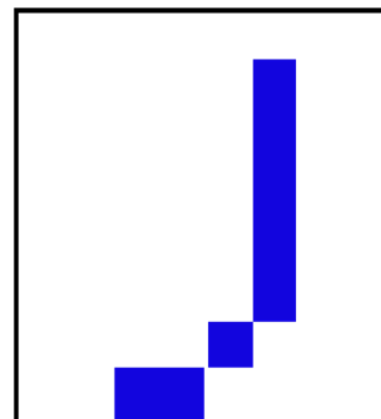
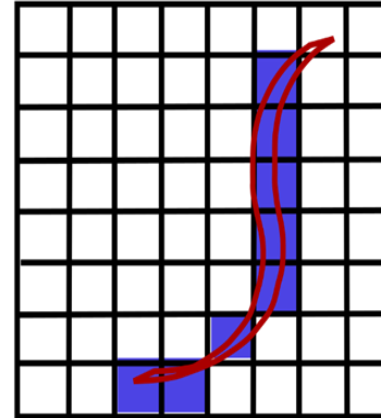
obiekt o wydłużonym kształcie



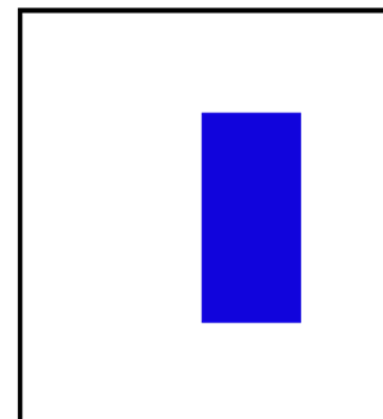
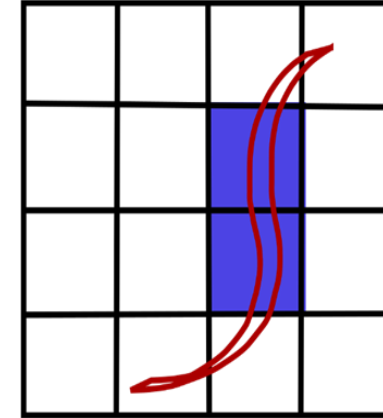
detekcja na obrazie o GSD - 1 m



detekcja na obrazie o GSD - 2 m



detekcja na obrazie o GSD - 4 m



Monitoring wysp rzecznych

- Spośród 200 artykułów wyszukanych w bazie Scopus, wybrano 45 na podstawie treści abstraktu, a następnie do szczegółowej analizy wybrano 29 publikacji, których treść była zgodna z tematyką opracowania,
- Analizowane artykuły obejmowały monitoring wysp o dużej powierzchni (kilkadziesiąt km², które mają także znaczenie gospodarcze (niejednokrotnie wyspy te są zamieszkałe przez ludność).

Wyniki:

- Detekcja wysp rzecznych na podstawie zobrażeń satelitarnych jest **możliwa**,
- Znormalizowany Różnicowy Wskaźnik Wodny **NDWI** (*Normalized Difference Water Index*) jest rekomendowany do ekstrakcji wysp z obrazów satelitarnych,
- Zmiany **wielkości wysp** powinny być korelowane z danymi pomiarowymi **poziomu zwierciadła wód** powierzchniowych na rzece,
- Żaden z przeanalizowanych **artykułów nie przedstawia** wyników **detekcji siedlisk** przyrodniczych,
- Możliwa jest **detekcja typów pokrycia** terenu (las, woda, łąka, łacha piaszczysta) na podstawie obrazów satelitarnych,
- **Wielkość piksela** ma kluczowe znaczenie przy analizowaniu niewielkich obszarowo wysp (< 1 km²).

Aby ocenić w praktyce możliwość wykrywania zmian w obrębie wysp rzecznych za pomocą obrazów satelitarnych, wykonano analizę teledetekcyjną:

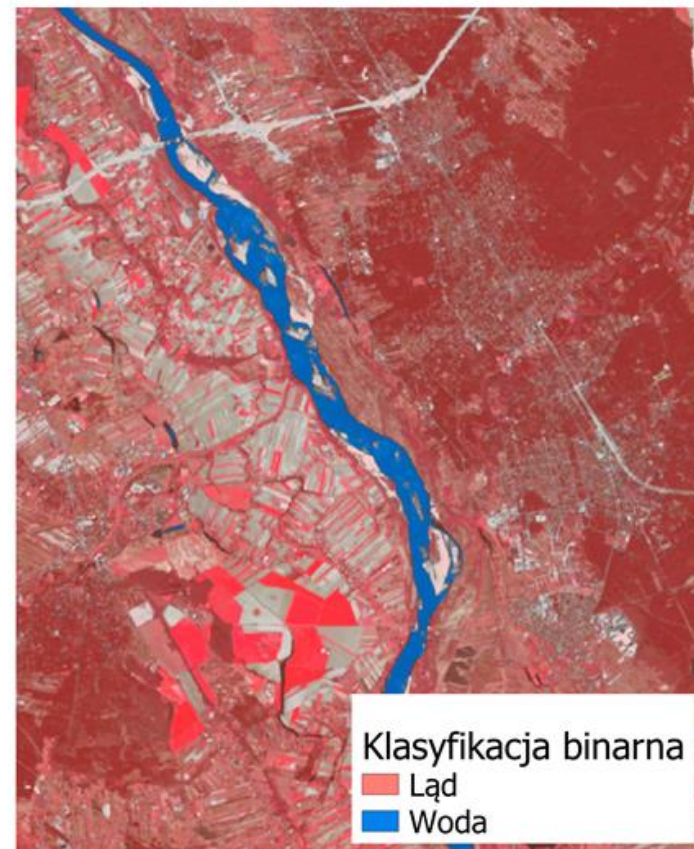
- Analiza zmian wysp rzecznych w obszarze rezerwatów przyrody Wyspy Zawadowskie oraz Wyspy Świdurskie,
- Analiza czasowa w latach 2000-2021,
- Wykorzystanie danych z Landsat 7, Landsat 8 oraz Sentinel,
- Wykorzystanie teledetekcyjnego wskaźnika NDWI (ang. *Normalized Difference Water Index*, McFeeters i in., 1996) do określenia zmian położenia i wielkości wyspy.

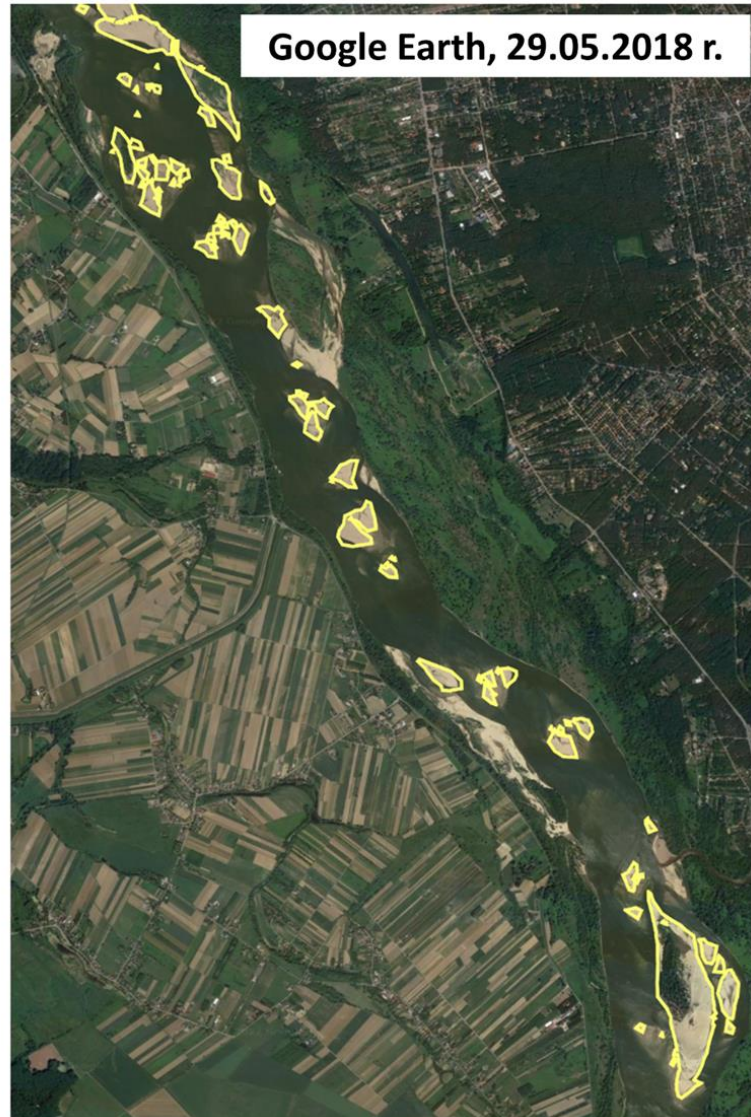
$$\text{NDWI} = (\text{GREEN} - \text{NIR}) / (\text{GREEN} + \text{NIR})$$

Wskaźnik NDWI



Wyniki klasyfikacji





Podsumowanie

Przeprowadzono analizy literatury i dostępnych materiałów teledetekcyjnych w celu określenia potencjalnej możliwości detekcji siedlisk przyrodniczych, powierzchni i stanu ochrony siedlisk oraz monitoringu wysp rzecznych.

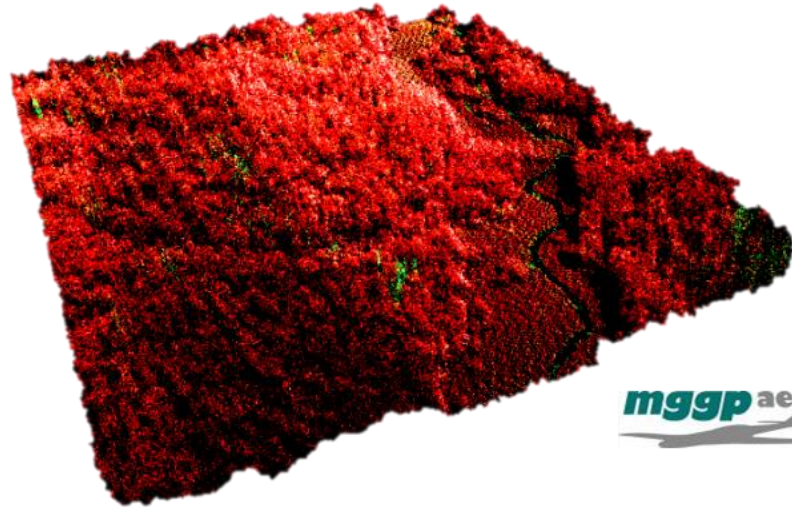
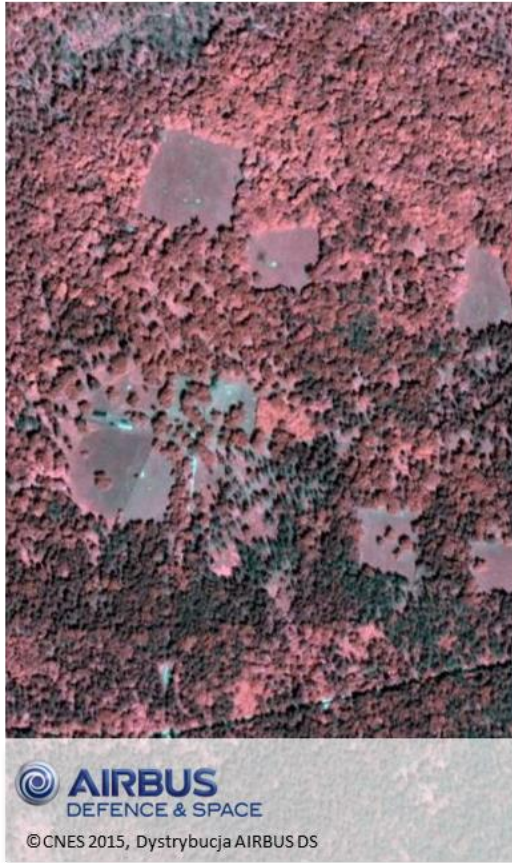
Detekcja siedlisk na podstawie danych teledetekcyjnych jest możliwa, czego dowodzą wyniki przeglądu literatury oraz przeprowadzonego eksperymentu. Jednak w przypadku części typów siedlisk konieczne będzie dostosowanie metodyki do danego siedliska czy też zastosowanie dodatkowych danych.

Wyznaczenie powierzchni siedliska na podstawie zdjęć satelitarnych jest dużym wyzwaniem i w wielu przypadkach konieczne byłoby zastosowanie dodatkowych danych.

Określenie stanu ochrony siedliska nie jest możliwe bezpośrednio na podstawie danych satelitarnych. Jednak wiele cech, na podstawie których stan ochrony jest określany, jest możliwe do oszacowania na podstawie danych teledetekcyjnych. W ekspertyzie wskazaliśmy te cechy oraz przykłady danych, które potencjalnie mogą zostać zastosowane.

Monitoring wysp rzecznych jest możliwy na podstawie zdjęć satelitarnych. Jednak metodyka znana z literatury nie zawsze może być efektywna w warunkach polskich, ponieważ wyspy rzeczne w naszym kraju są stosunkowo niewielkie.

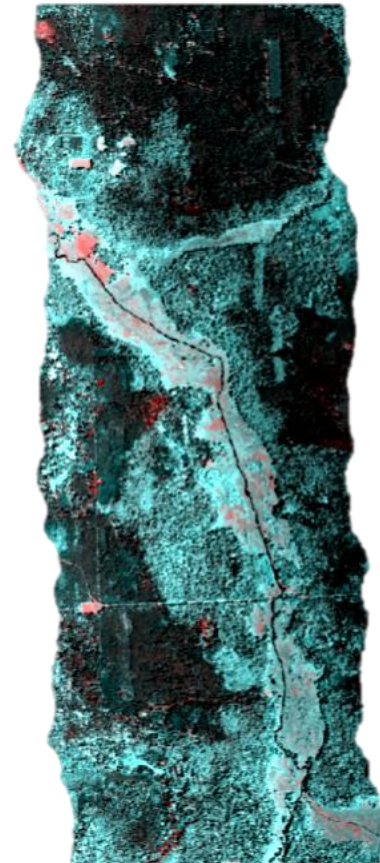
Możliwości zastosowania innych danych teledetekcyjnych



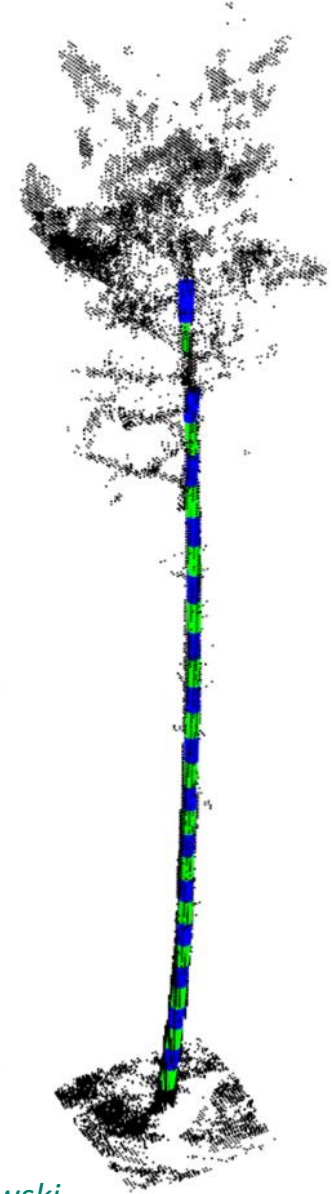
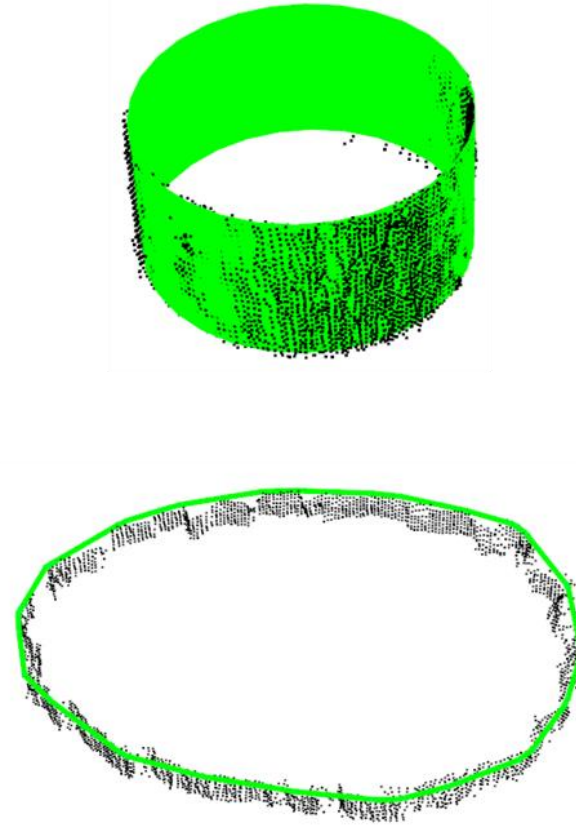
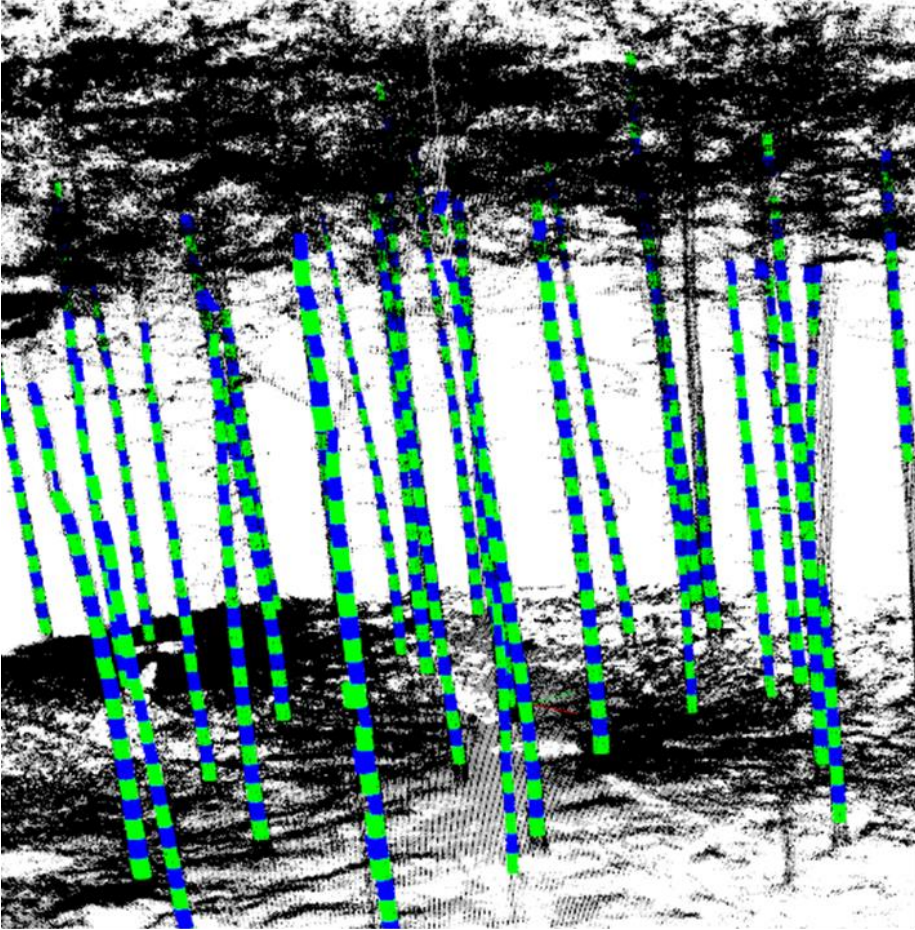
mggp aero

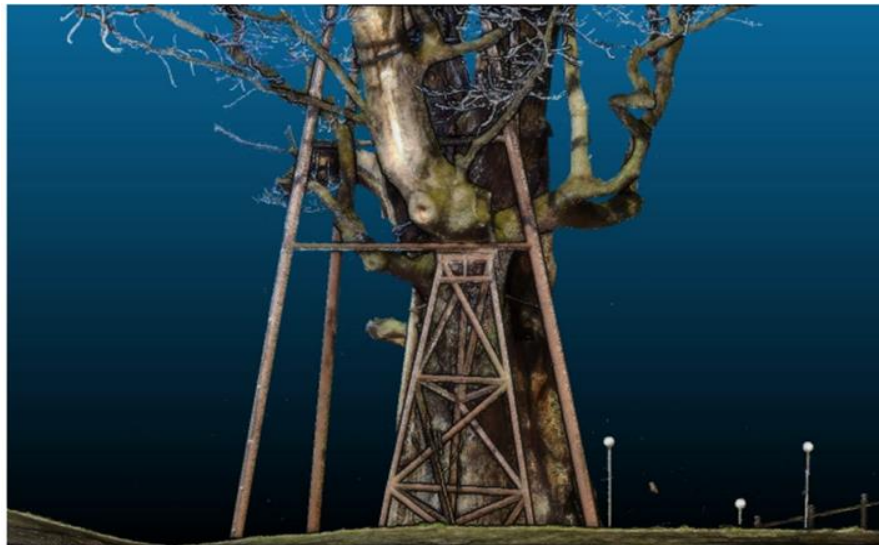


 opegięka

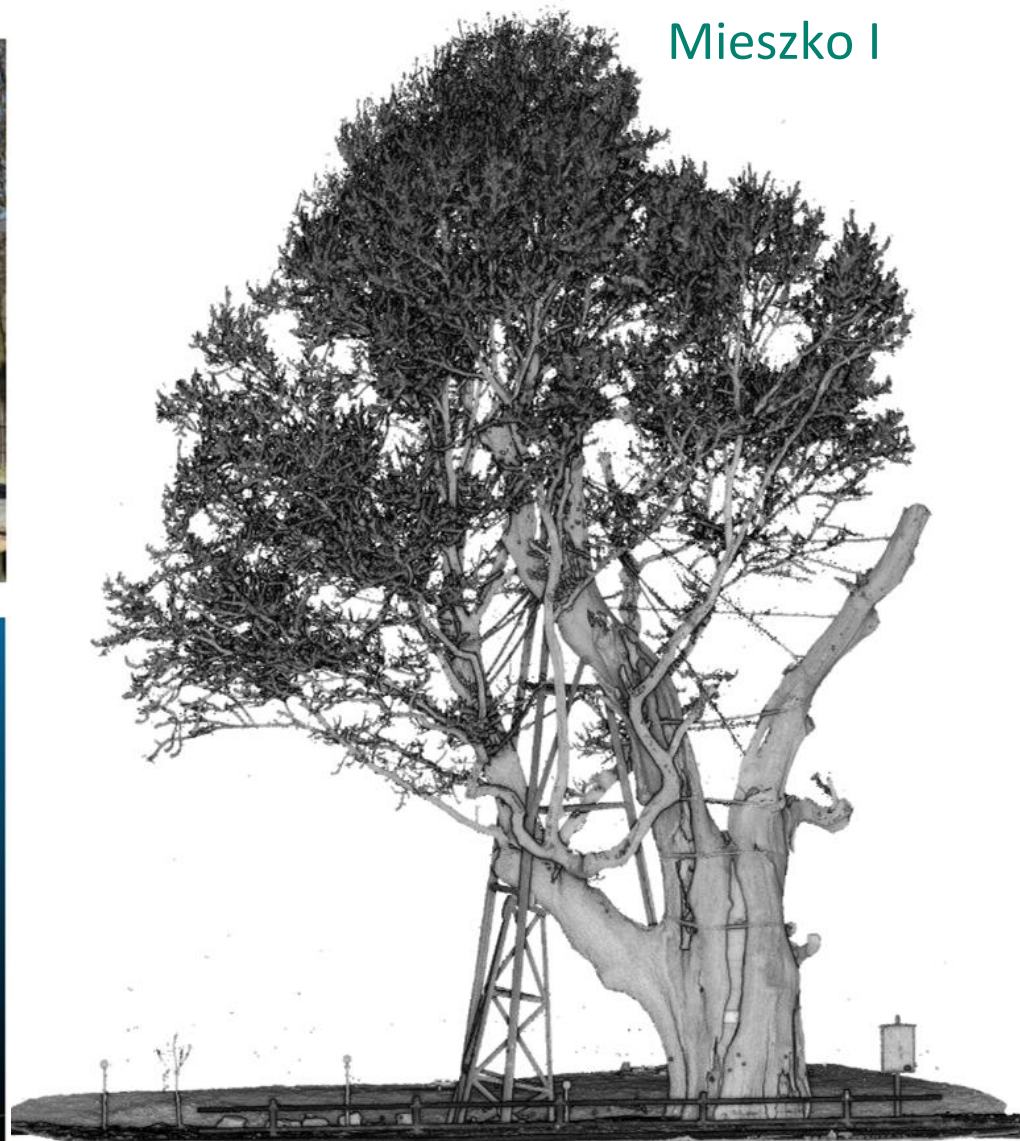




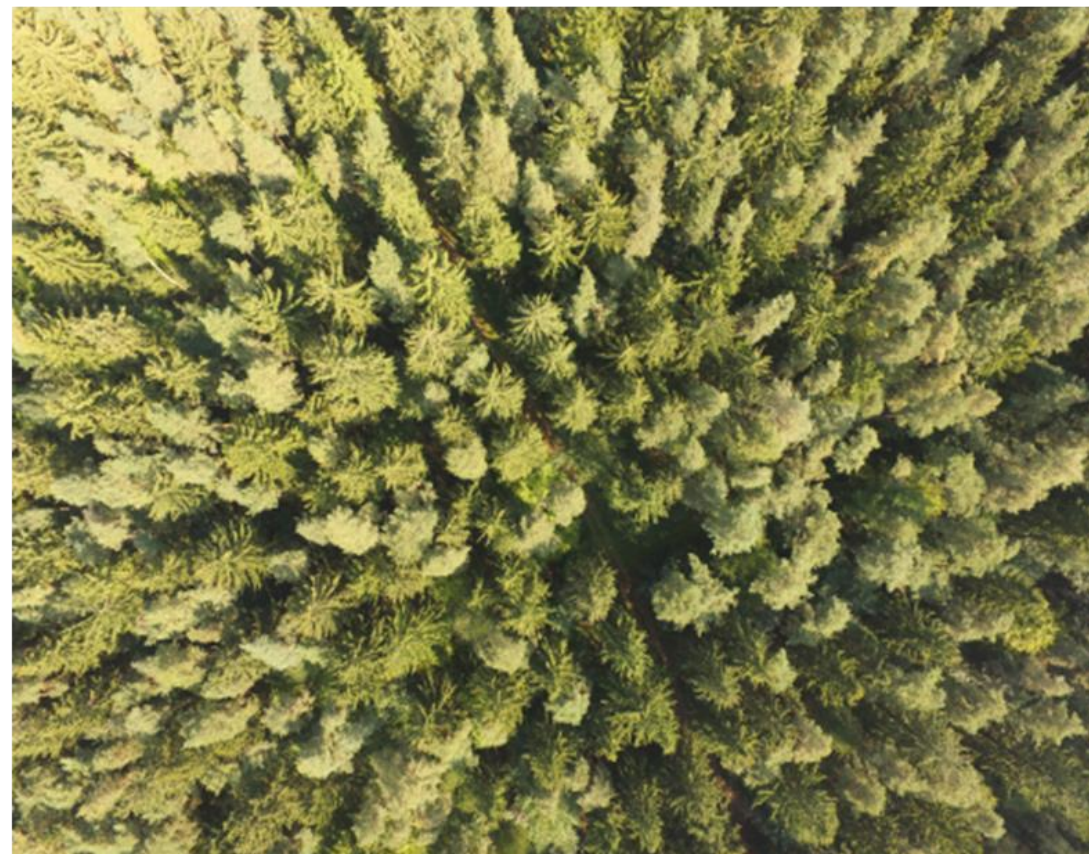




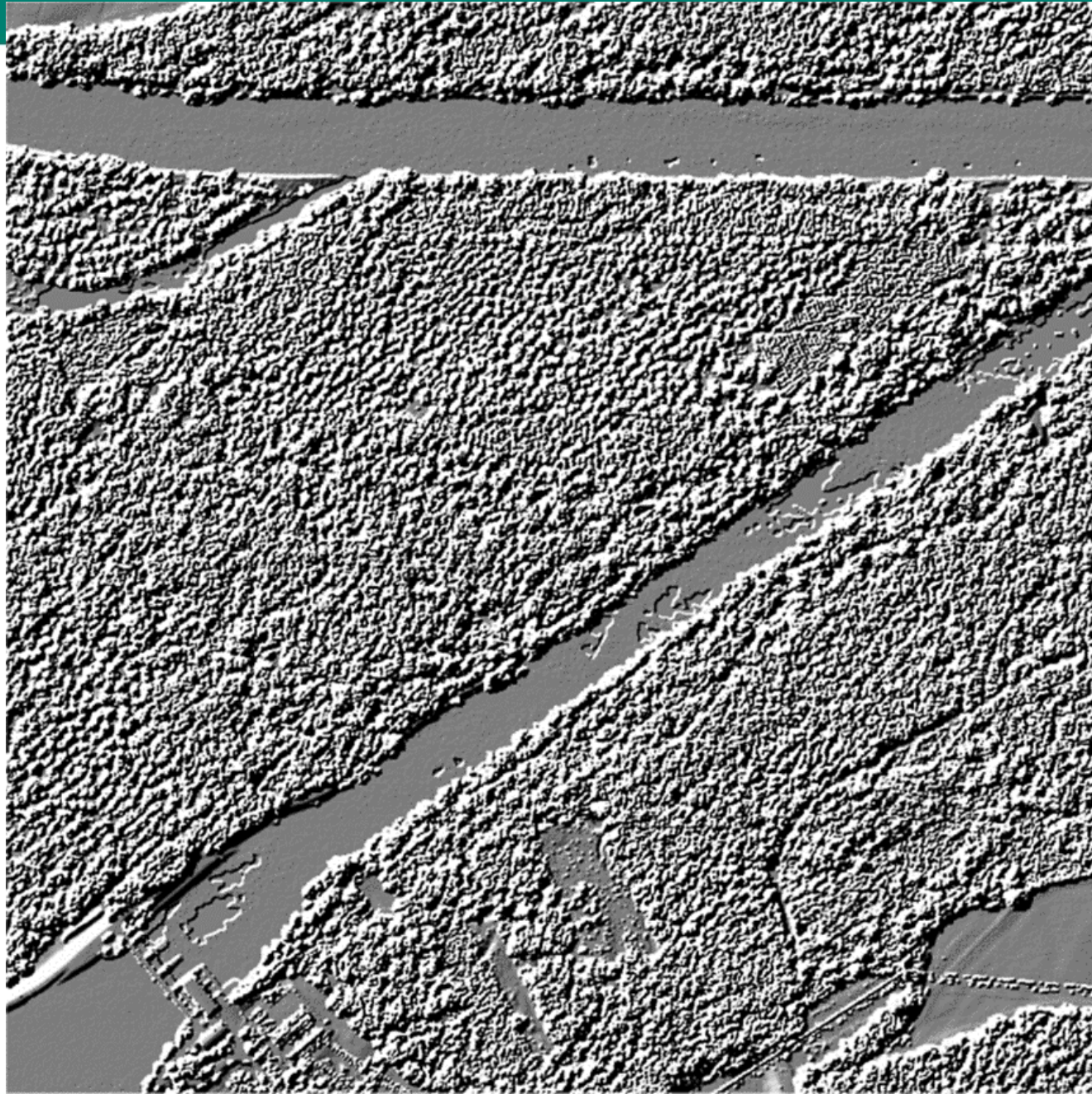
Mieszko I

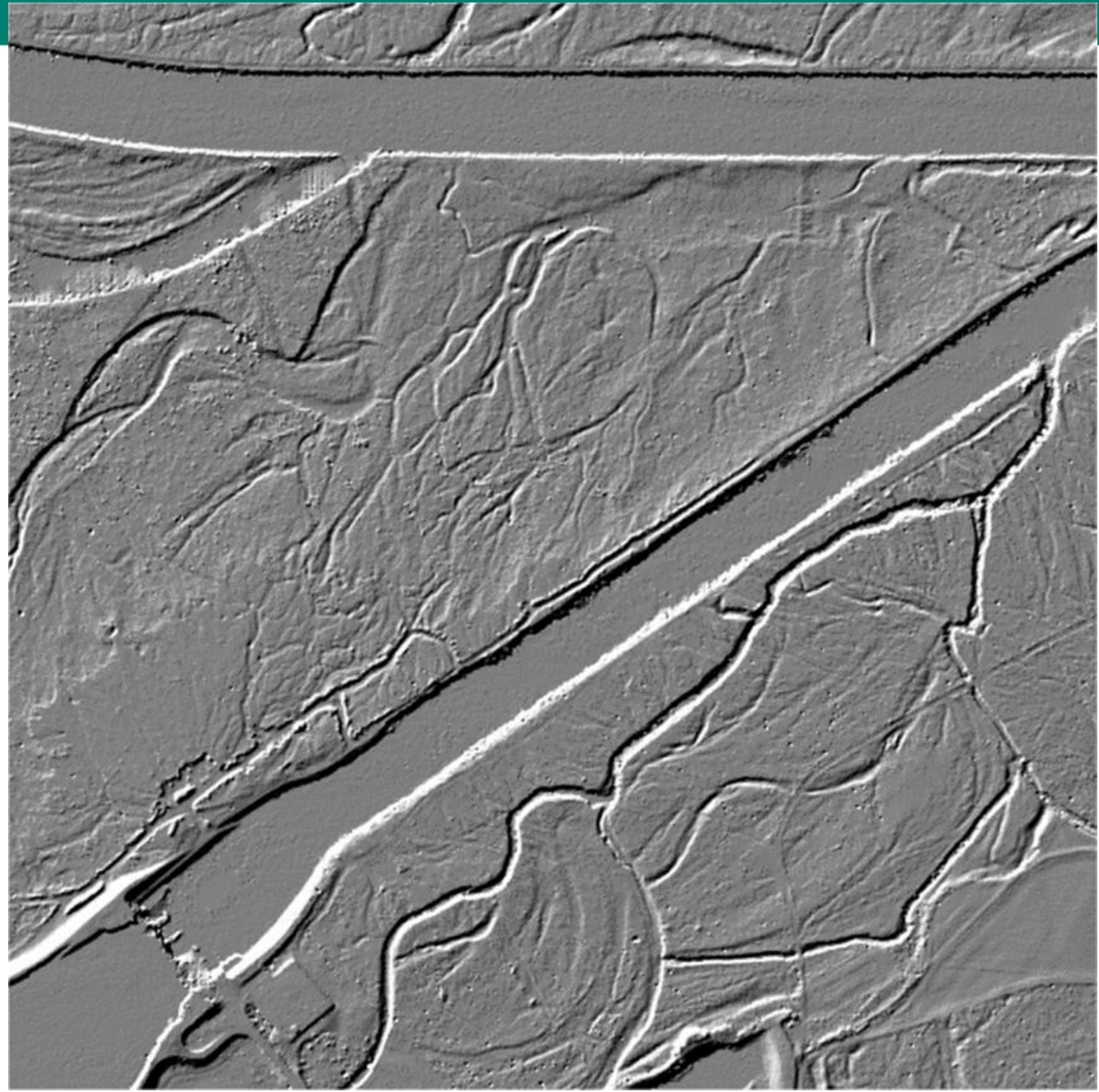


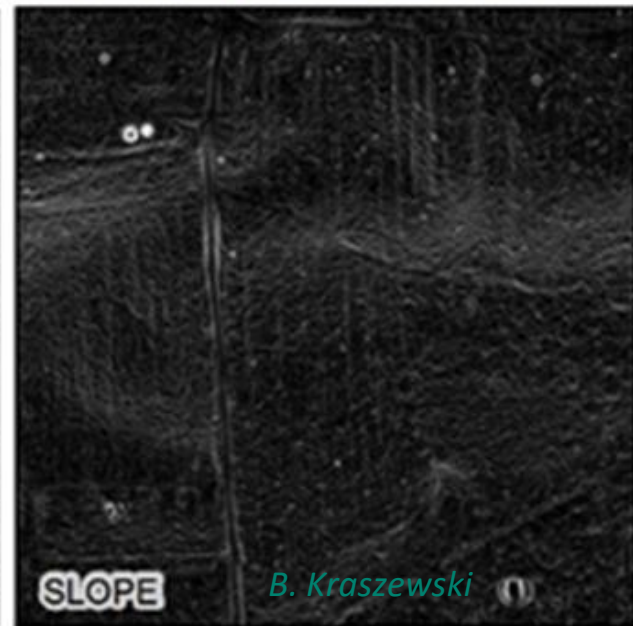
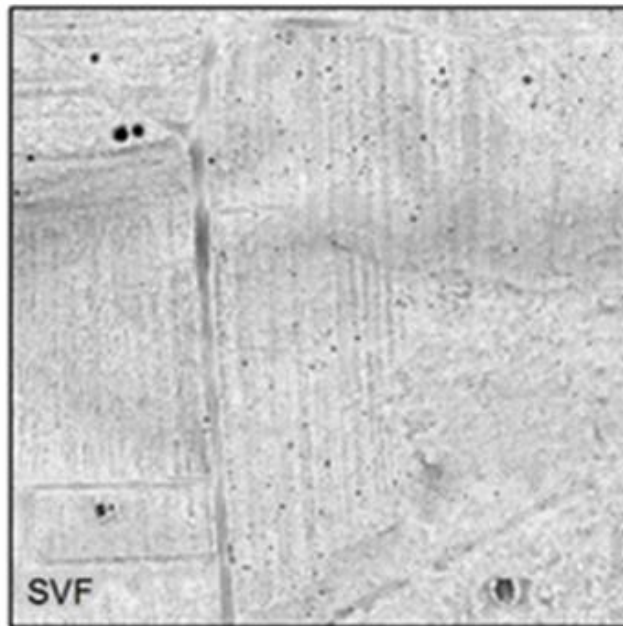
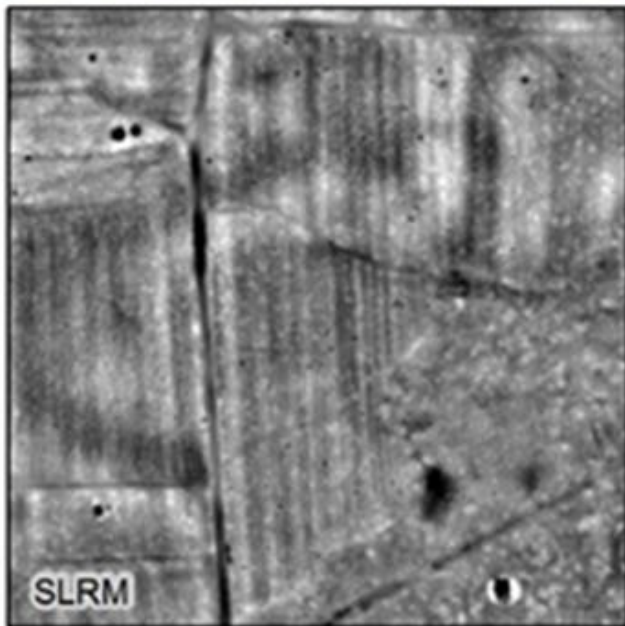
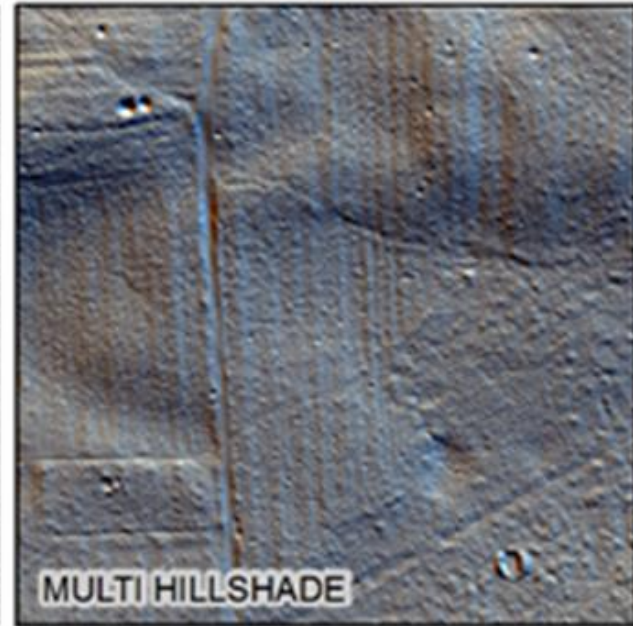
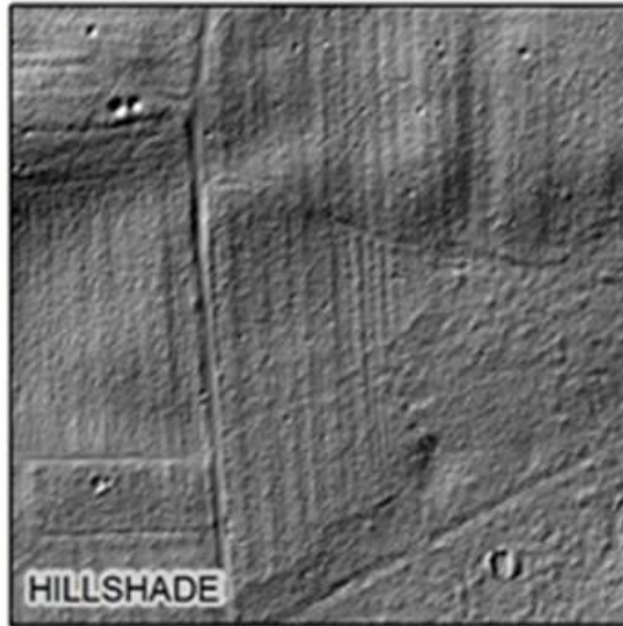
G. Krok



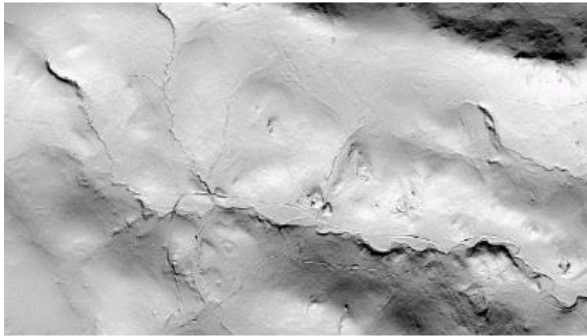
M. Lisańczuk



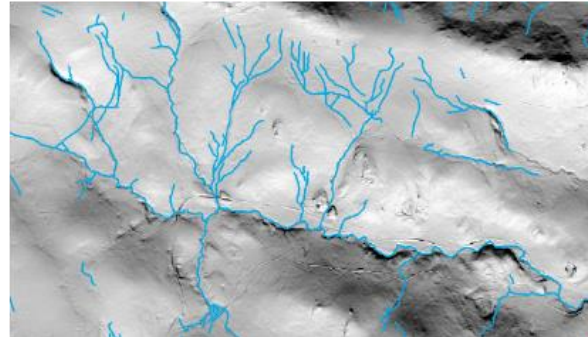




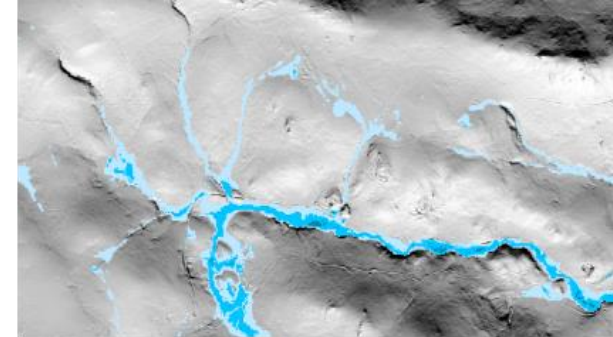
B. Kraszewski



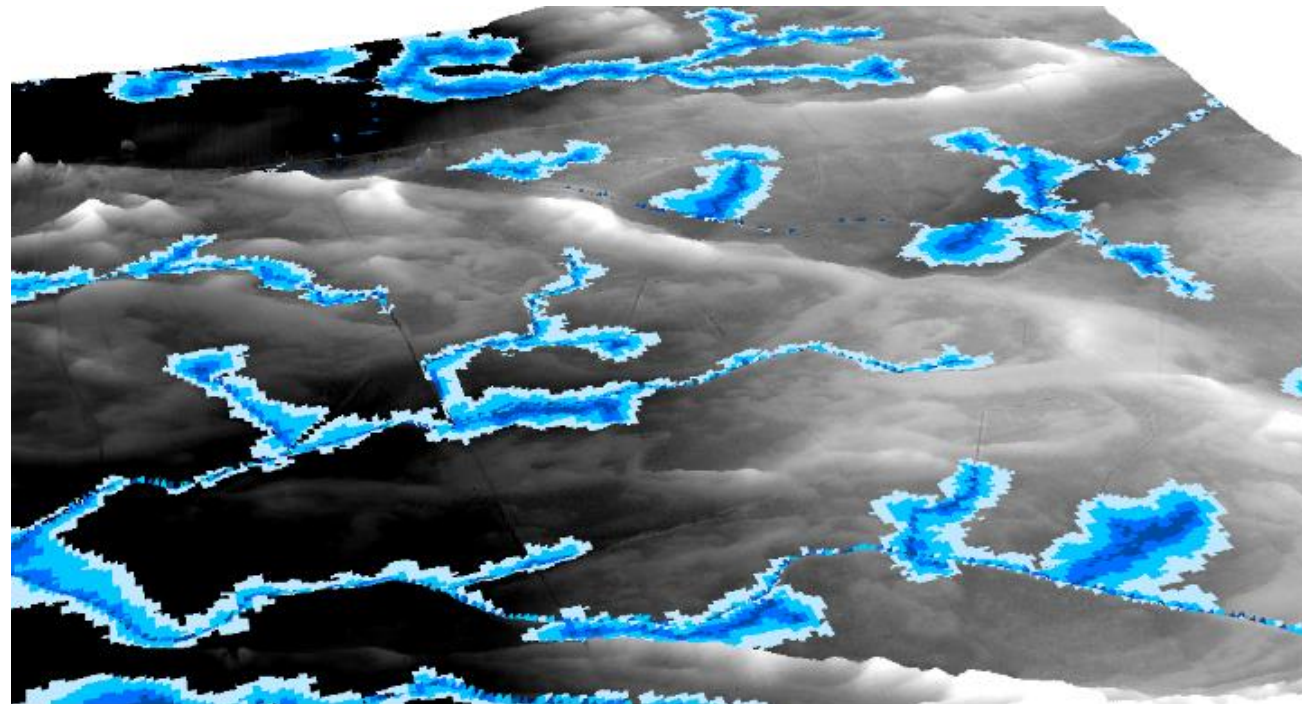
1) Numeryczny Model Terenu

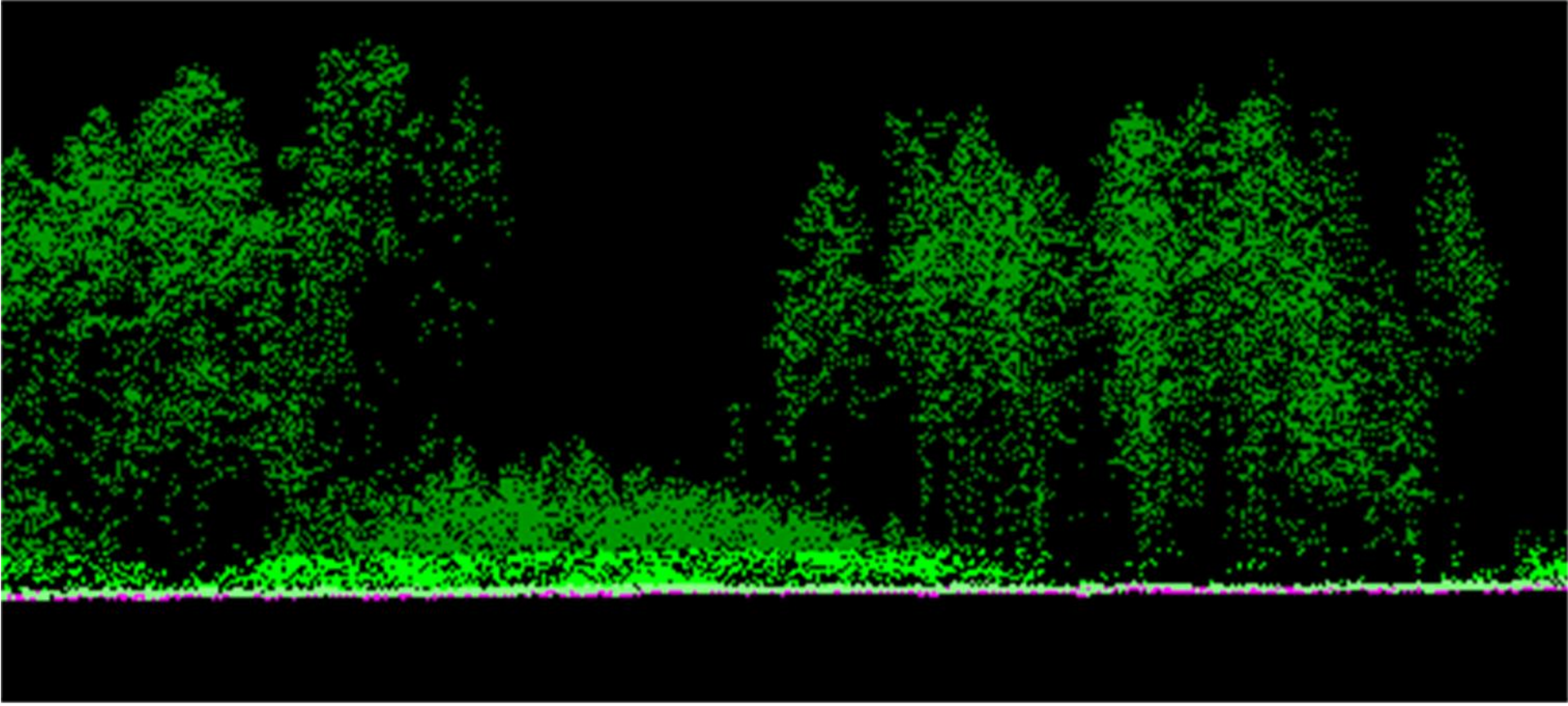


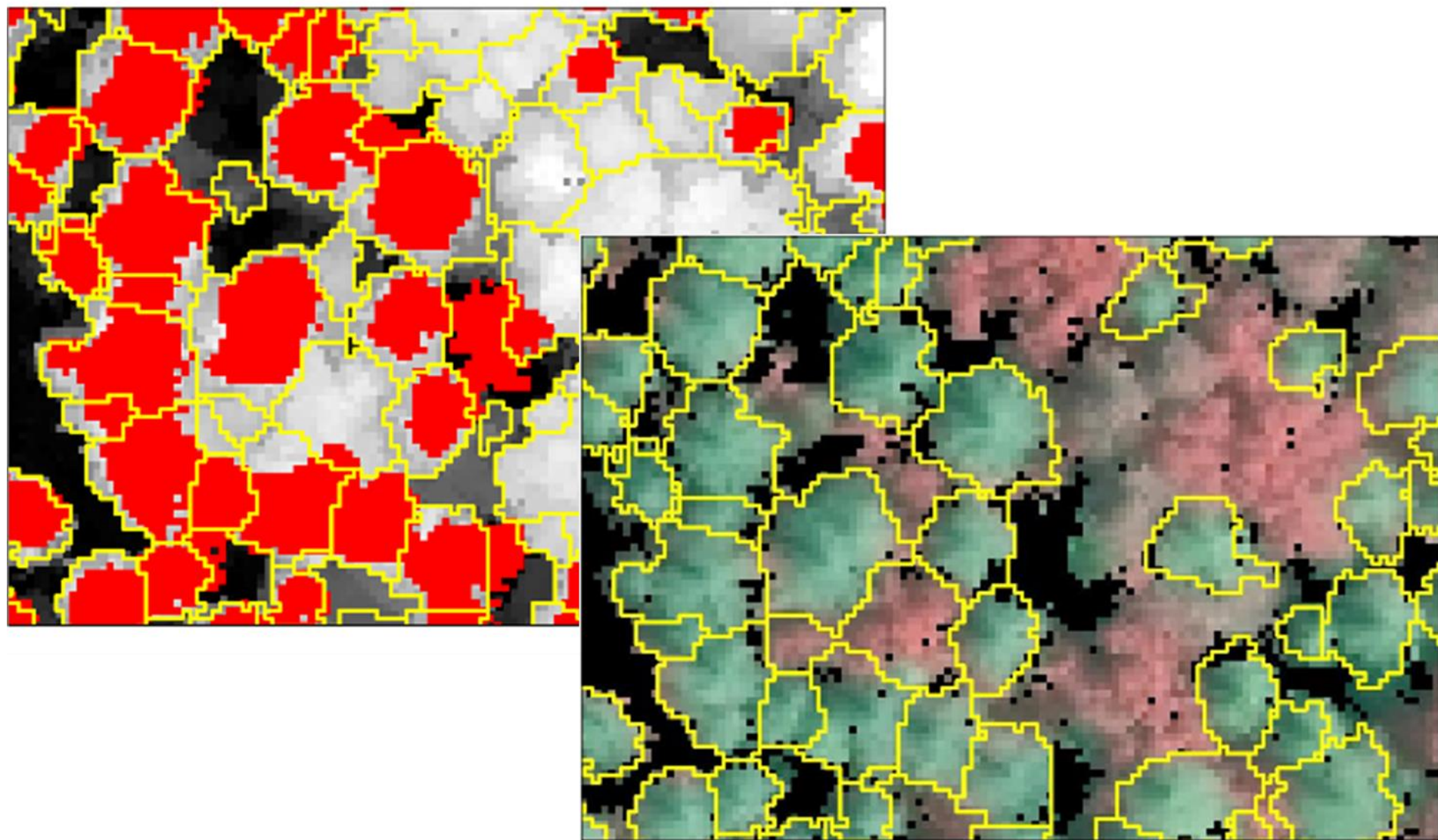
2) Warstwa cieków

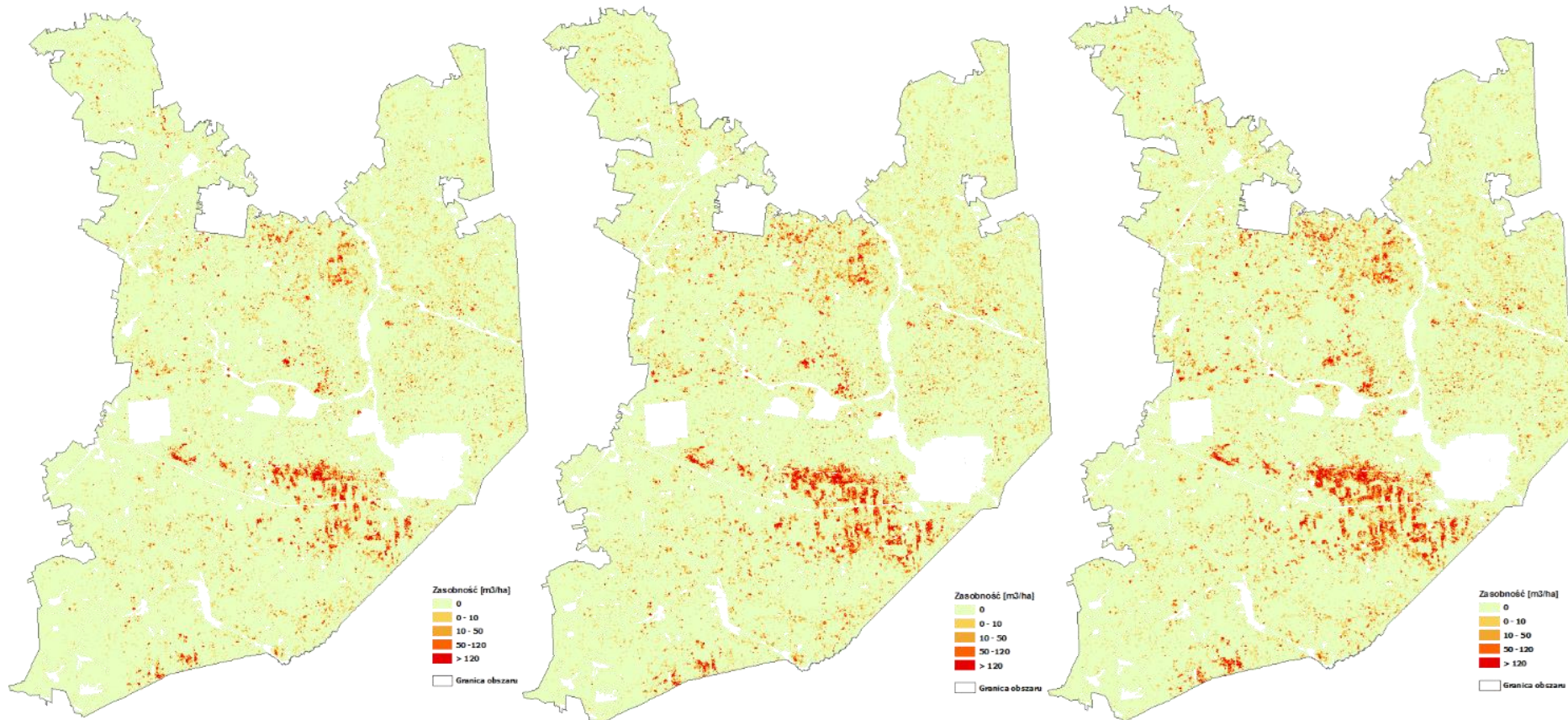


3) Tereny podmokłe metodą DTW





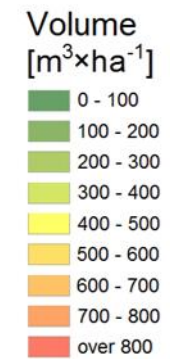
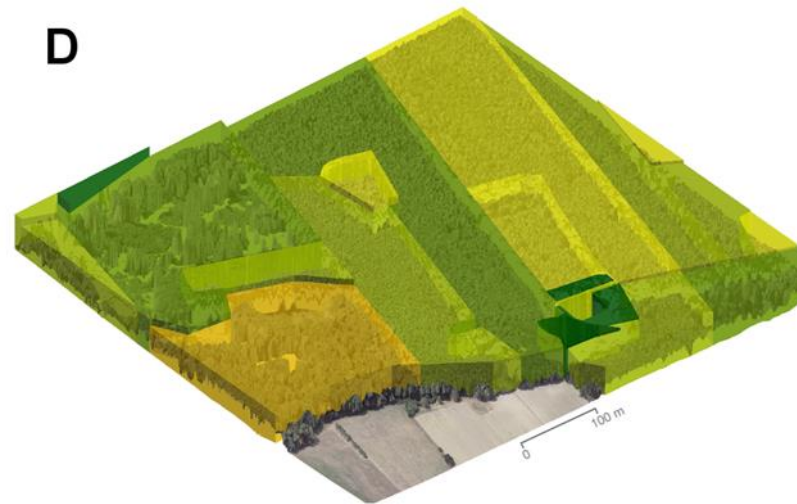
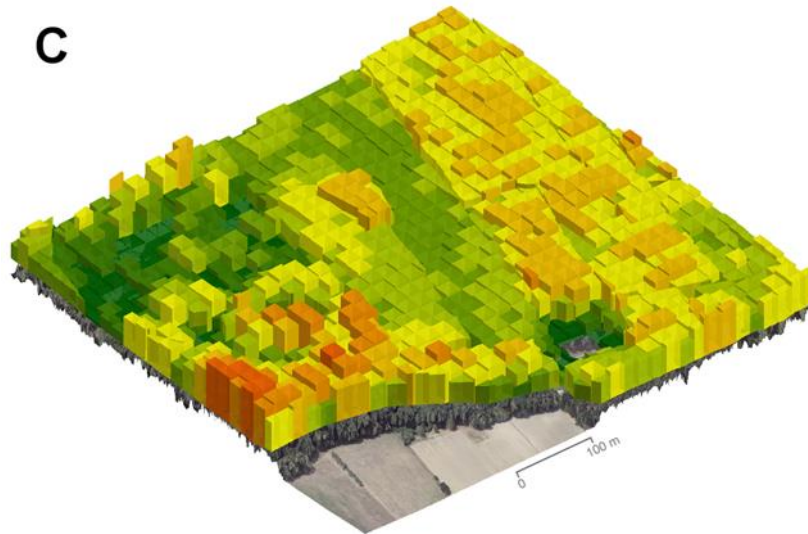
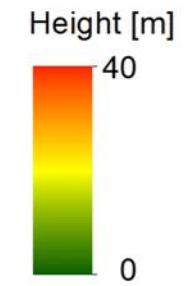
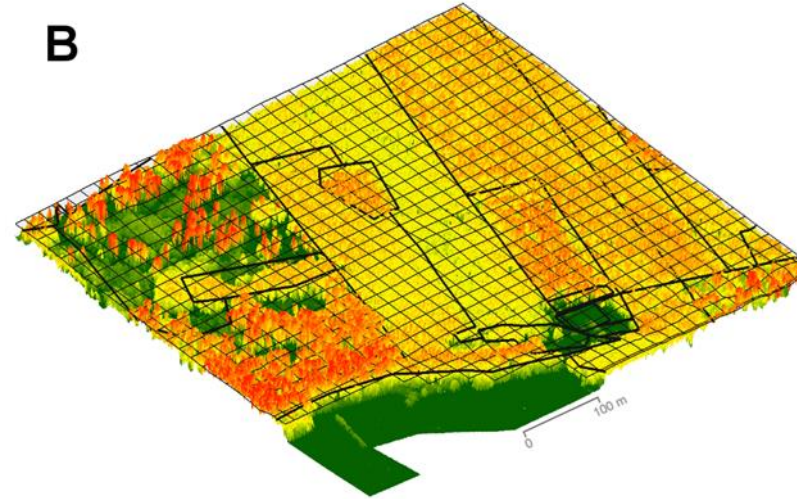
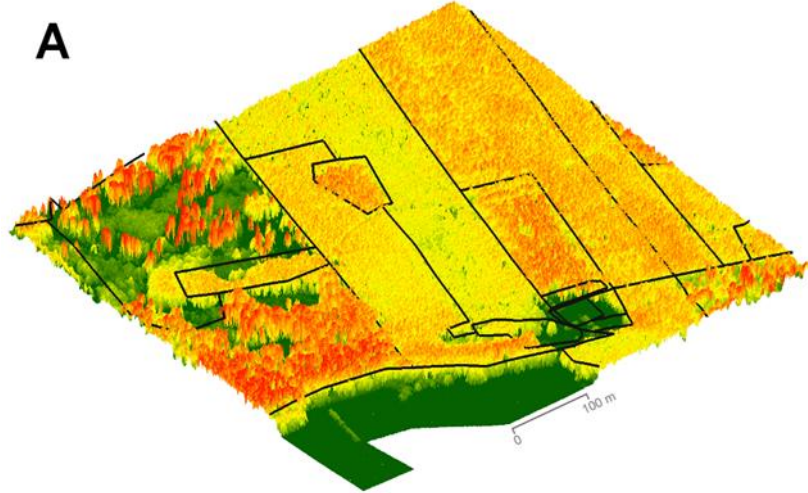




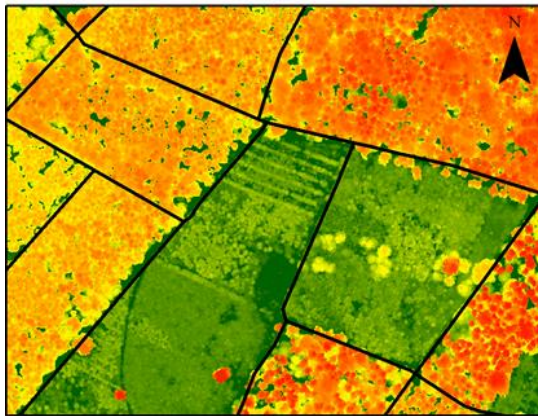
Czerwiec 2015

Sierpień 2015

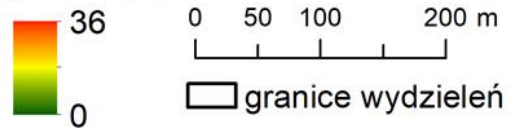
Październik 2015



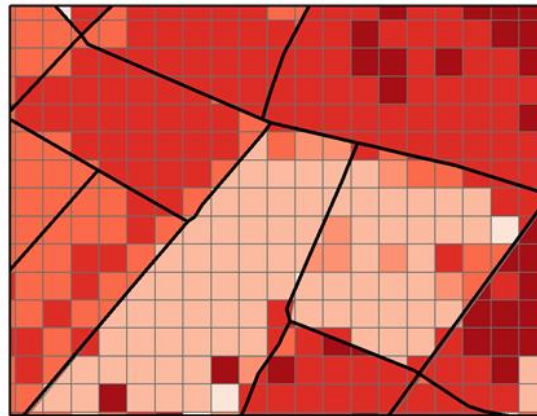
Wysokościowy model koron



Wysokość [m]



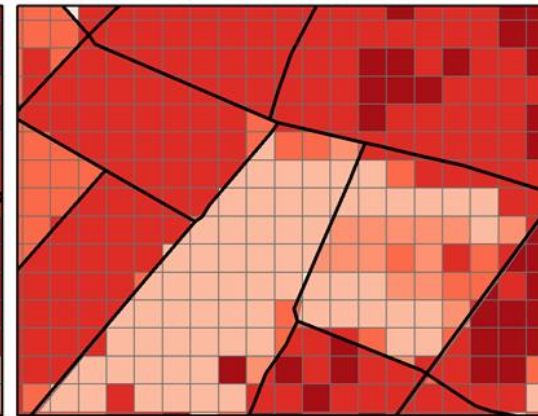
Średnia wysokość



Średnia wysokość [m]

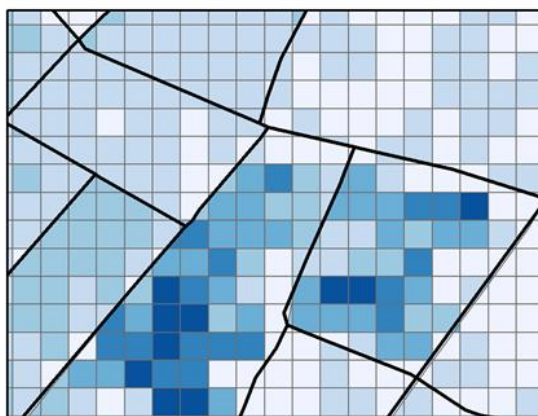


Wysokość górna



Wysokość górna [m]

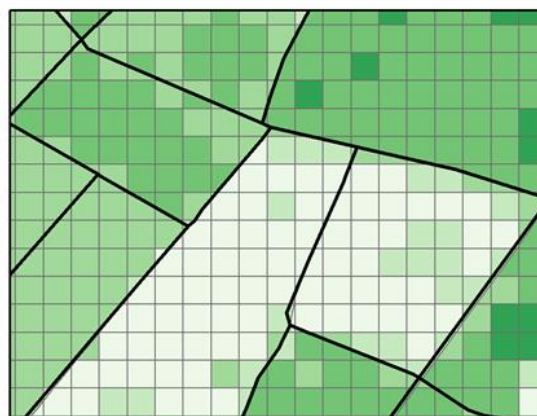
Zagęszczenie



Liczba drzew na hektar [1/ha]



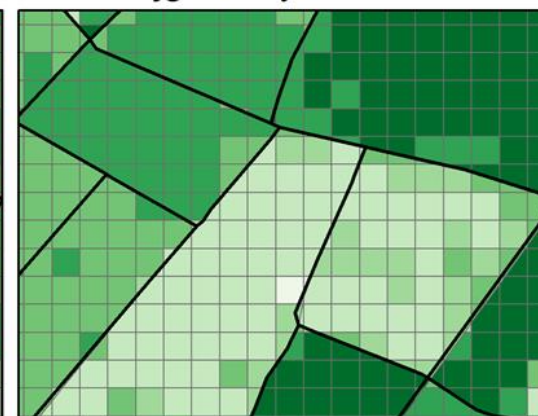
Średnia pierśnica



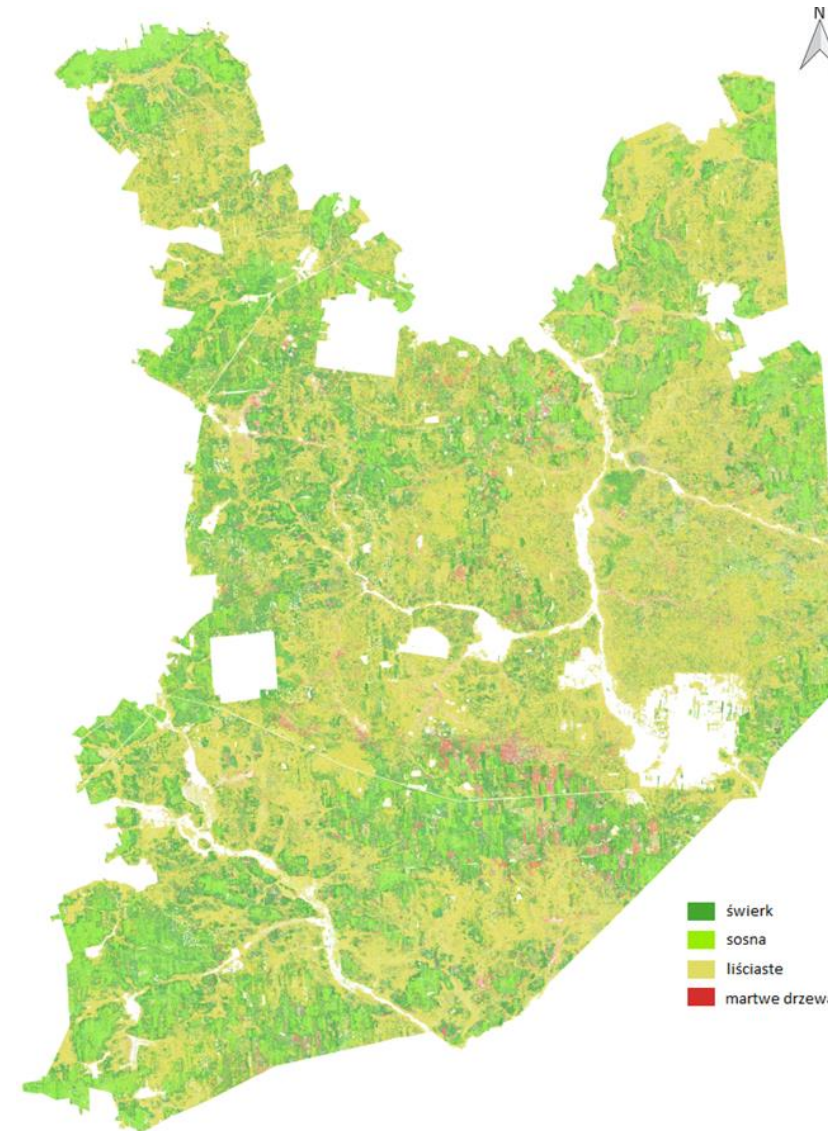
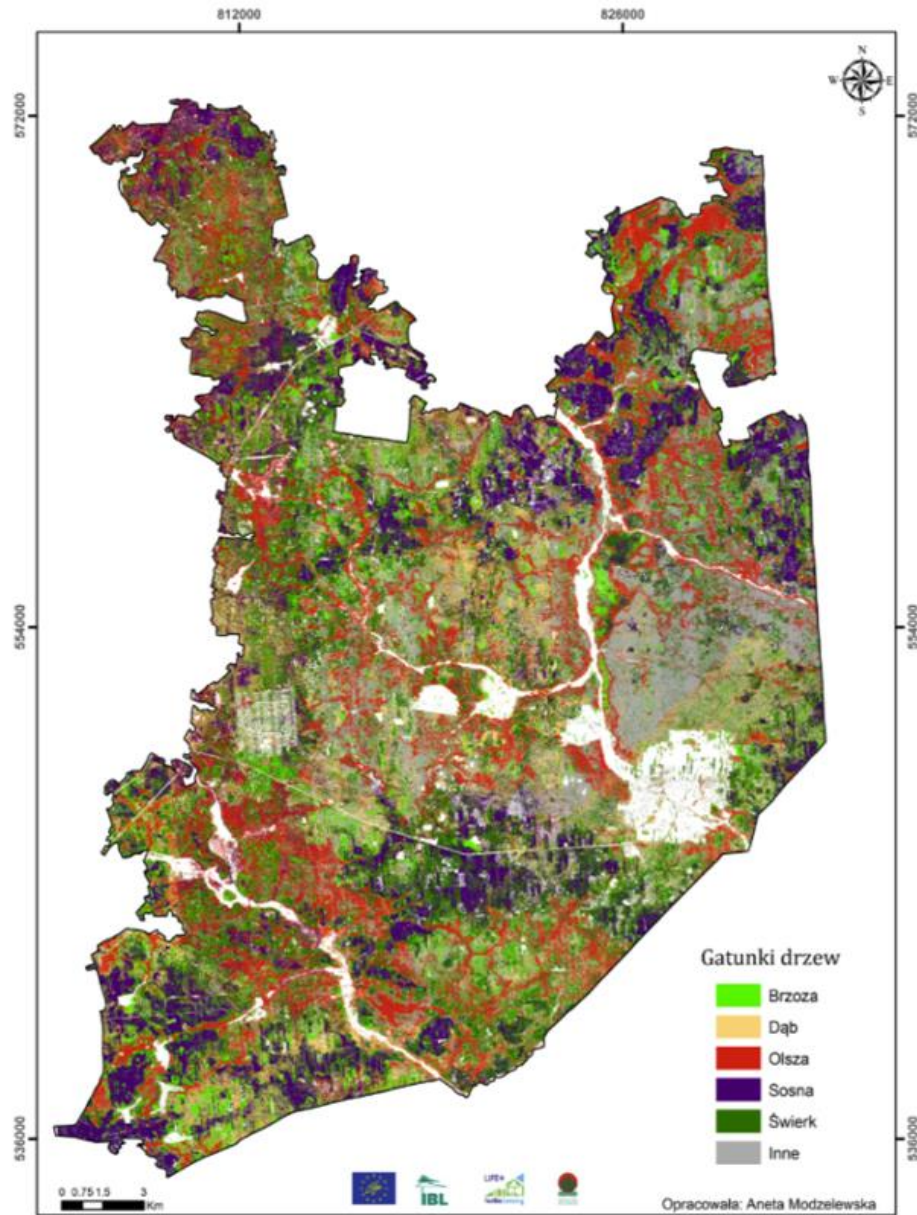
Średnia pierśnica [cm]



Średnia pierśnica ze 100 najgrubszych drzew



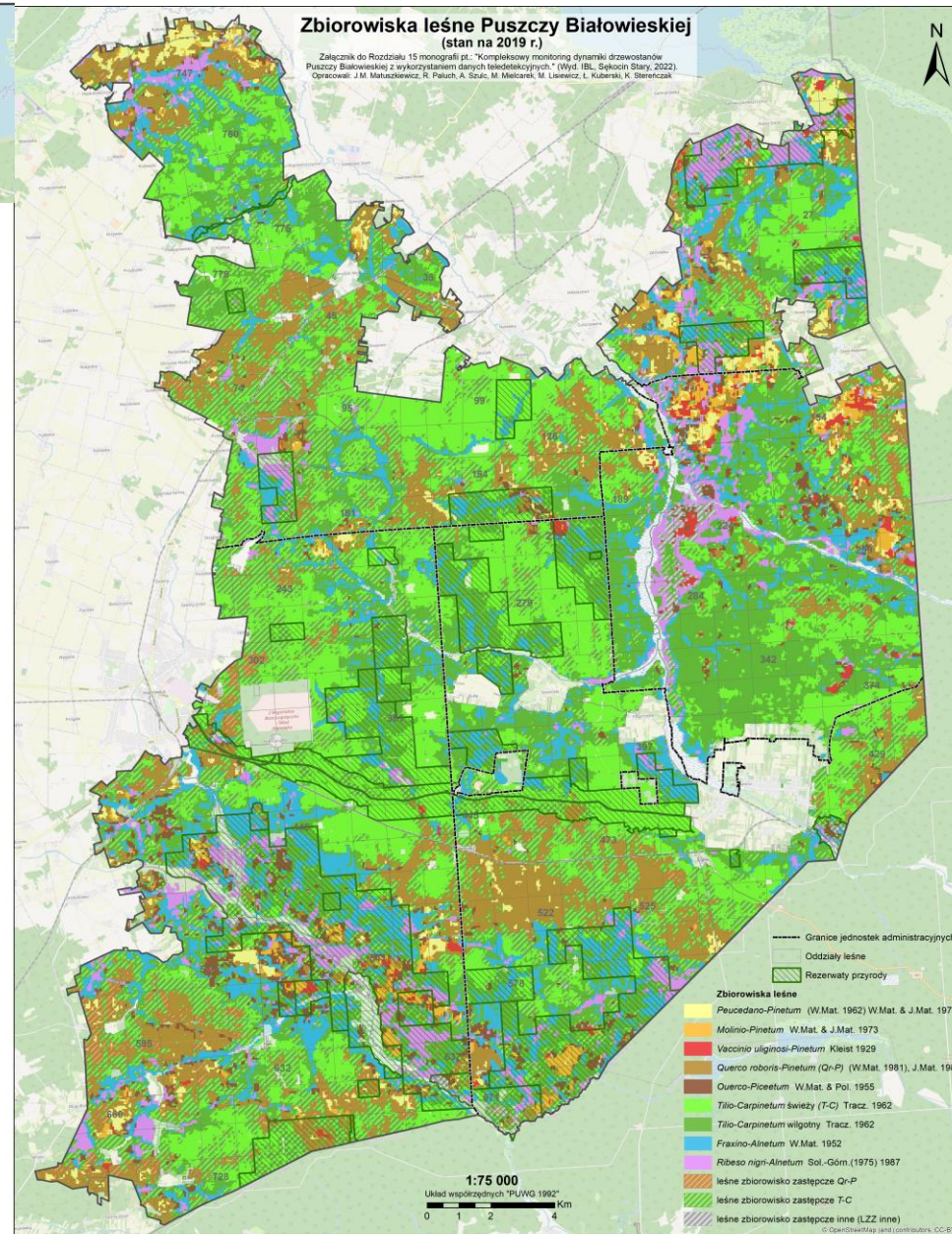
Średnia pierśnica ze 100 najgrubszych drzew [cm]

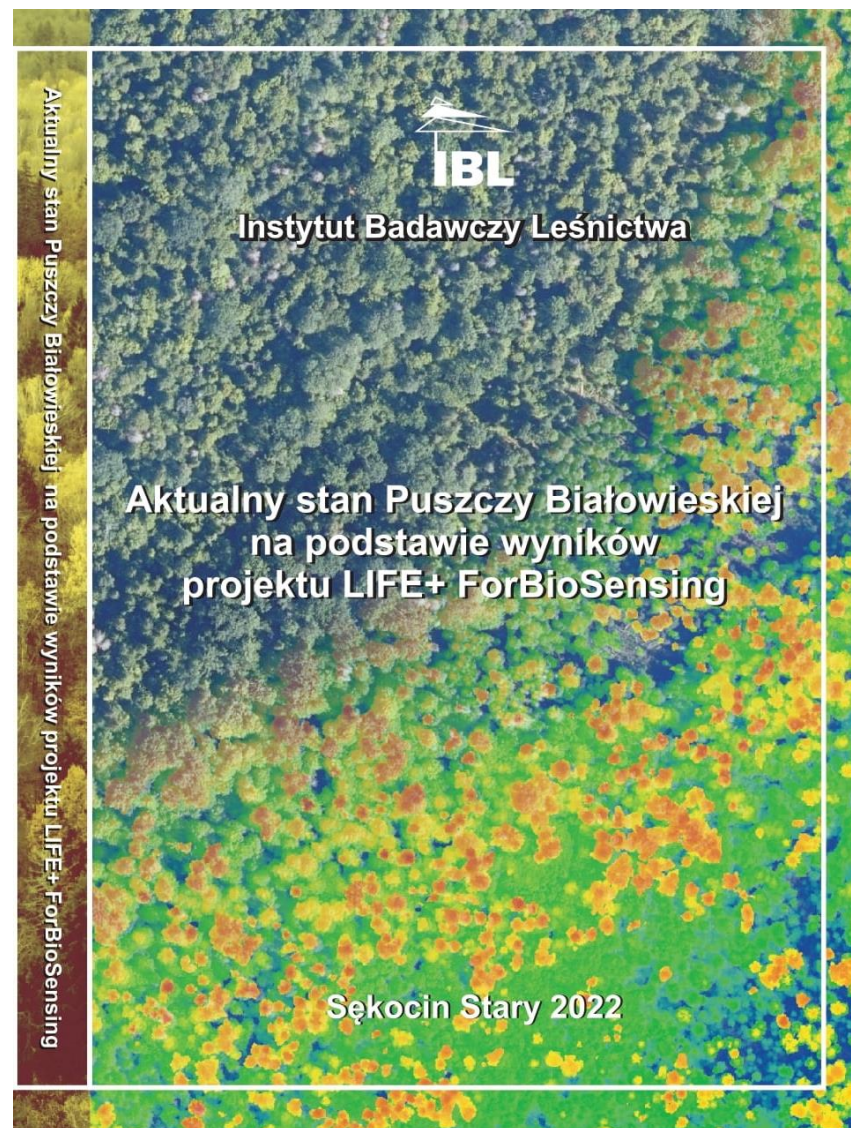


B. Kraszewski

Zbiorowiska leśne Puszczy Białowieskiej (stan na 2019 r.)

Załącznik do Rozdziału 15 monografii pt.: "Kompleksowy monitoring dynamiki drzewostanów Puszczy Białowieskiej z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych." (Wyd. IBL, Sękocin Stary, 2022).
Opracowali: J.M. Matuszkiewicz, R. Paluch, A. Szulc, M. Miłcarek, M. Lisiewicz, Ł. Kuberski, K. Stereńczak







Dziękujemy za uwagę