

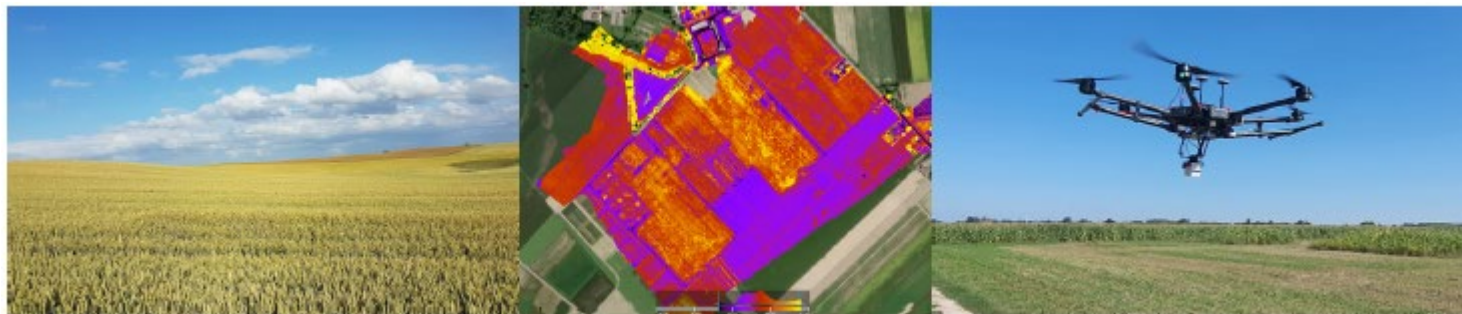
Konferencja:

„Wykorzystanie dronów naziemnych i powietrznych w rolnictwie”

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
Puławy, 26 października 2023 r.

Wykorzystanie zdjęć spektralnych w rolnictwie

Tytus Berbeć – Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki IUNG-PIB



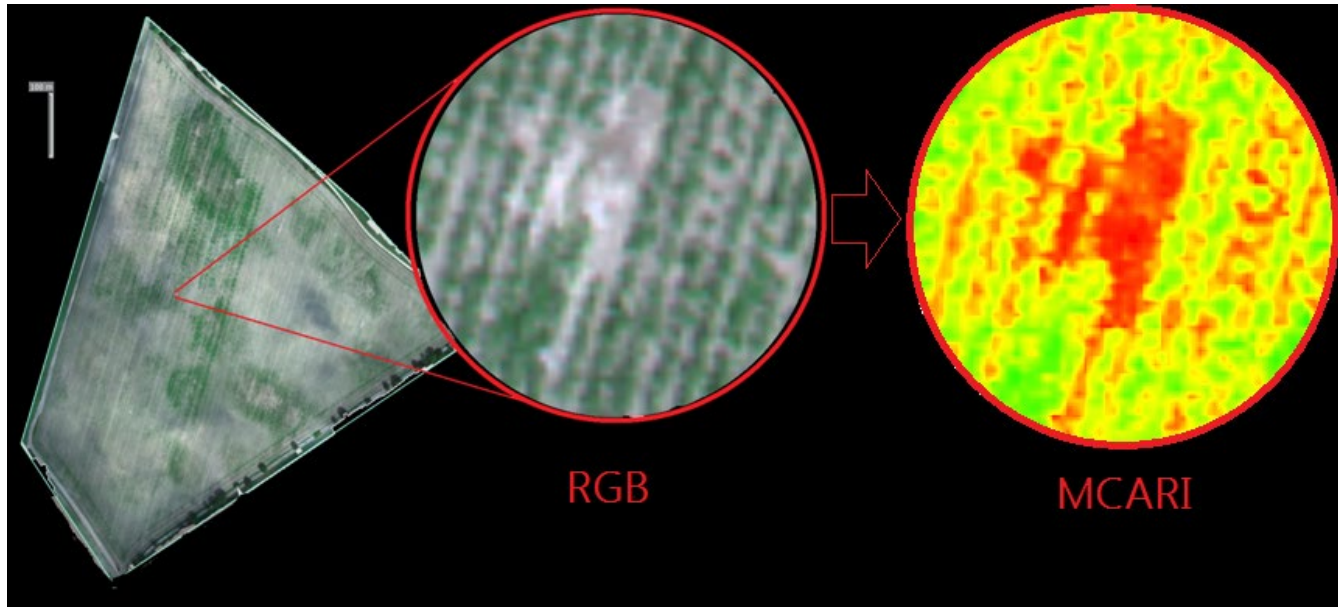
Plan prezentacji

1. Wprowadzenie do teledetekcji i obrazowań spektralnych
2. Prawidłowe pozyskanie i przetwarzanie obrazowań spektralnych- rzetelność danych
3. Zastosowanie obrazowań spektralnych w rolnictwie- przykłady
4. Porównanie zastosowania teledetekcji wielospektralnej wysoko i niskopułapowej
5. Teledetekcja niskopułapowa i wysokopułapowa: wady i zalety



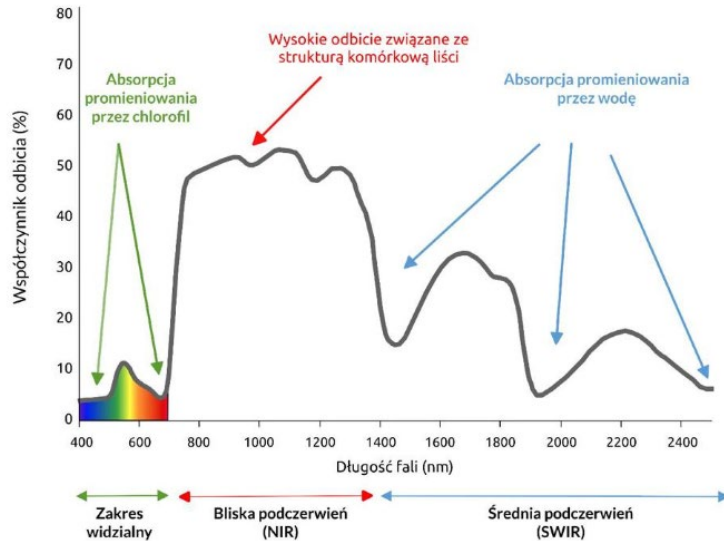
Teledetekcja MSC

Teledetekcja niskopułapowa pozwala na bardziej precyzyjne wyznaczenie zasięgu suszy w obrębie danego pola bądź uprawy w porównaniu do innych metod

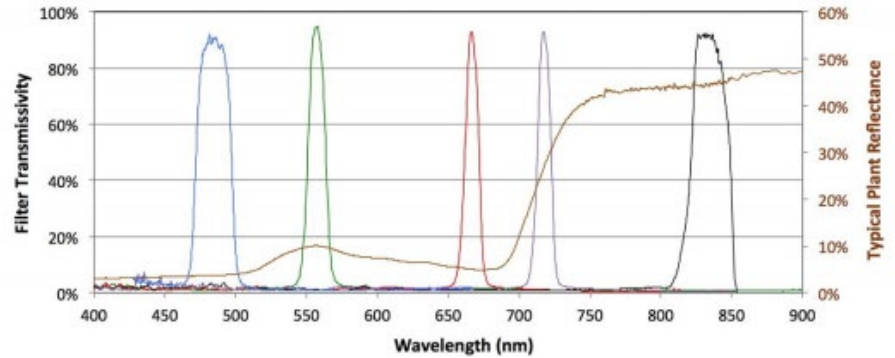


Krzywa HSC i MSC

Krzywa spektralna składa się z obrazów zarejestrowanych w różnych fragmentach spektrum.

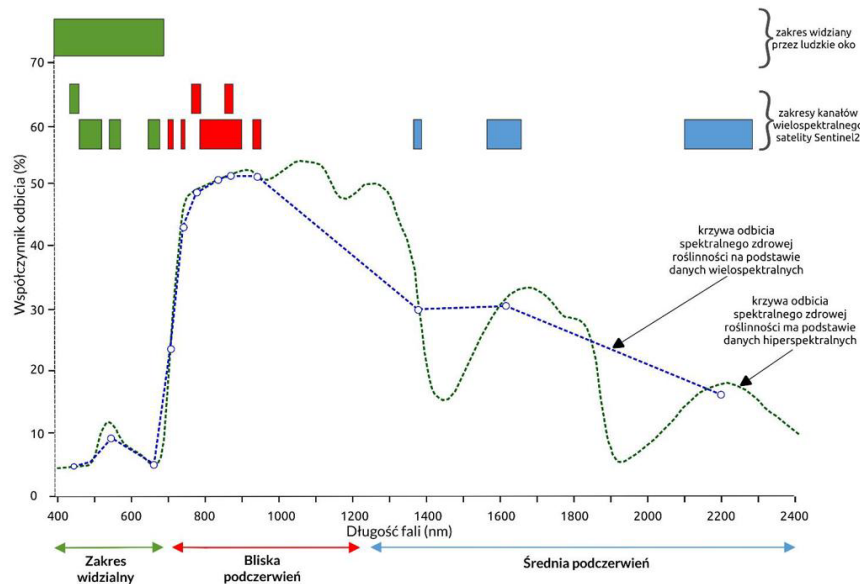


Źródło: <https://agronomist.pl/artykuly/teledetekcyjne-wskazniki-roslinnosci>



Źródło: https://www.researchgate.net/figure/Spectral-response-curve-for-the-Micasense-RedEdge-camera-The-colors-of-the-lines_fig4_318325581

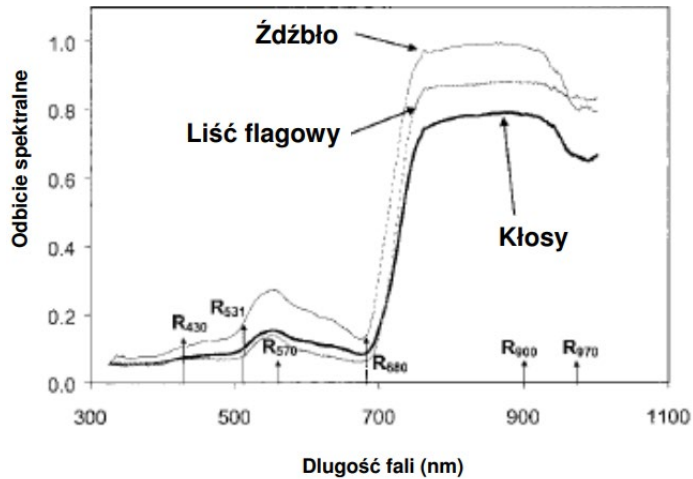
Przyczyny stosowania obrazów wielospektralnych



Międzygatunkowe charakterystyki spektralne niektórych obiektów różnią się jedynie w małych fragmentach spektrum dlatego odróżnienie obiektów na podstawie obrazów panchromatycznym lub kolorowych jest praktycznie niemożliwe

Niepowtarzalność MSC

Krzywa spektralna zielonej roślinności posiada charakterystyczne odcinki

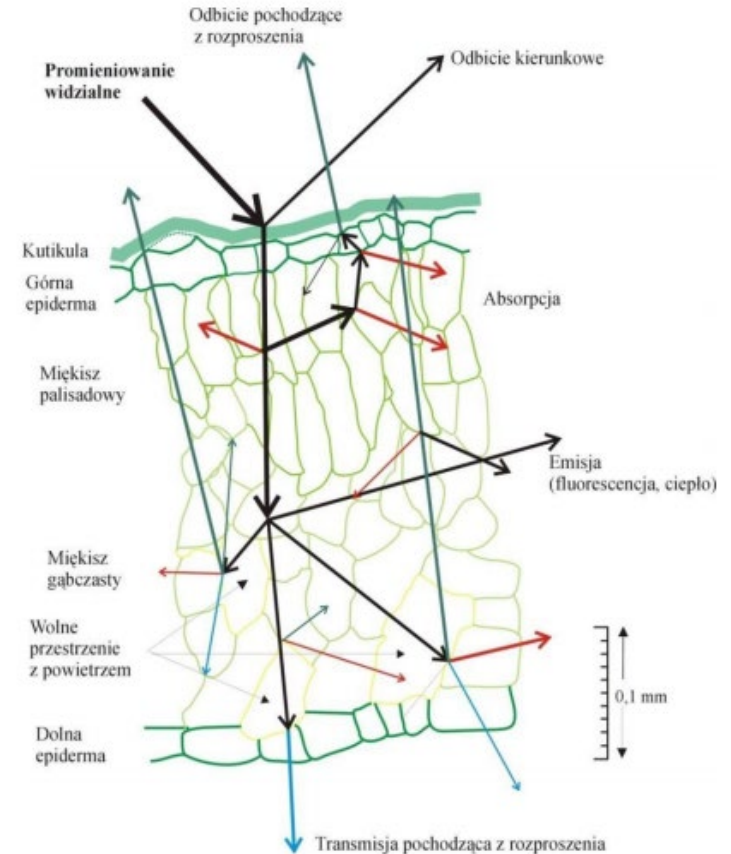
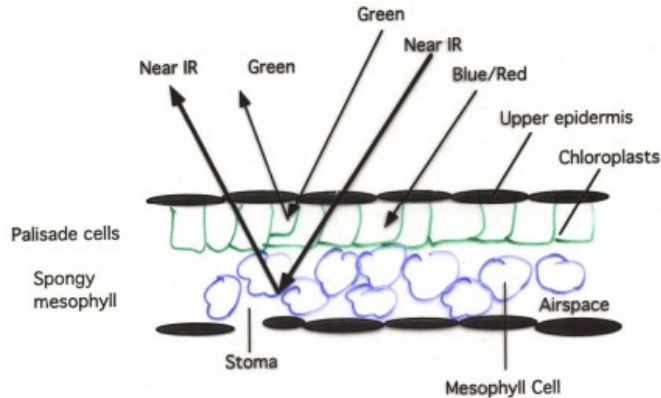


Źródło: <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/zboza/usda-prognoza-wiekszej-swiatowej-produkcji-pszenicy-i-zboz-paszowych,113877.html>

Wskaźnik	Kłosa		Liść flagowy
	Żdźbło		
SR		14.8	7.1
NDVI	0.807	0.870	0.756
PRI	0.016	0.001	0.008
WI	0.850	0.950	0.833
NPCI	0.072	-0.056	0.097

Czynniki wpływające na krzywą MSC

Właściwości spektralne roślin zależą od wielu czynników m.in. budowy anatomicznej, morfologii, stan struktur komórkowych, zawartość wody, choroby itp.



Loty VLOS BSP z MSC

Do monitorowania terenów rolnych wykorzystano bezzałogowy statek powietrzny (DJI Matrice 600 Pro) z zamontowaną kamerą multispektralną MicaSense ALTUM-PT, kamerą RGB Zenmmuse x5, kamerą wielokanałową MicaSense RedEdge-M



Kamery

wykorzystywane w IUNG-PIB

Kamera MicaSense RedEdge-M

blue (0,40-0,52nm), green (0,52-0,60nm), red (0,60-0,69nm), red edge (0,70-0,76), near IR (0,76-0,90nm)



Kanał niebieski stosowany jest do badania wód oraz analiz pokrycia terenu, gleb i wegetacji

Kanał zielony odpowiada zakresowi zwiększonego promieniowania odbijalności dla zdrowej roślinności.

Kanał czerwony rejestruje absorpcję promieniowania dla chlorofilu.

Kanał Red Edge wspomaga badania kondycji roślin, bazujące na analizie zawartości chlorofilu

Kanał bliskiej podczerwieni umożliwia ocenę ilości biomasy.

Kamery

wykorzystywane w IUNG-PIB

Kamera MicaSense Altum-PT

blue (459-491nm),
green (546-574nm),
red (661-675nm),



red edge (711-723),
near IR (813-871nm),
LWIR (7,5 – 13,5)
panchro (440 – 880nm)

Kanał panchromatyczny – rejestruje całość promieniowania z zakresu widzialnego, pozwala na wyostrzenie obrazów spektralnych

Kanał LWIR-wysokiej rozdzielczości sensor pozwala z znaczną dokładnością ocenić jędrność aparatu asymilacyjnego oraz zaopatrzenie siedliska w wodę
Pozwala na ocenę rozkładu przestrzennego temperatury powierzchni czynnej w uprawach

Przygotowanie do misji fotogrametrycznej

Ocena warunków meteorologicznych i ogólna ocena stanu roślin jest niezbędna do poprawnego wykonania misji!



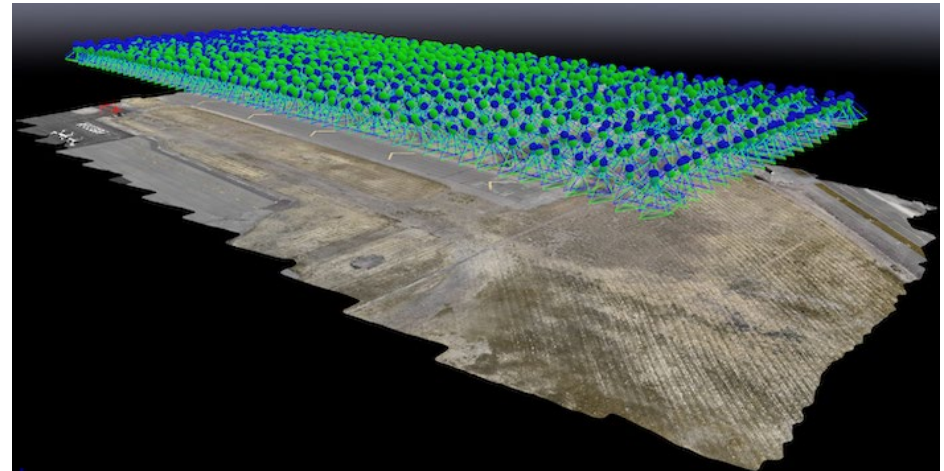
1. Przygotowanie misji- zdalna orientacja
2. Przyjazd na miejsce wykonania misji
3. **Zachowanie bezpieczeństwa lotów bezzałogowych**
4. Ocena wilgotności powietrza, uwilgotnienia powierzchni roślin
5. Ocena zapylenia
6. Prędkość i kierunek wiatru
7. Zachmurzenie
8. Uszkodzenia mechaniczne
9. Zachwaszczenie

Zalety i Wady MSC VLOS vs HSC Sentinel

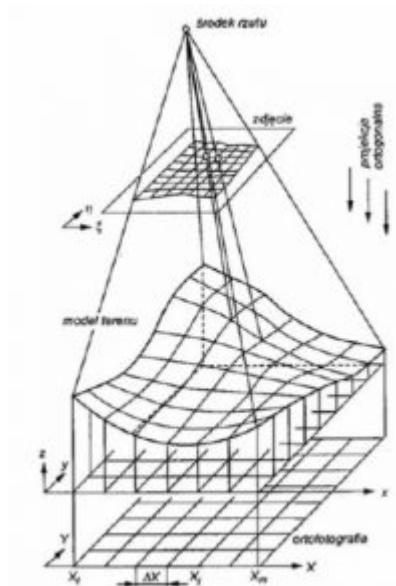
Przygotowanie materiału do ortofotomapy

1. Sprawdzenie jakości zdjęć
2. Sprawdzenie zgodności zdjęć z projektem
3. Sprawdzenie zgodności danych EXIF (wysokość nalotu, obiektyw, deniwelacja terenu)
4. Aerotriangulacja- zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej, orientacja zdjęć wyrównanie metodą niezależnych modeli
5. Stereodigitalizacja- zawężenie rzeźby terenu
 6. Matching chmury punktów
7. Proces radiometrycznej kalibracji- płytka refleksyjności
8. Generowanie mapy refleksyjności

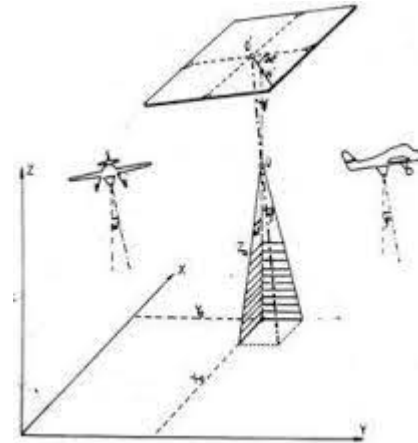
Kontrola jakości materiału
fotogrametrycznego:
Aerotriangulacja, ortoketyfikacja,
wyrównanie bloku



Ortoketyfikacja

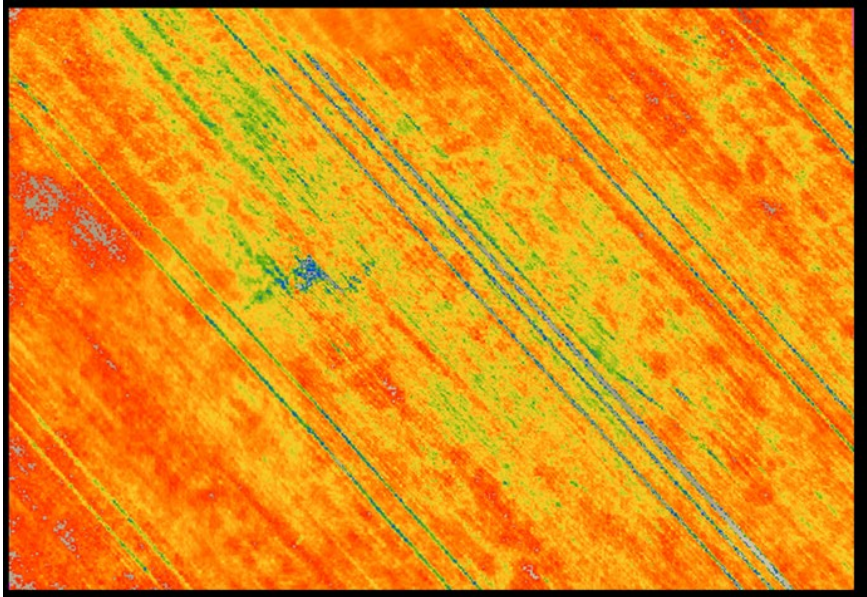


Od zwykłego zdjęcia ortofotomapę odróżnia fakt kartometryczności, czyli możliwości wykonywania na mapie pomiarów długości czy powierzchni z określoną, wysoką dokładnością.



Przetwarzanie materiału z sensorów wielokanałowych

Analiza map refleksyjności, kalkulator
indeksów wegetacyjnych



1. Generowanie map refleksyjności
2. Proces analizy danych
3. Reklasyfikacja- Klasyfikacja obszaru np.
ocena efektywności nawożenia
4. Generowanie raportu jakości

Analiza map reflektancji

kalkulator indeksów wegetacyjnych

1. Analiza map reflektancji
2. Wybór odpowiedniego indeksu
3. Dostosowanie indeksu do miejsca wykonywanej misji
4. Wizualizacja map reflektancji



Najczęściej wykorzystywane wskaźniki

INDEKS	OPIS	Formuła	Typ obrazu
BNDVI - Blue Normalized Difference Vegetation Index	Indeks NDVI bez dostępności czerwonego kanału, dla obszarów wrażliwych na zawartość chlorofilu	$(NIR - BLUE) / (NIR + BLUE)$	Multispektralny
GNDVI - Green Normalized Difference Vegetation Index	Indeks NDVI bez dostępności czerwonego kanału, dla obszarów wrażliwych na zawartość chlorofilu	$(NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$	Multispektralny
LCI - Leaf Chlorophyll Index	Indeks do oceny zawartości chlorofilu w obszarach pełnego pokrycia liści w zakresie -1 do 1.	$(NIR - REDEGE) / (NIR + RED)$	Multispektralny
MCARI - Modified Chlorophyll Absorption in Reflective Index	Wskaźnik stosowany do mierzenia stężeń chlorofilu, w tym zmian w Indeksie Powierzchni Liścia (LAI)	$1,2 * (2,5 * (NIR - RED) - 1,3 * (NIR - GREEN)) / \maxCoeff(\max(RED; \max(GREEN; NIR)))$	Multispektralny
NDRE - Normalized Difference Red Edge	Indeks wrażliwy na zawartość chlorofilu w liściach w stosunku do efektów tła gleby. Indeks ten można sformułować tylko wtedy, gdy dostępne jest czerwone pasmo krawędzi.	$(NIR - REDEGE) / (NIR + REDEGE)$	Multispektralny
NDVI - Normalized Difference Vegetation Index	Ogólny wskaźnik stosowany do mierzenia pokrycia łąn liśćmi i oceny zdrowia roślin.	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$	Multispektralny
SIPI2 - Structure Intensive Pigment Index 2	Wskaźnik stosowany w obszarach o dużej zmienności w strukturze roślinności (np. w leśnictwie)	$(NIR - GREEN) / (NIR - RED)$	Multispektralny
TGI - Triangular Greenness Index	Indeks RGB dla wrażliwości na chlorofil	$(GREEN - (0,39 * RED) - (0,61 * BLUE)) / \maxCoeff(\max(RED; \max(GREEN; BLUE)))$	RGB
VARI - Visible Atmospherically Resistant Index	Index RGB dla pokrycia liści.	$(\min(1; \max(-1; (GREEN - RED) / (GREEN + RED - BLUE)))$	RGB Micasense
	<i>wyjaśnienie:</i>	<i>maxCoeff(max(... max(...))) jest maksymalną wartością we wszystkich pasmach. Normalizuje index</i>	

Raport jakości

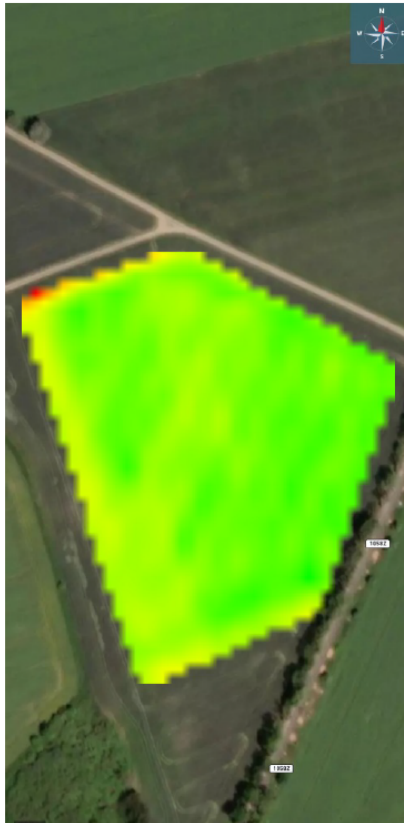
Szczegółowe informacje na temat analizy
poszczególnych elementów raportu

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	13m:38s
Time for Point Cloud Classification	02m:26s
Time for 3D Textured Mesh Generation	05m:59s

1. Jakość danych wejściowych
2. Przegląd danych (format, liczba, rozmiar, źródło)
3. Pozycja zdjęć
4. Pozycja punktów kontrolnych
5. Orientacja kamery
6. Wskaźniki statystyczne dopasowania
7. Odchylenie geolokalizacji
8. Statystyki aparatu

Raport jakości

Szczegółowe informacje na temat analizy poszczególnych elementów raportu



Layer details

Acquisition	6/7/21 2:15:51 PM Srodkowoeuropejski czas letni
Center	53.9579531, 15.9675920 (WGS84)
Area	~3.24 ha
GSD	505.36 cm/px
Bands	1 (Gray)

Histogram and Legend

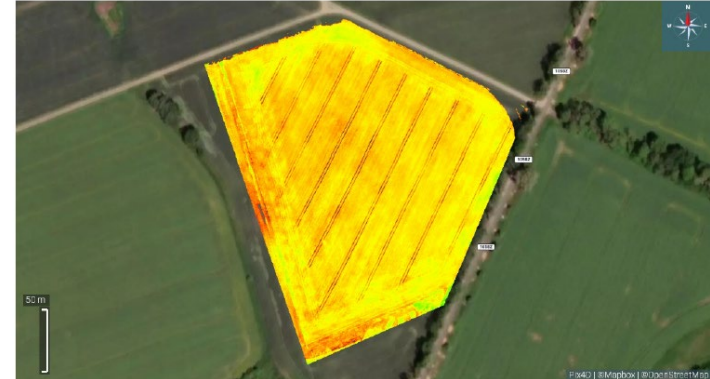


Visualization settings

Histogram equalization: Off
 Selected minimum value: 0.45
 Selected maximum value: 0.87
 Values out of range: Transparent

Statistics

Layer area (ha): 3.24 ha
 Mean index value: 0.81
 Index value SD: 0.04
 Mean index value (visible): 0.81
 Index value SD (visible): 0.04



Layer details

Acquisition	Information not available
Center	53.9579473, 15.9676469 (WGS84)
Area	~3.73 ha
GSD	4.70 cm/px
Bands	1 (Gray)

Histogram and Legend



Visualization settings

Histogram equalization: Off
 Selected minimum value: 0.00
 Selected maximum value: 0.62
 Values out of range: Transparent

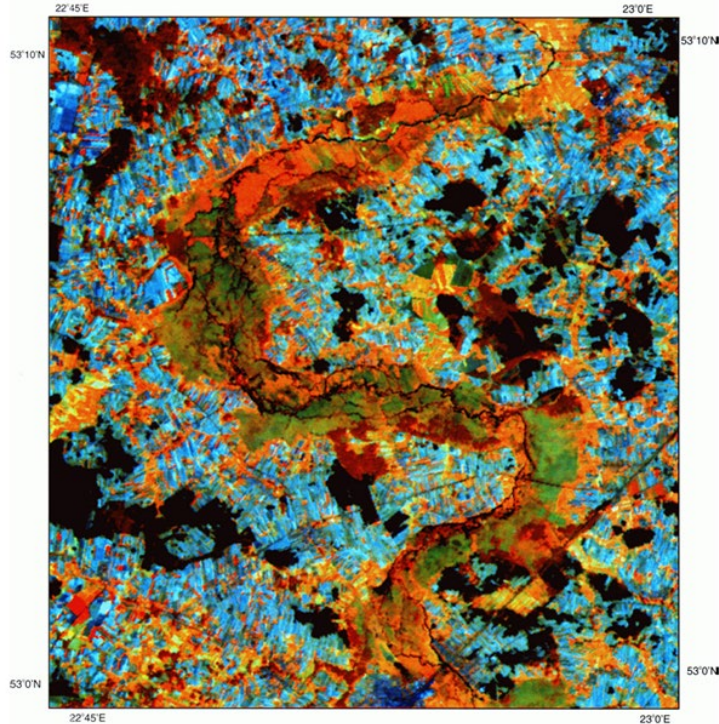
Statistics

Layer area (ha): 3.73 ha
 Mean index value: 0.22
 Index value SD: 0.09
 Mean index value (visible): 0.24
 Index value SD (visible): 0.08

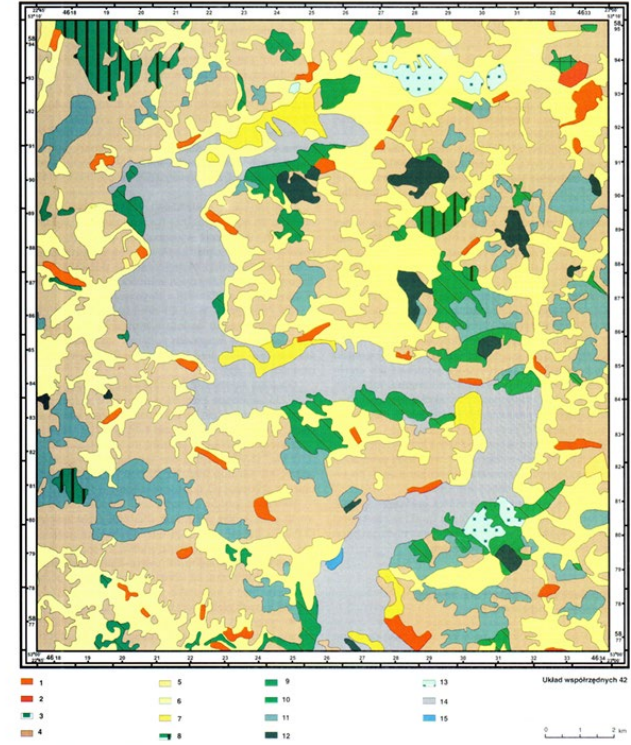
Zastosowanie pomiarów spektralnych w rolnictwie

1. Zbadanie zdrowotności roślin dla rolników, leśników, ogrodników, sadowników, hodowców, specjalistów od upraw na podłożach pochodzenia organicznego
2. Mapa pokrycia terenu przez rośliny (wyszczególnienie roślin uprawnych- liczenie roślin, zachwaszczenia poprzez **zastosowanie uczenia maszynowego**)
3. Szczegółowa mapa zawartości barwników roślinnych
4. Mapa stanu zdrowotnego roślin
5. Mapa fazy rozwojowej roślin
6. Mapy indeksów wegetacyjnych
7. Mapa rozkładu temperatury powierzchni czynnej
8. Mapa parowania potencjalnego ETP
9. Mapa wilgotności wierzchniej warstwy gleby
10. Tworzenie ortofotomozaiki (rastry wielokanałowe)
11. Mapy DSM w oparciu o gęstą chmurę punktów

Mapa pokrycia terenu



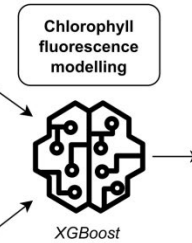
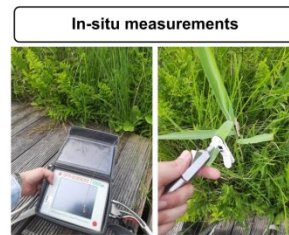
Ryc. 2. Mapa satelitarna, arkusz N-34-106-D [Choroszka], pomniejszona, opracowana na podstawie danych cyfrowych z Landsat TM pozyskanych dnia 28.08.1987 roku. Kompozycje barwna utworzona na podstawie kanałów TM: 4, 5, 3
 Fig. 2. Satellite image in the form of sheet map N-34-106-D [Choroszka] in Gauss-Krüger projection and the coordinate system "1942", reduced. Satellite image (was processed on the basis of digital data from Landsat TM, bands 4, 5, 3, recorded 28th August 1987



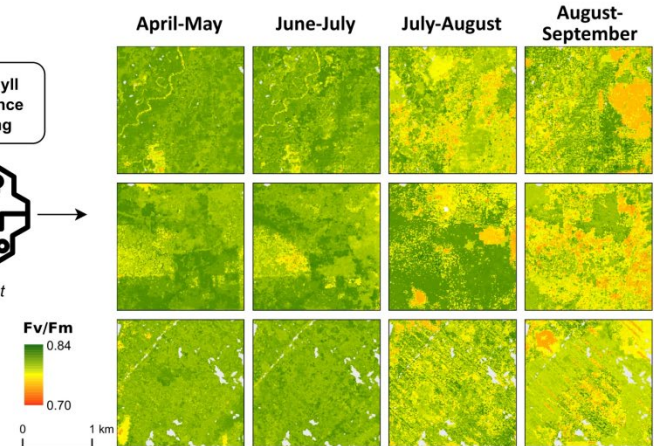
Ryc. 3. Pokrycie terenu według czwartego poziomu legendy mapy CORINE Land Cover: 1 — zabudowa luźna niska; 2 — zabudowa luźna wysoka; 3 — parki; 4 — uprawy zbożowe; 5 — sadły handlowe; 6 — laki święte; 7 — laki podmokłe; 8 — grady; 9 — olsy; 10 — bęgi; 11 — lasy mieszane z udziałem sosny; 12 — bory sosnowe; 13 — lasowiska; 14 — terłowiska niskie; 15 — naturalne białostki wodne
 Fig. 3. Land cover according to fourth level map key of the CORINE Land Cover map: 1 — discontinuous low built up areas; 2 — discontinuous high built up areas; 3 — urban parks; 4 — cereal crops; 5 — commercial fruit orchards; 6 — typical meadows; 7 — wet meadows; 8 — dry ground forests; 9 — alder carrs; 10 — riverside carrs; 11 — mixed forests with pine; 12 — pine coniferous forests; 13 — osieries; 14 — lowland bogs; 15 — natural water bodies

Mapa barwników roślinnych

Barwa zasadnicza	Długość fali	Barwa dopełniająca	Długość fali
Czerwona	620-700 nm	Niebieskozielona	493-495 nm
Pomarańczowoczerwona	600-620 nm	Niebieskozielona	490-493 nm
Pomarańczowa	590-600 nm	Niebieska	486-490 nm
Żółtopomarańczowa	575-590 nm	Błękitna i niebieska	470-486 nm
Żółta	570-575 nm	Fioletowa i indygo	400-470 nm
Zielonożółta	560-570 nm	Purpurowofioletowa	-
Zielona	495-560 nm	Czerwonopurpurowa	-
Niebieskozielona	490-495 nm	Pomarańczowoczerwona i czerwona	600-700 nm
Niebieska	480-490 nm	Żółtopomarańczowa i pomarańczowa	580-600 nm
Błękitna	470-480 nm	Żółtopomarańczowa	575-580 nm
Indygo	440-470 nm	Żółta	572-575 nm
Fioletowa	400-440 nm	Żółta	570-572 nm



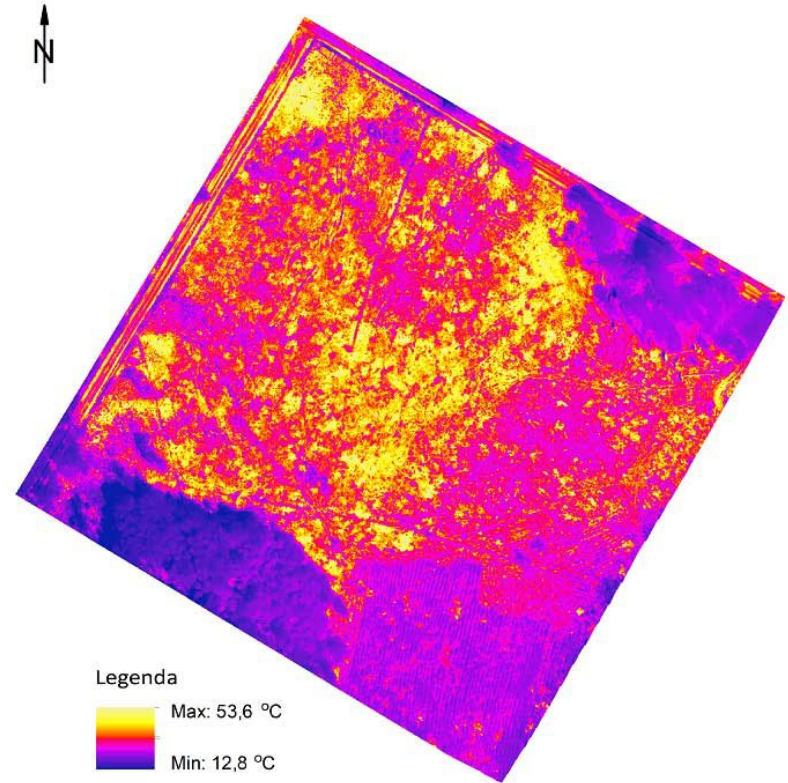
Maps of seasonal changes of chlorophyll fluorescence



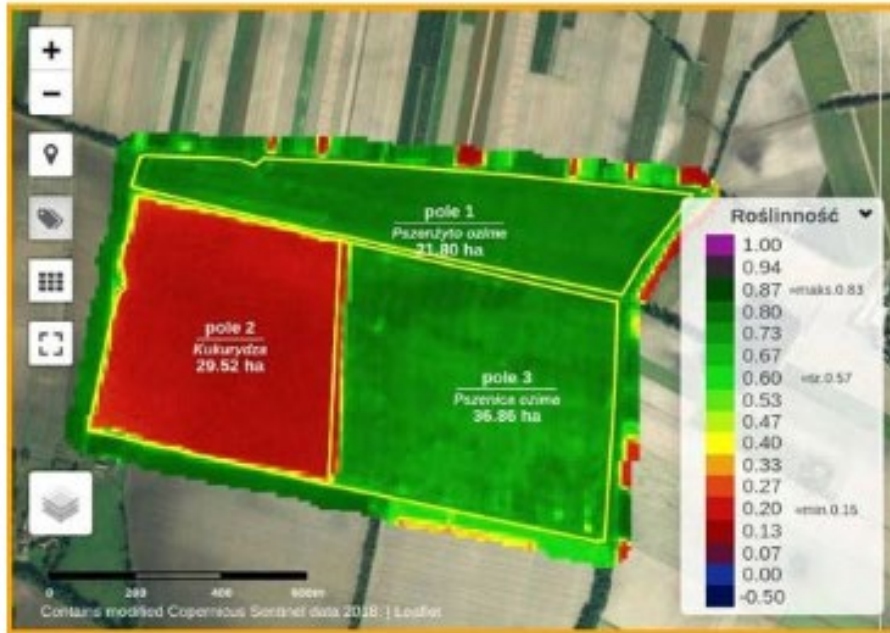
Mapa indeksów wegetacyjnych



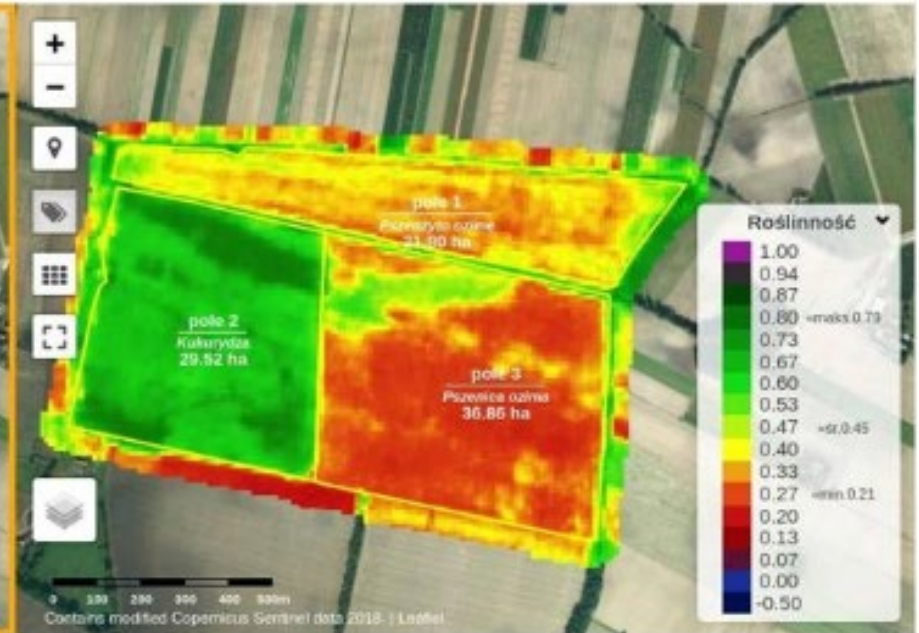
Mapa temperatury powierzchni czynnej



Mapa indeksów wegetacyjnych

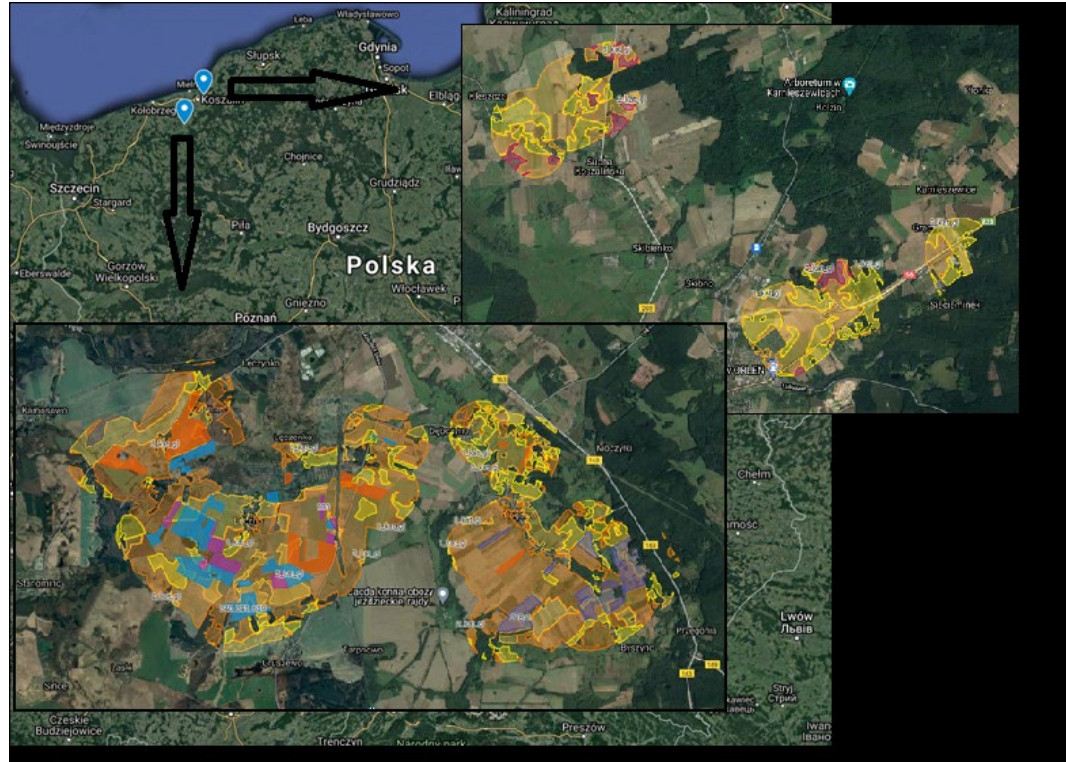


WIOSNA



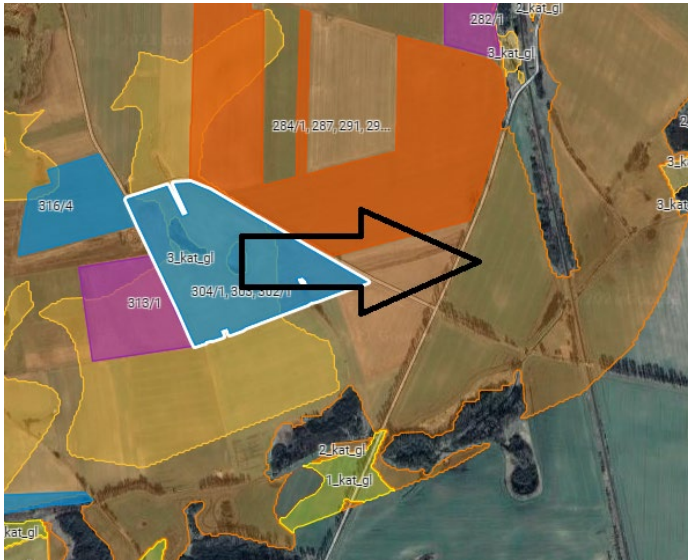
LATO

Przykładowe misje



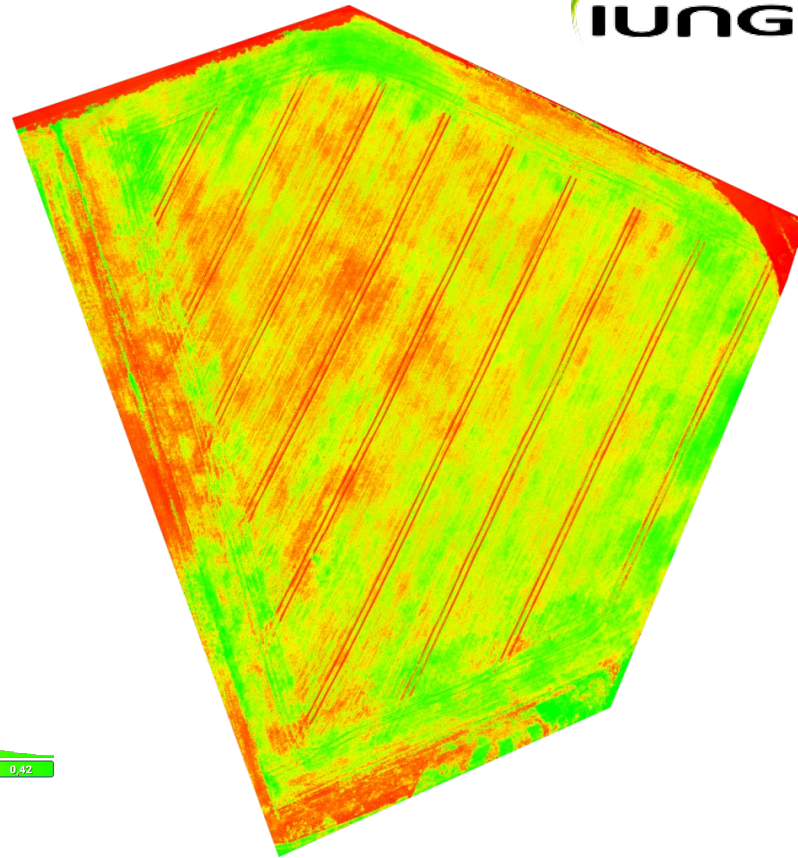
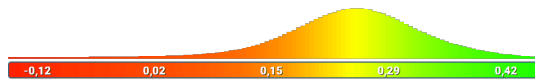
Teledetekcja niskopułapowa

Owies- ortofotomapa
pow. Pola ok. 3,3 ha
gleby 2 kat., 1 kat.



Przykład: DRON

Roślina: owies
Teledetekcja niskopułapowa
Owies- wskaźnik NDVI



NDVI

Visual Annotations Info

Index
NDVI

Mean index value
0.22 (SD: 0.09)

Mean index value (visible)
0.23 (SD: 0.08)

Layer area
~3.73 ha

Dimensions
5,133 x 5,464 pixels

GSD
4.70 cm/px

File Size
66.4 MB

Data Type
Float32

Creation type
Imported

Bands
Gray

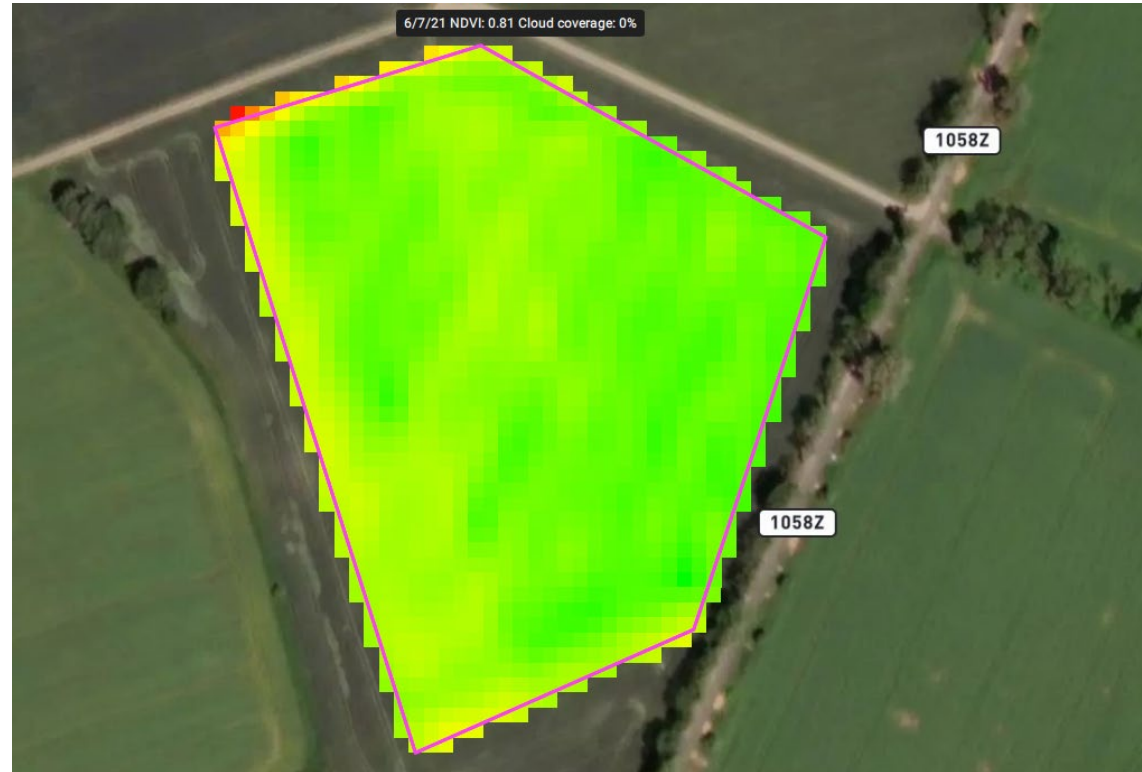
Acquisition
Information not available

Coordinate System
EPSG:32633

Name	Type	Area [ha]	Area (visible) [ha]	Min	Max	Min (visible)	Max (visible)	Mean index value	Index value SD	Mean height [m]	Height SD [m]	Mean index value (visible)	Index value (visible) SD	Mean height (visible) [m]	Height (visible) SD [m]
	NDVI	3.7309	3.6552	-0.2913	0.6175	-0.1099	0.4207	0.2250	0.0945			0.2265	0.0836		

Przykład: Sentinel II

Roślina: owies
 Obraz NDVI Sentinel II 07.06
 czyste niebo

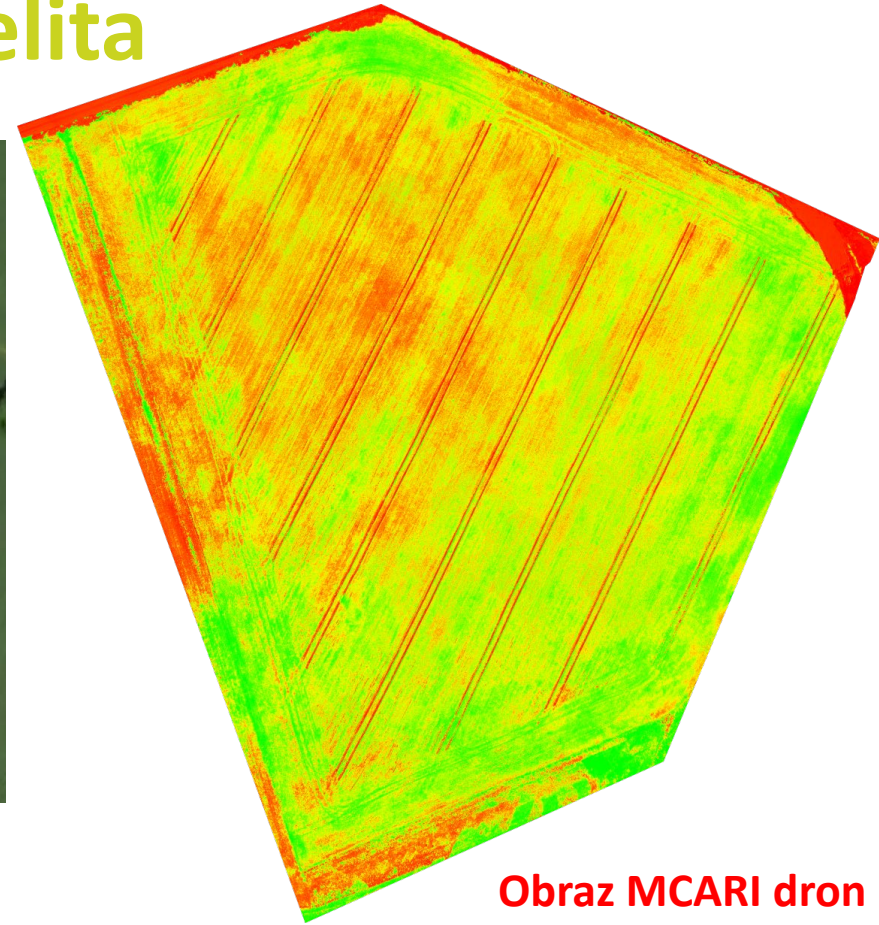


Name	Type	Area [ha]	Area (visible) [ha]	Min	Max	Min (visible)	Max (visible)	Mean index value	Index value SD	Mean height [m]	Height SD [m]	Mean index value (visible)	Index value (visible) SD	Mean height (visible) [m]	Height (visible) SD [m]
2021-06-07	NDVI	3.2358	3.1720	0.4486	0.8742	0.6656	0.8623	0.8123	0.0424			0.8139	0.0358		

Porównanie dron vs satelita

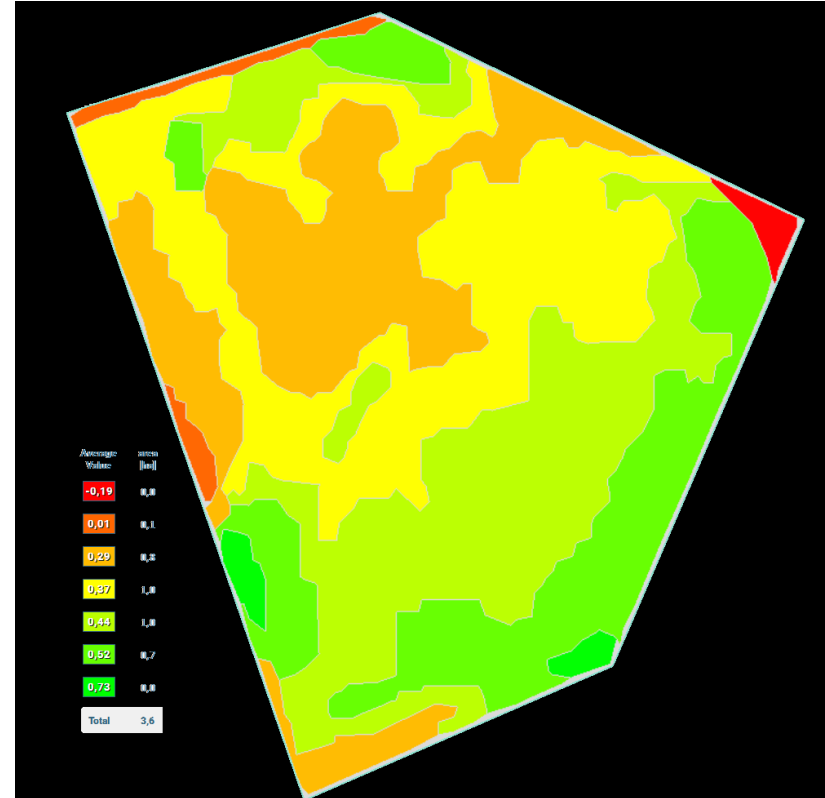
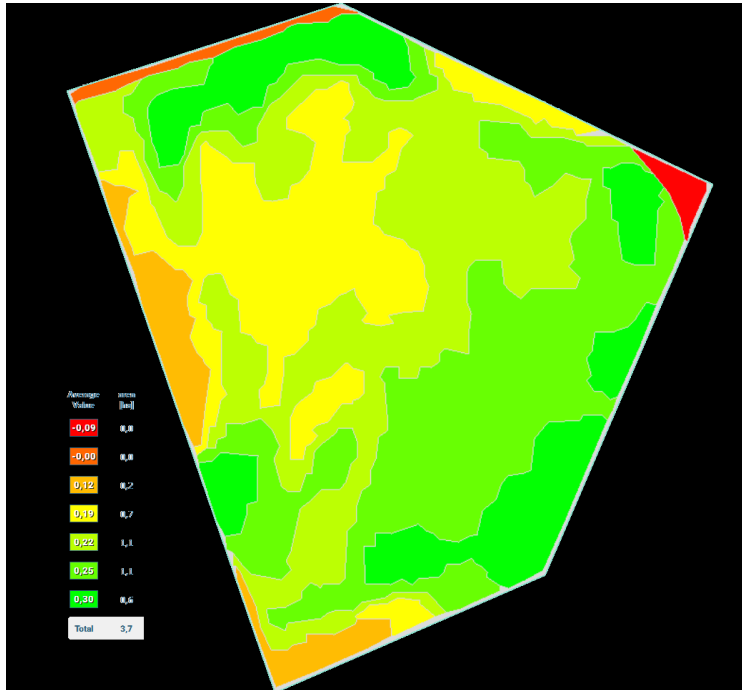


**Obraz NDVI Sentinel II
czyste niebo**

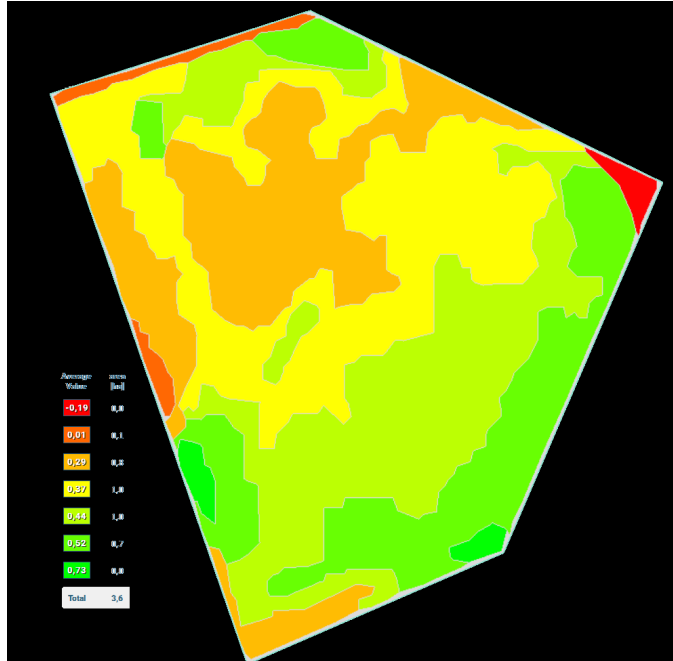


Obraz MCARI dron

Przykład: Różnice między wskaźnikami NDVI i MCARI



Przykład szacowanie strat w plonie

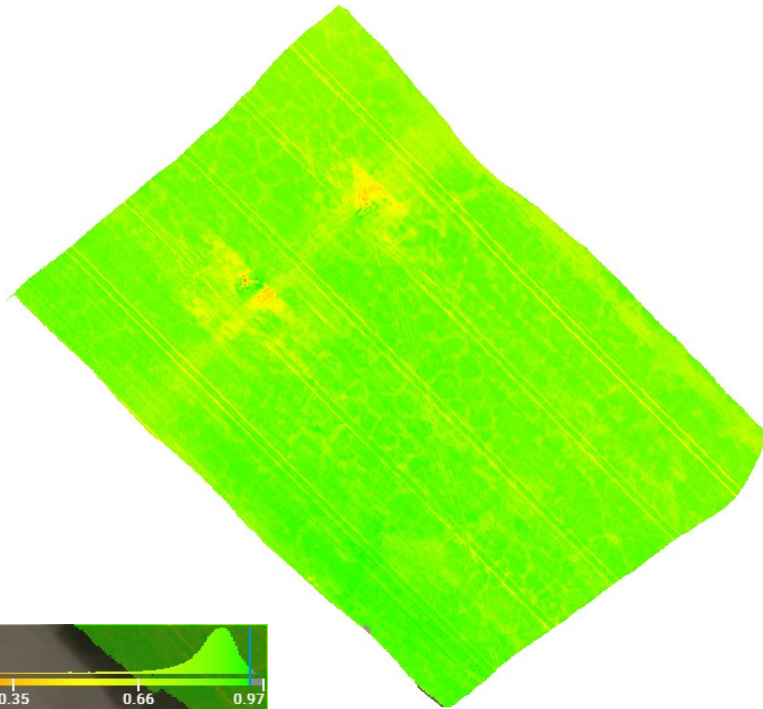


Owies- wskaźnik
MCARI szacowanie

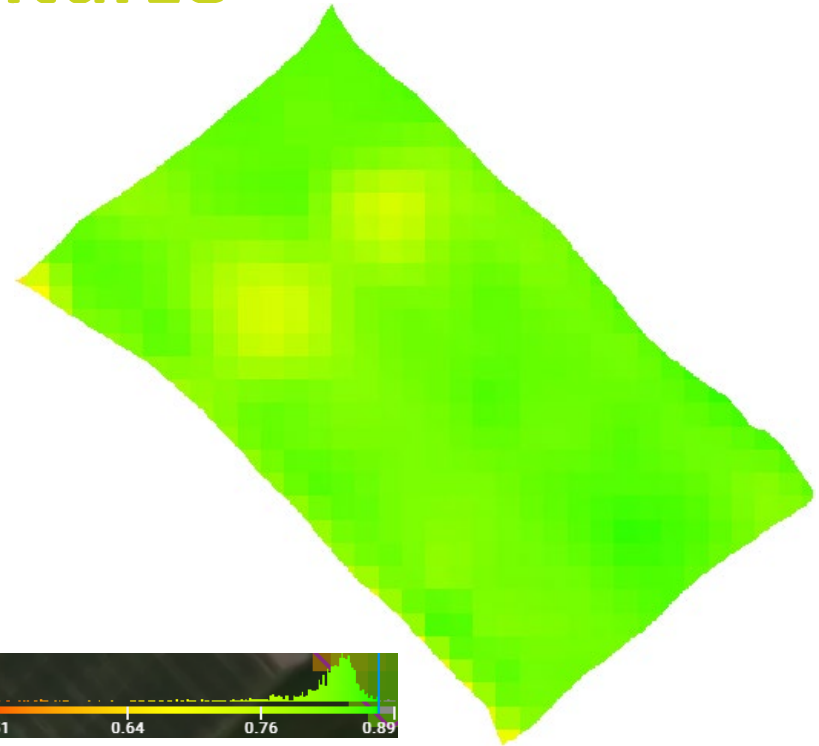
25% roślin w słabej
kondycji (do 45% wg
SMSR)

47% roślin w dobrej
kondycji

Porównanie dron vs Sentinel pole utrzymane w dobrej kulturze



Źródło:Własne



Źródło:Własne

Porównanie dron vs Sentinel pole utrzymane w dobrej kulturze statystyka

DRON

Statistics

Layer area (ha):	2.95 ha
Mean index value:	0.82
Index value SD:	0.07
Mean index value (visible):	0.83
Index value SD (visible):	0.06

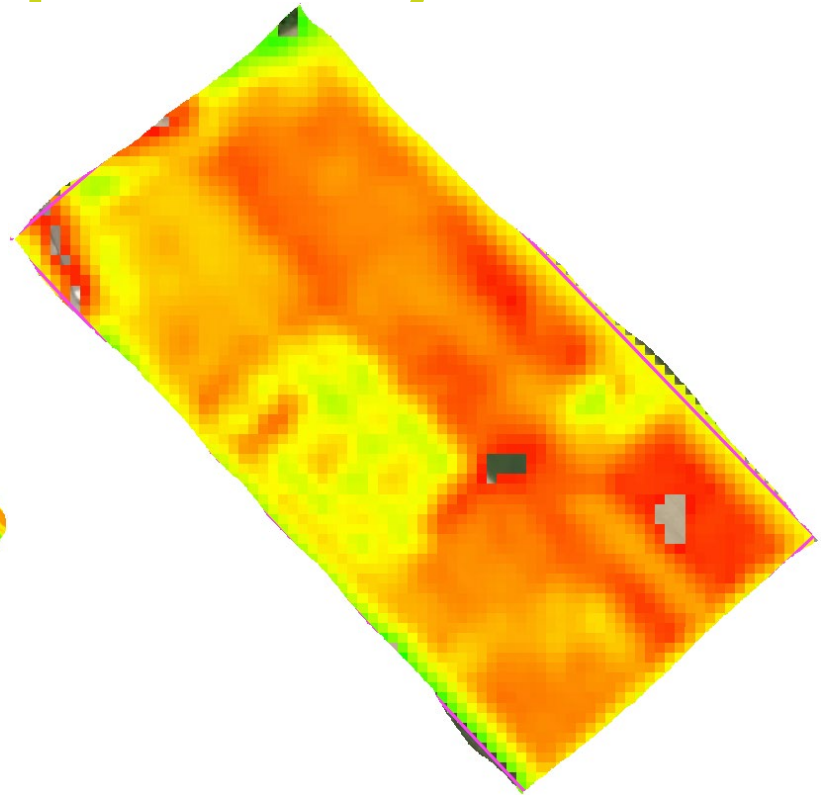
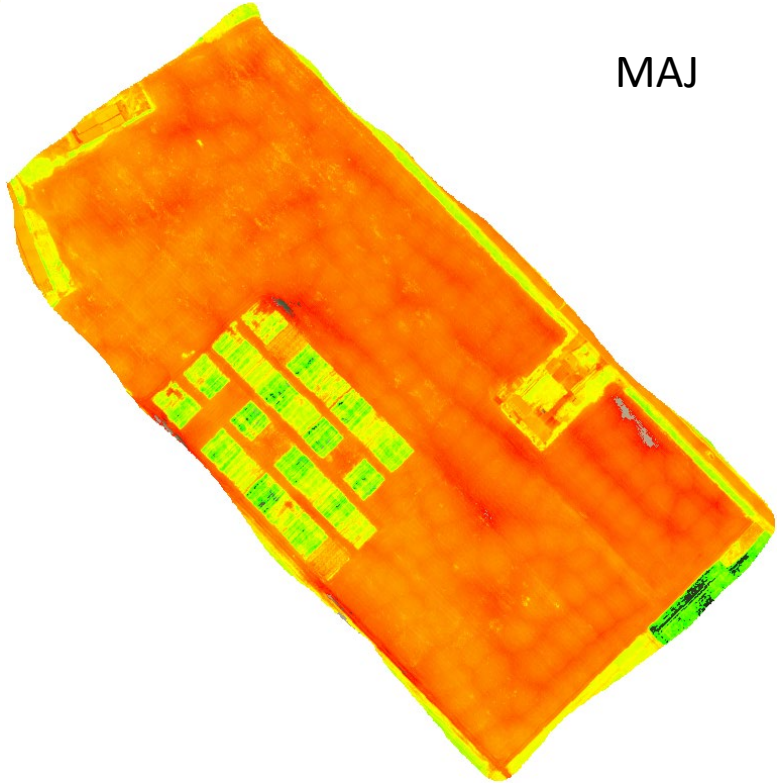
SENTINEL II

Statistics

Layer area (ha):	3.36 ha
Mean index value:	0.82
Index value SD:	0.07
Mean index value (visible):	0.82
Index value SD (visible):	0.05

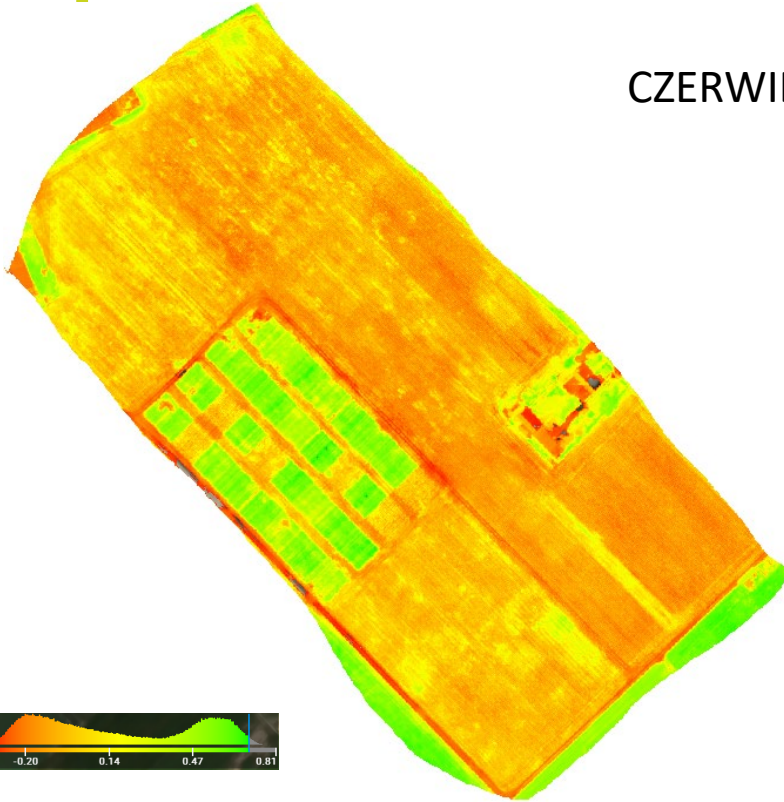
Porównanie dron vs Sentinel dokładność w prowadzeniu badań poletkowych

MAJ

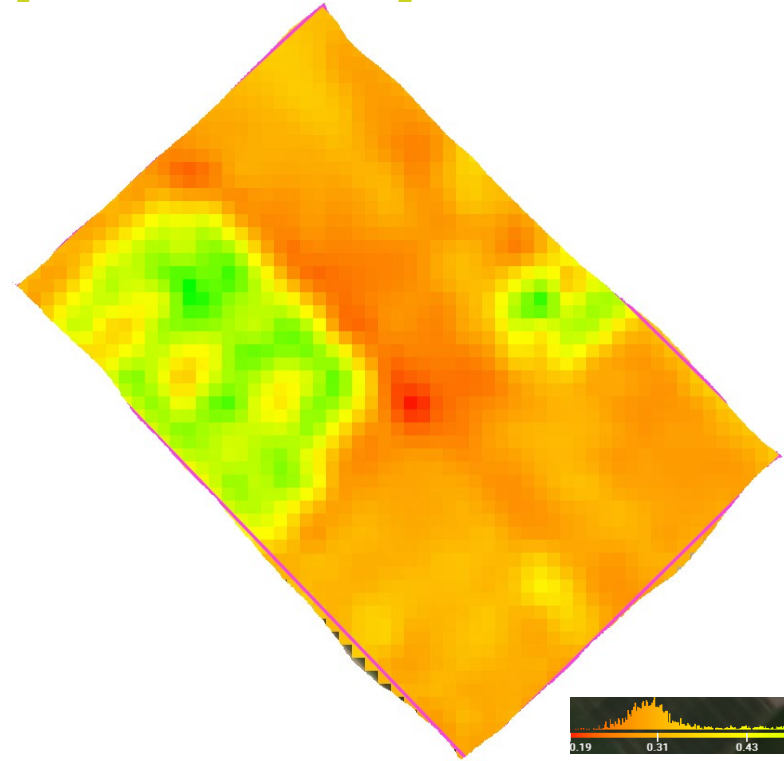


Porównanie dron vs Sentinel dokładność w prowadzeniu badań poletkowych

CZERWIEC

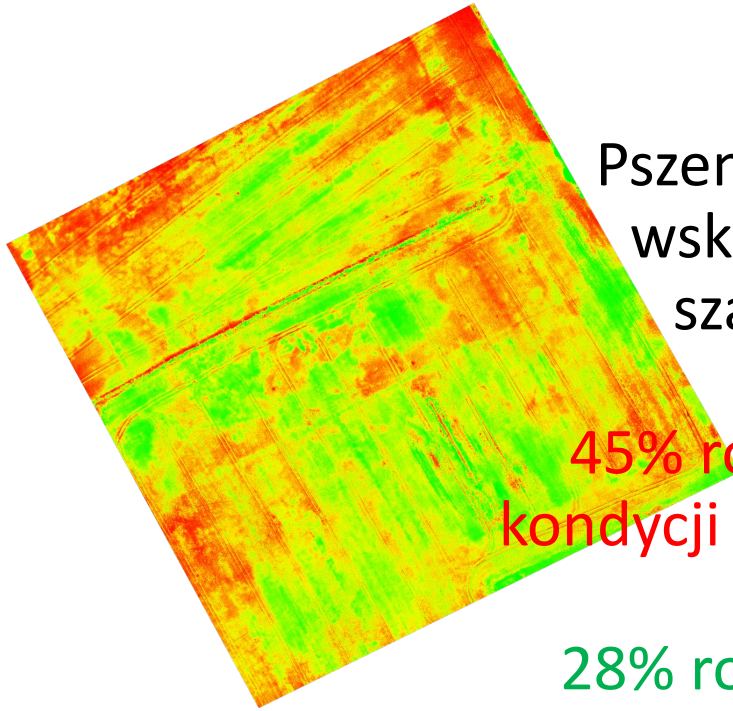


Źródło:Własne



Źródło:Własne

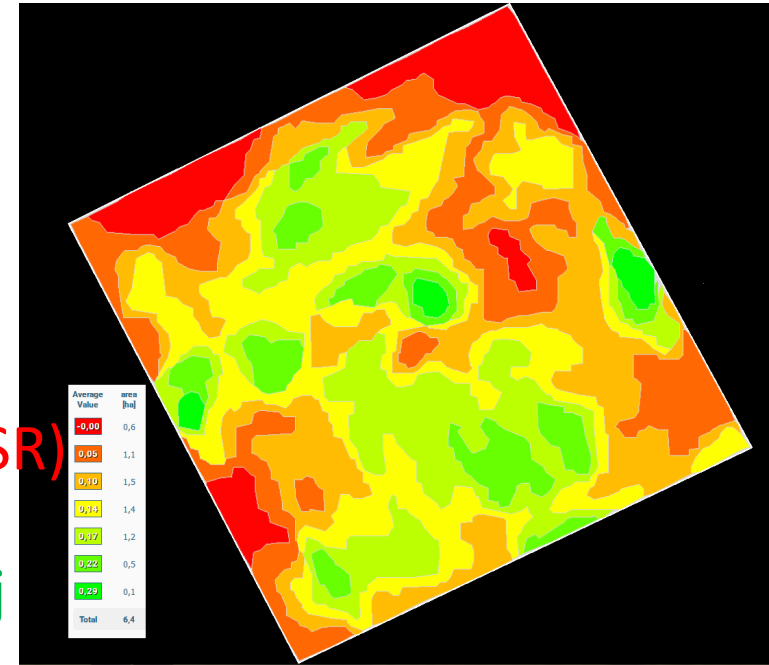
Przykład szacowanie strat w plonie



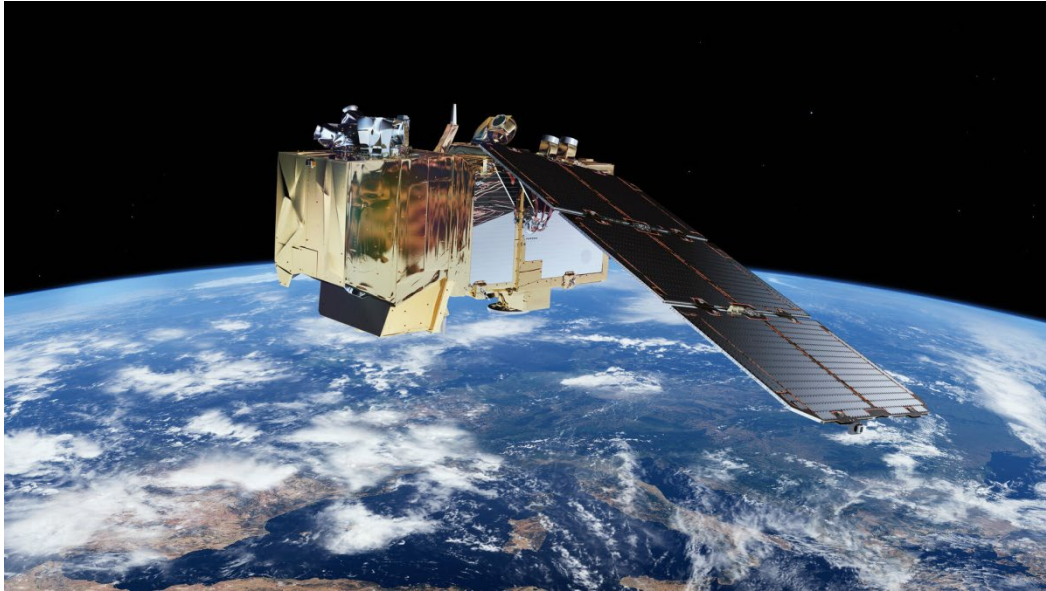
Pszenżyto ozime-
wskaźnik NDVI
szacowanie

45% roślin w słabej
kondycji (38% wg SMSR)

28% roślin w dobrej
kondycji



Zalety i Wady teledetekcji wysoko i niskopułapowej



Zalety i Wady teledetekcji niskopułapowej DRONY

Zalety:

- Dokładna informacja o tym co jest na zobrazeniu (roślina, pokrycie, zachwaszczenie, wypady, odrosty, rosa, uszkodzenia mechaniczne, choroby, szkodniki, szkody łowieckie itp.)
- Koszt zakupu kamery i nośnika



Wady:

- Czas potrzebny do przeprowadzenia misji (dojazd na miejsce)
- Uzyskiwanie pozwoleń do wykonania misji
- Mały obszar zobrażeń
- Zależność od warunków meteorologicznych i aktywności słonecznej
- Fizyczne wykonanie misji (brak archiwizacji vs Sentinel)

Zalety i Wady teledetekcji wysokopułapowej: Sentinel 2

Zalety:

- **Zobrazowania pobierane z serwera bez wychodzenia z biura**
- **Zobrazowania dostępne dla dowolnego obszaru na Ziemi**
- **Brak potrzeby pozyskiwania specjalnych pozwoleń na wykonanie misji**
- **Możliwość pozyskania danych historycznych**



Wady:

- **Brak wiedzy co dokładnie znajduje się na zdjęciach; błędy w interpretacji zdjęć**
- **Niska rozdzielczość***
- **Zobrazowania tylko dla dużych powierzchni uprawianych wg zasad DPR**
- **Zobrazowania nie nadają się do upraw ogrodniczych, sadowniczych itp.**
- **Zobrazowania co 4/5 dni (jeżeli sensor nie ulegnie awarii)**
- **Zobrazowania zależne od warunków meteorologicznych**

Podsumowanie

Analiza obrazowań spektralnych dostarcza istotnych informacji, doskonale nadających się do wykorzystania nad określeniem oceny ogólnej kondycji roślin. Na krzywą odbicia spektralnego wpływ ma wiele czynników nieujętych w prezentacji jak np. właściwości fizykochemiczne gleb w tym odczyn i zawartość próchnicy czy wybór materiału siewnego (zmienność odmianowa), które w głównej mierze determinują ostateczny plon.



Bibliografia

Źródło: <https://agronomist.pl/artykuly/teledetekcyjne-wskazniki-roslinnosci>

Źródło: https://www.researchgate.net/figure/Spectral-response-curve-for-the-Micasense-RedEdge-camera-The-colors-of-the-lines_fig4_318325581

Źródło: <https://agronomist.pl/artykuly/teledetekcyjne-wskazniki-roslinnosci>

Źródło: <https://www.farmer.pl/produkcja-roslinna/zboza/usda-prognoza-wiekszej-swiatowej-produkcji-pszenicy-i-zboz-paszowych,113877.html>

Źródło: https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-a-typical-plant-leaf-showing-patterns-of-transmission-absorption-and_fig2_266218822

Źródło: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://depotuw.ceon.pl/bitstream/handle/item/2314/1900-DR-GF-137396.pdf?sequence=1>

Źródło: agronomist.pl

Źródło: <https://ecowall24.pl/plakaty-147-natura-a-272878338-widok-z-lotu-ptaka-na-polu-podczas-zmierzchu-krajobraz-z-drona-krajobraz-rolniczy-z-powietrza-rolnictwo-obraz.html>

Źródło: <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/technology/drones-and-photogrammetry-are-being-used-to-identify-foreign-objects-on-runways-at-us-airports.html>

Źródło: <https://colidrone.pl/ortofotomapa-i-dtm>

Źródło: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/http://geoinformatics.uw.edu.pl/wp-content/uploads/sites/26/2014/03/TS_v30_041_Pawlak_6M.pdf

Źródło: <http://laboratoria.net/artykul/20388.html>

Źródło: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/9/2392#>

Źródło: <https://agronomist.pl/artykuly/ndvi-czym-jest-i-jak-korzystac-z-tego-wskaznika>

Źródło: <https://navigate.pl/blog/ocena-rozkladu-przestrzennego-temperatury-powierzchni-czynnej-na-uprawie-lesnej-case-study/>

Źródło: <https://agronomist.pl/artykuly/ndvi-czym-jest-i-jak-korzystac-z-tego-wskaznika>

Źródło: https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinel-2_operations

Dziękuję za uwagę

Tytus Berbeć-

Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa- Państwowy Instytut Badawczy

