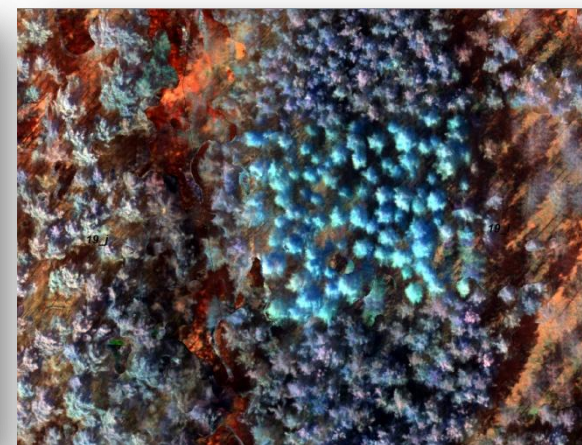




Wykorzystanie technologii LiDAR oraz teledetekcji lotniczej i satelitarnej w monitorowaniu i zarządzaniu zasobami przyrodniczymi Parku Narodowego Bory Tucholskie



**dr hab. inż. Piotr Weżyk¹, mgr inż. Paweł Hawryło¹, mgr inż. Karolina Zięba-Kulawik¹,
dr inż. Marta Szostak¹, mgr Agnieszka Turowska², mgr inż. Michał Ratajczak³
dr inż. Artur Warchoła⁴**

¹ Instytut Zarządzania Zasobami Leśnymi, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie;

² Park Narodowy Bory Tucholskie; ³ Nadleśnictwo Przymuszewo, RDLP Toruń; ⁴ProGea 4D sp z o o



Park Narodowy
„Bory Tucholskie”



REZERWAT BIOSFERY
BORY TUCHOLSKIE



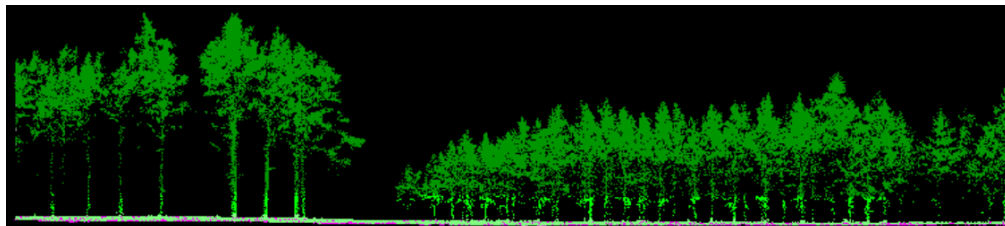
Polskie
Parki
Narodowe



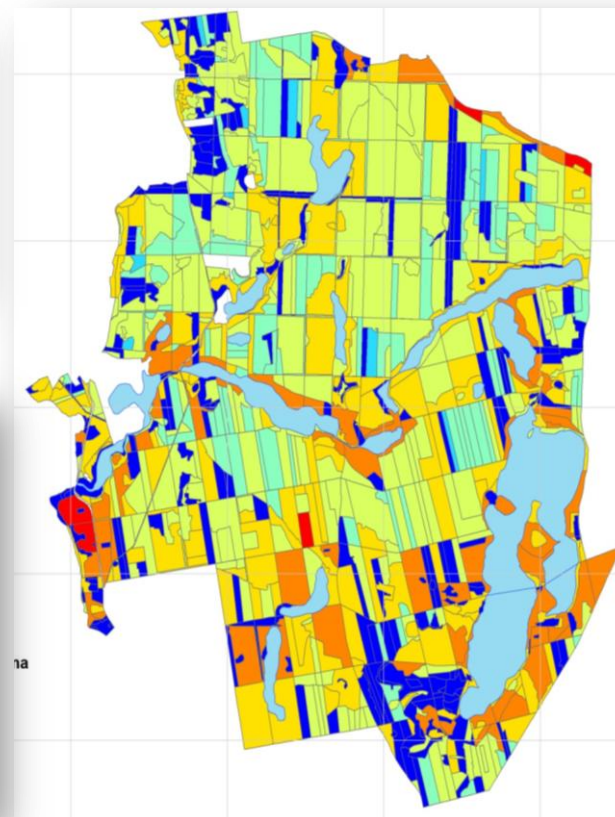
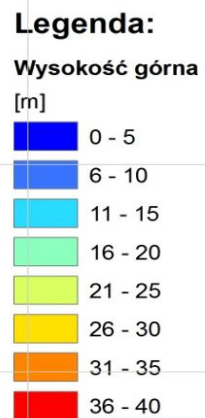
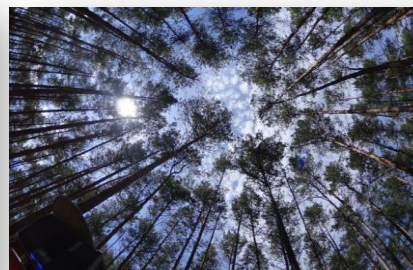
Wysokość drzewostanów w PNBT



ALS p95



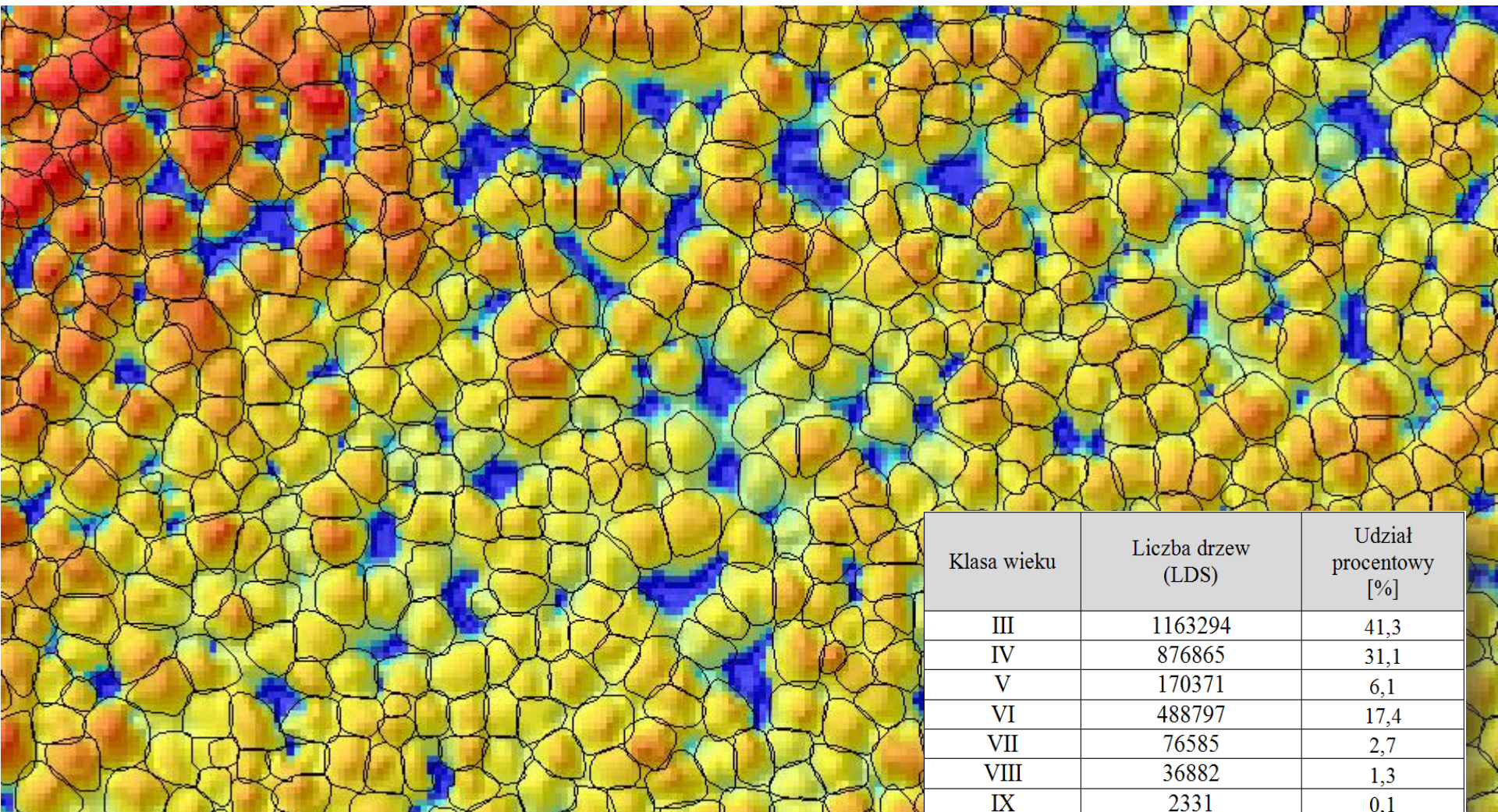
Klasa wieku	Średnia wysokość [m]
III	14,9
IV	17,6
V	22,1
VI	21,6
VII	24,2
VIII	24,4
IX	26,7
X	29,2



Wartość wysokości górnej (p95)
poszczególnych wydzieleń PNBT



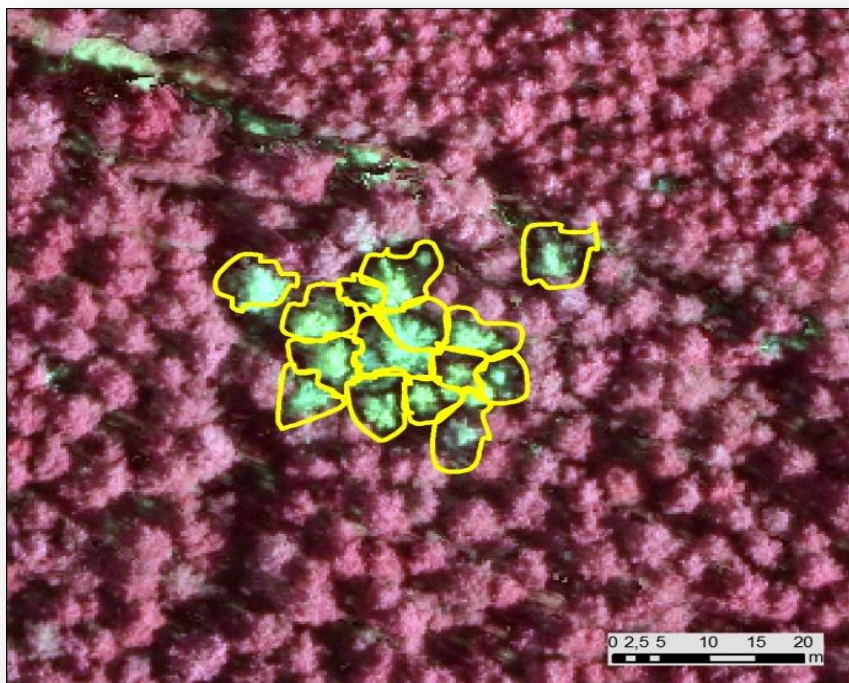
Liczba drzew w klasach wieku



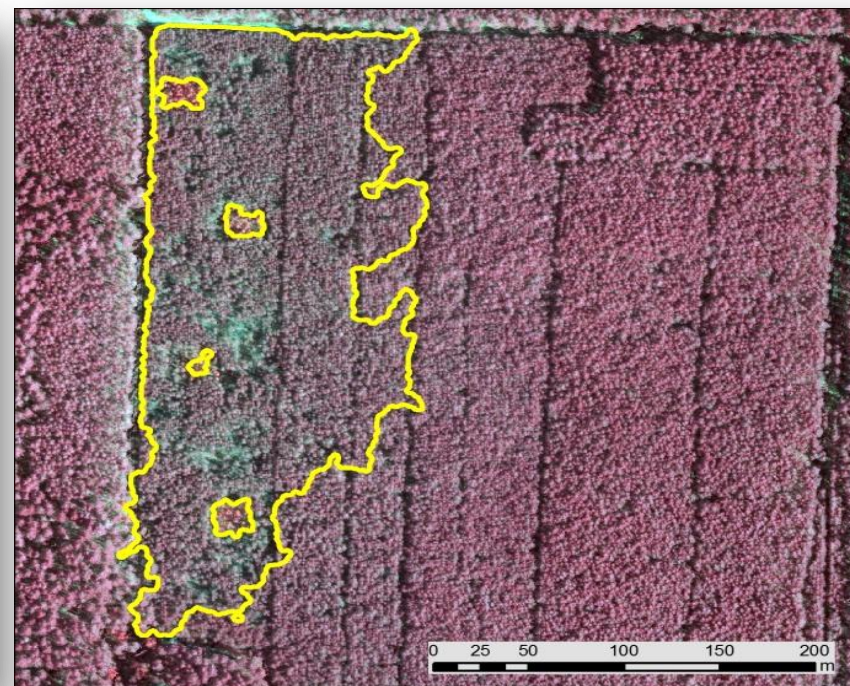
Klasa wieku	Liczba drzew (LDS)	Udział procentowy [%]
III	1163294	41,3
IV	876865	31,1
V	170371	6,1
VI	488797	17,4
VII	76585	2,7
VIII	36882	1,3
IX	2331	0,1
X	243	0,0
Suma	2815368	100,0



Klasyfikacja drzew martwych oraz drzewostanów osłabionych – 2015 r.



Biogrupa martwych sosen po uderzeniu pioruna



D-stany osłabione przez gradacje foliofagów w PNBT

Zobrazowania satelitarne SENTINEL-2 ESA (GSD 10m) - 2018



22/11/18



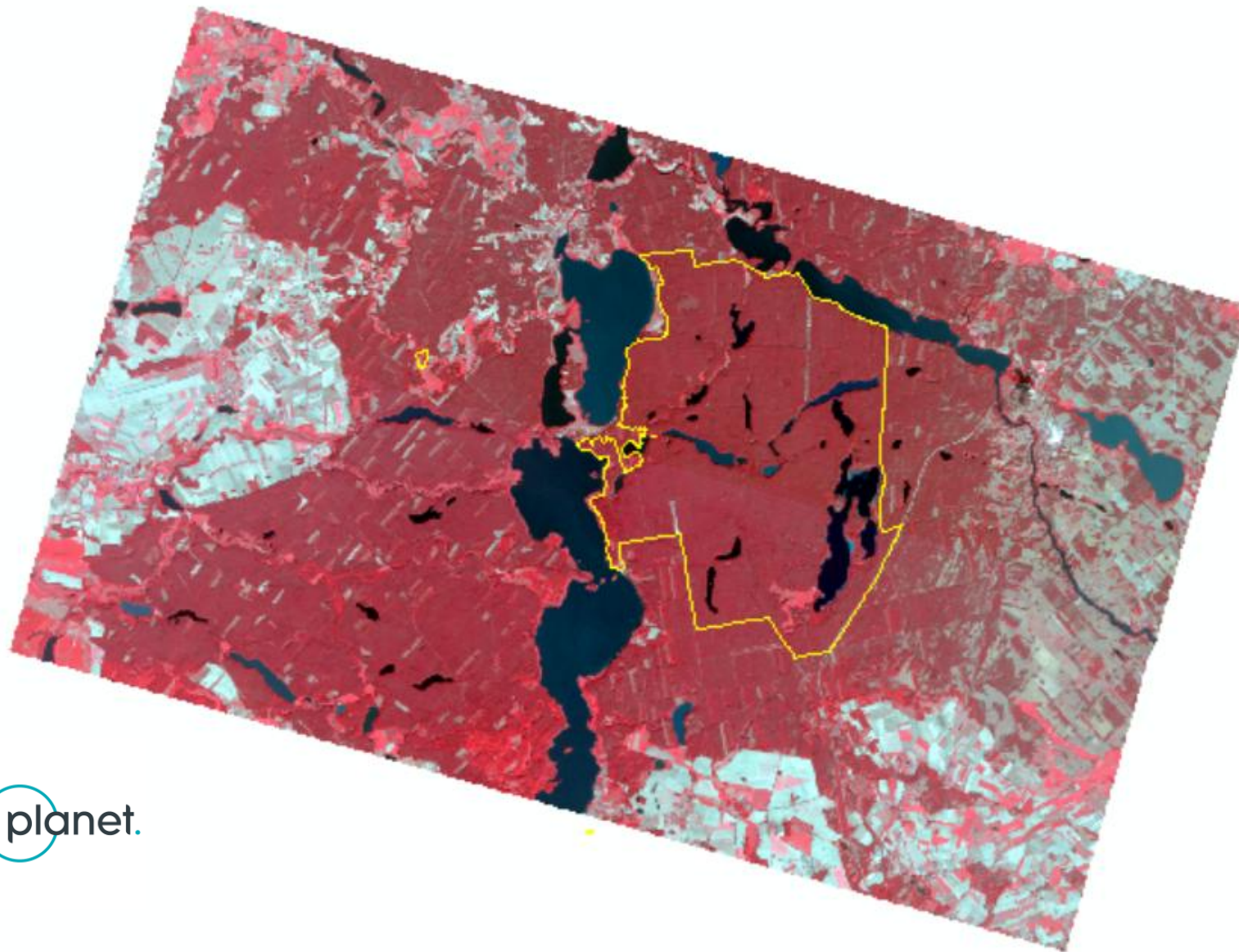
Środowisko Informacji 2018



5



Zobrazowania satelitarne Planet GSD 3m (RGB NIR) - 2018





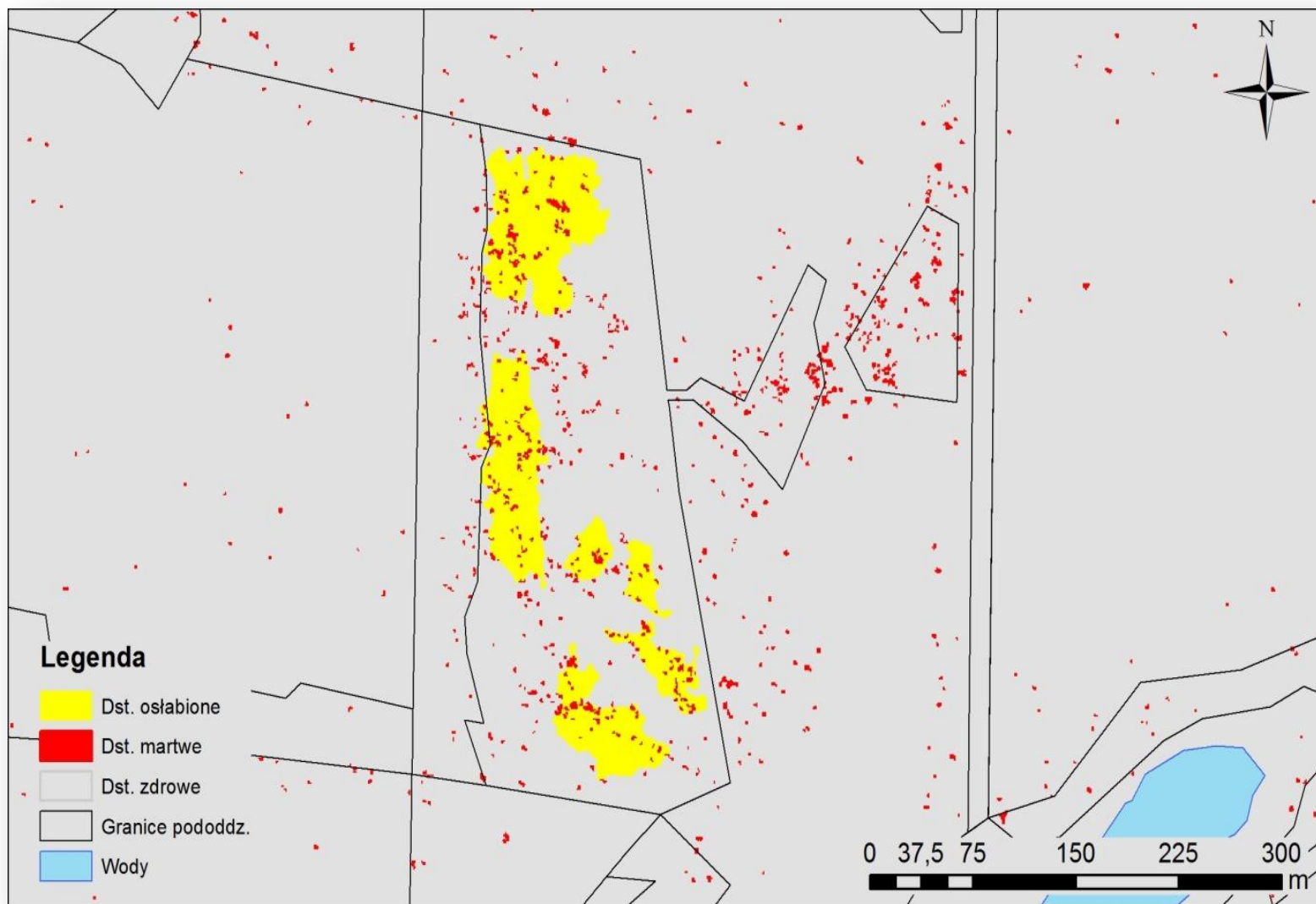
Zobrazowania satelitarne Planet

18.06.2018 (CIR)





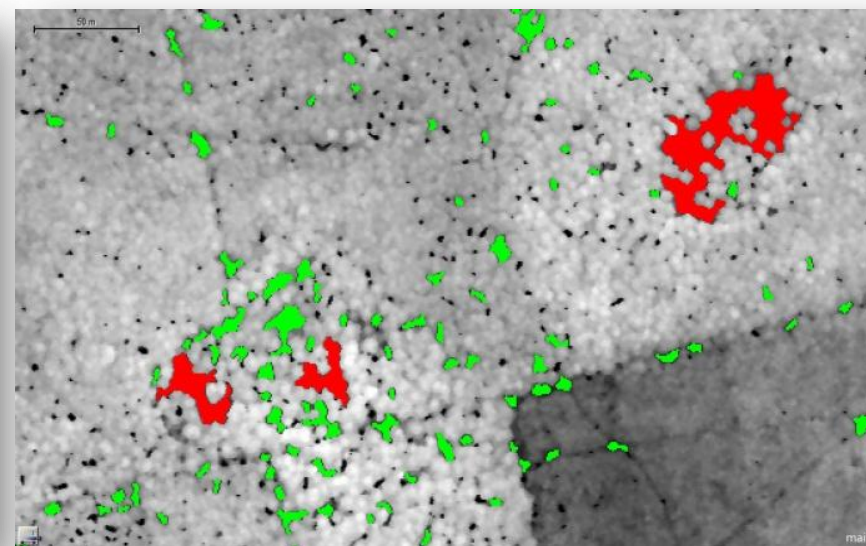
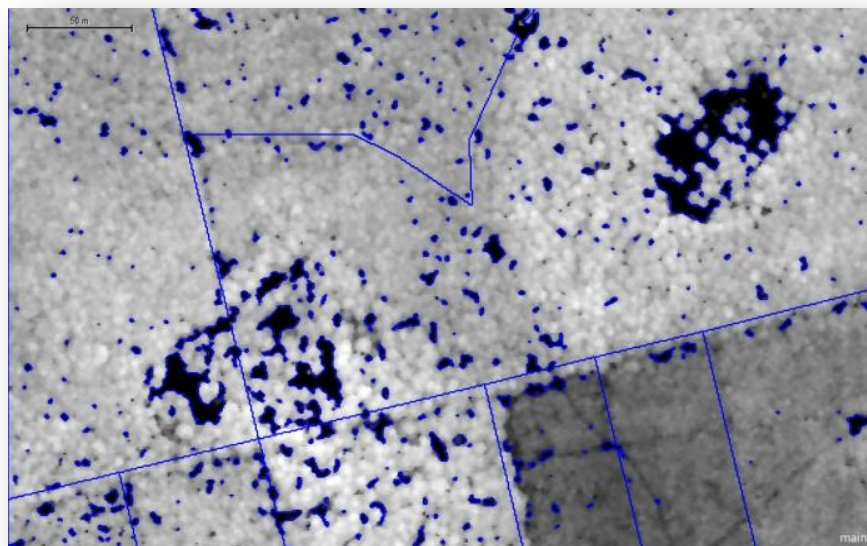
Drzewostany martwe oraz osłabione RapidEye (GSD 5m; 5 kanałów)





Zasięgi luk w drzewostanach

Segmentacja (GEOBIA) i klasyfikacja



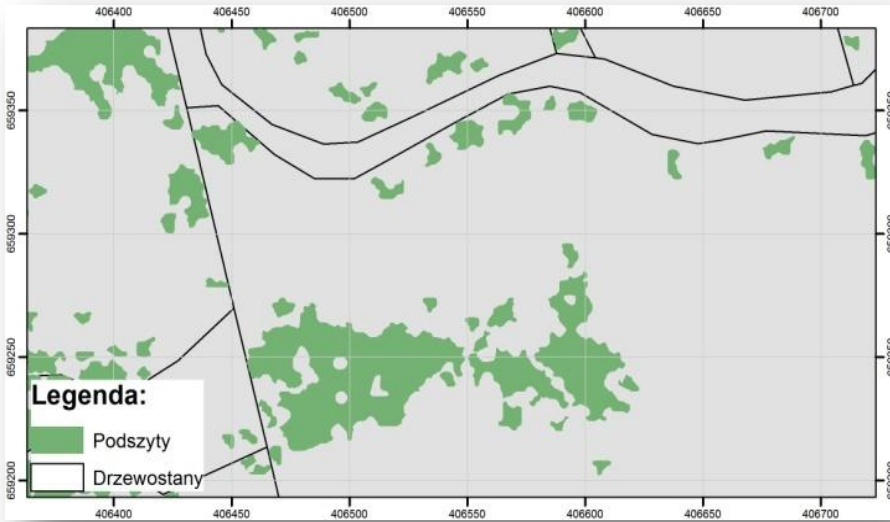
Wynik segmentacji z wykorzystaniem MKD oraz warstwy wektorowej drzewostanów

Wyniki klasyfikacji luk:

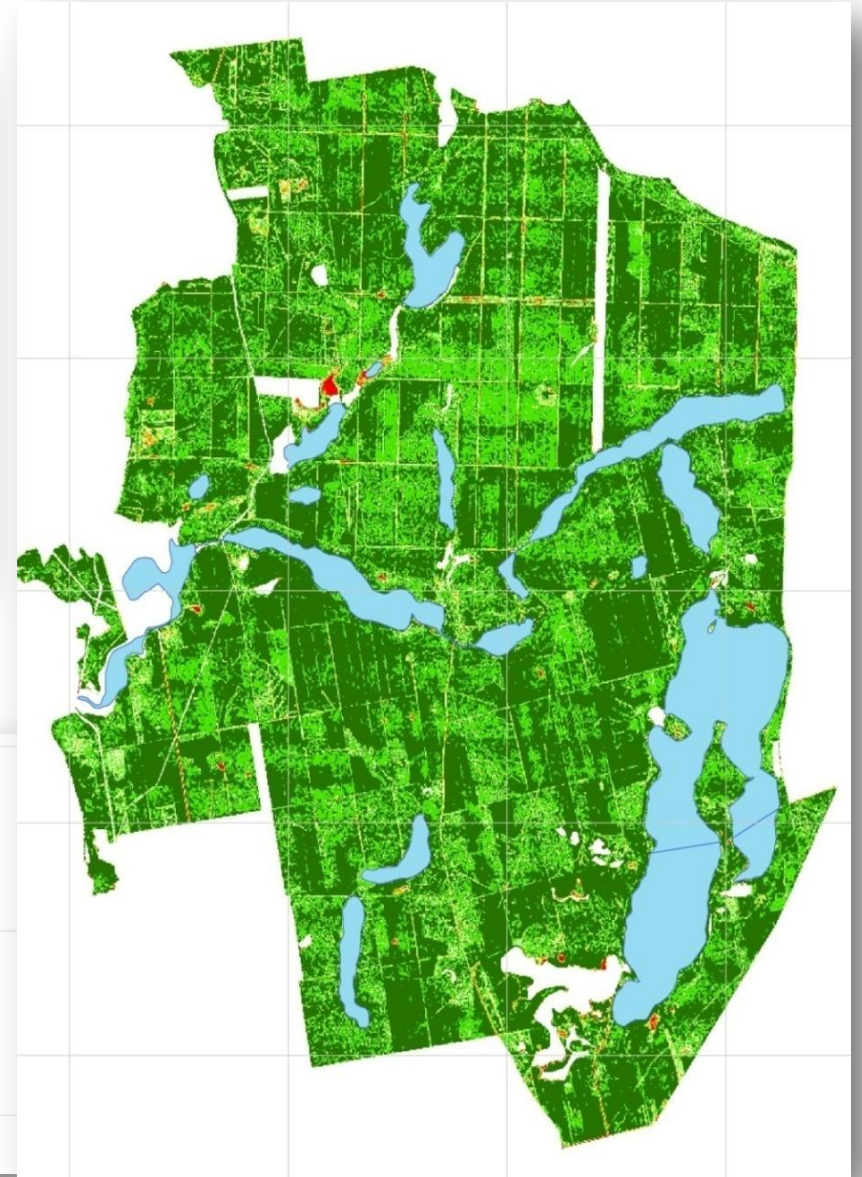
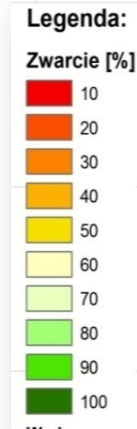
- luki powyżej 200 m² - kolor czerwony,
- luki o powierzchni 10-200 m² - kolor zielony.



Zwarcie koron drzew i podrosty



Mapa podszytów i podroستی
(drzewostany PNBT o złożonej
budowie piętrowej)



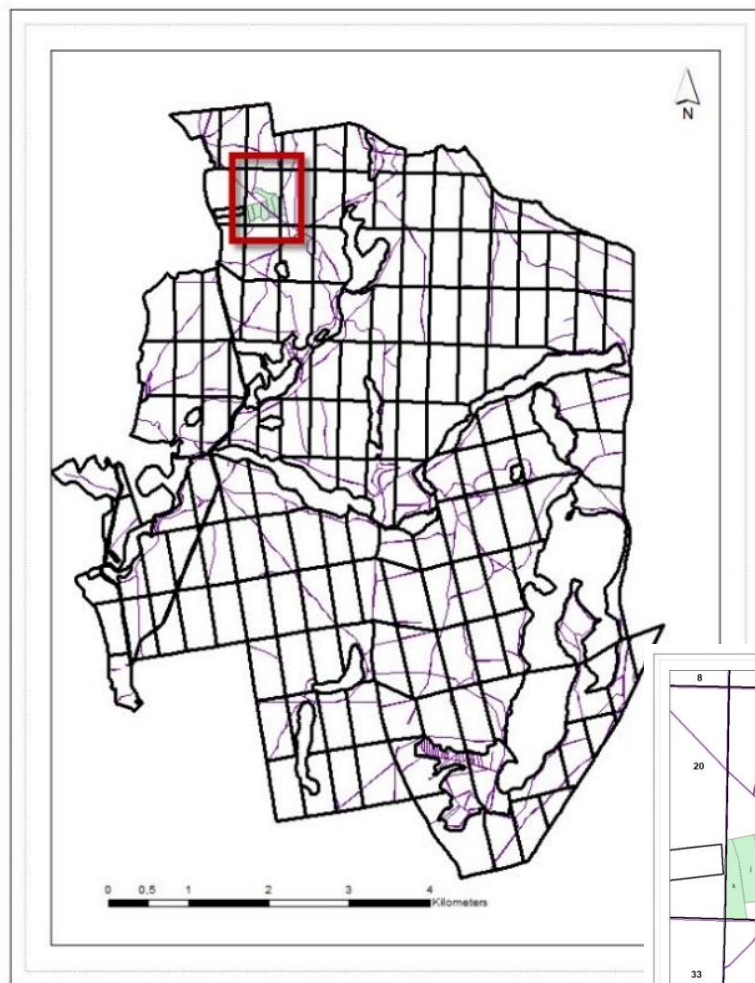


Ochrona czynna borów chrobotkowych



Obszar badań – bory chrobotkowe

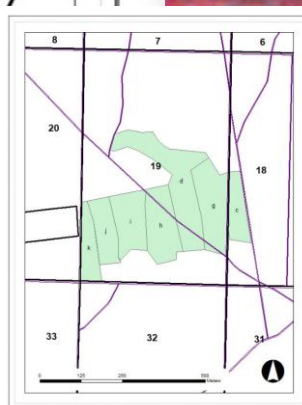
7 wydziełów wytypowanych do ochrony czynnej chrobotków w oddziałach 19 oraz 18



Obszar badań na tle PNBT



Kompozycja CIR (NIR, R, G)
22.08.2018/ PlanetScope
GSD 3.0)



Wydziewienia wybrane do analiz

Chmura punktów LiDAR z lotniczego skanowania laserowego (ALS)

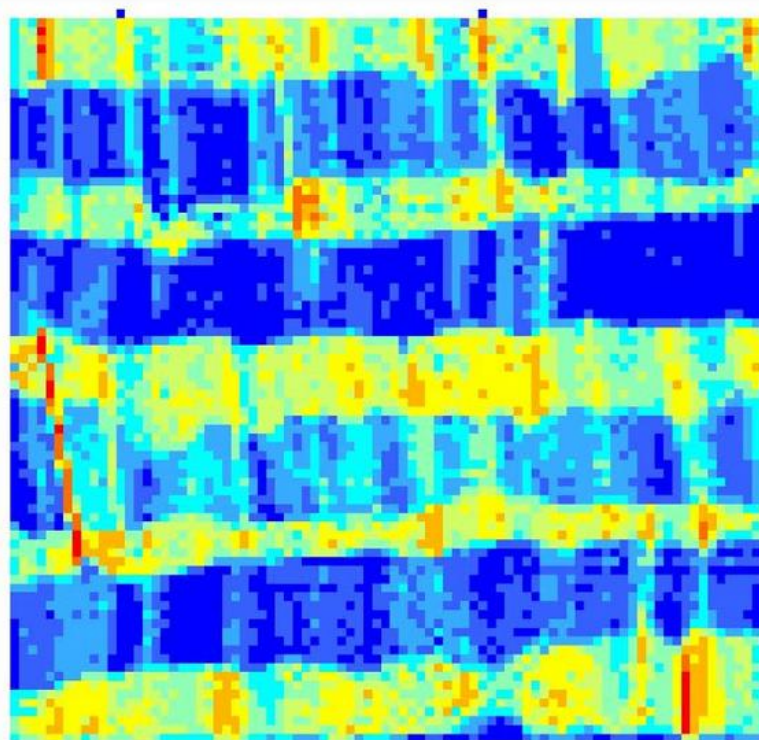
Gęsta (średnio ok. 70 pkt/m²) chmura punktów ALS pozyskana z poziomu wiatrakowca wraz z ortofotoplanem RGB.

Legenda

Gęstość odbić

[pkt./m²]

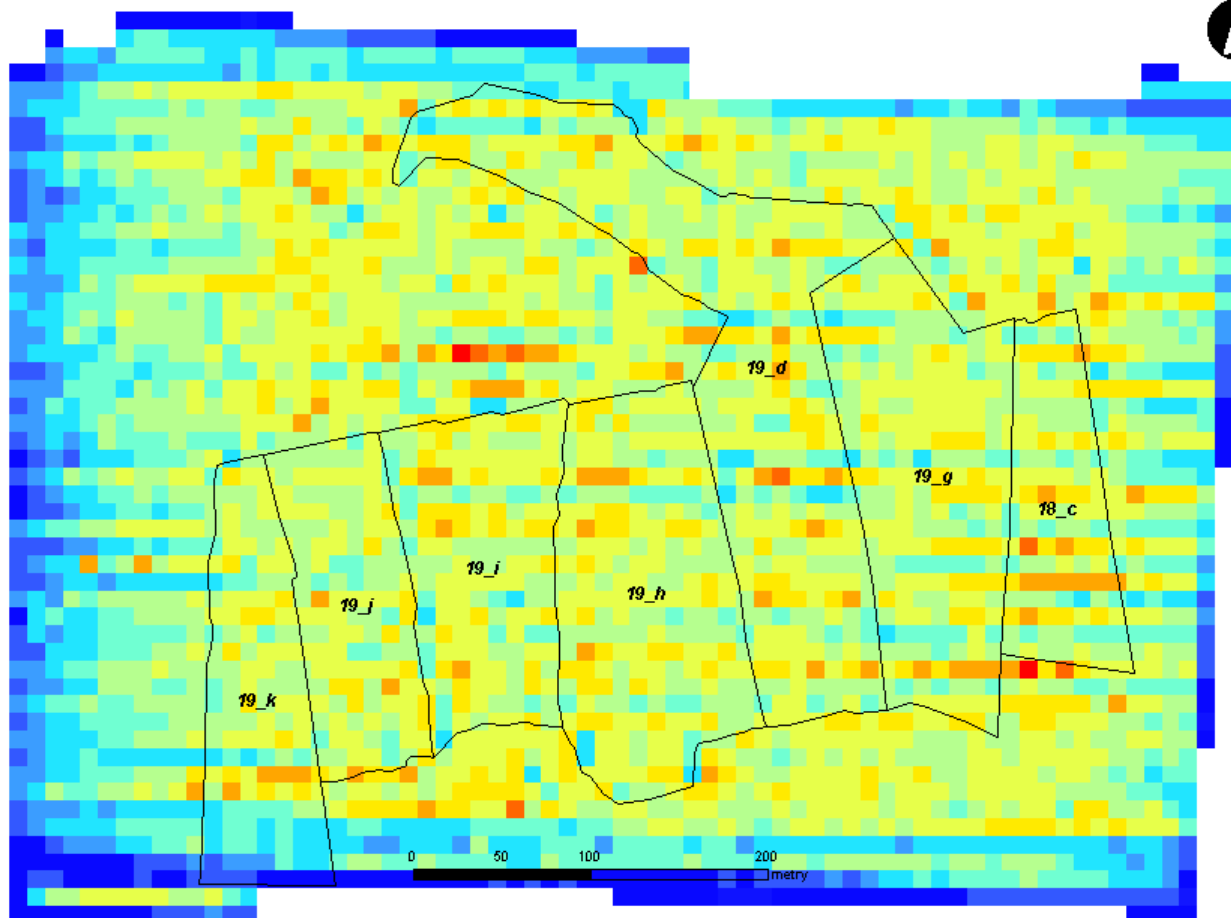
	23 - 45
	46 - 54
	55 - 65
	66 - 75
	76 - 86
	87 - 97
	98 - 110
	111 - 130
	131 - 161
	162 - 209



1:8 000

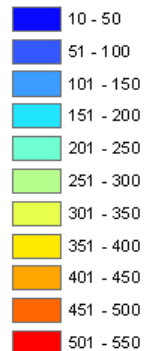


Chmura punktów LiDAR z bezzałogowego statku powietrznego (ULS)



Legend

gestosc_all
pkt./m2



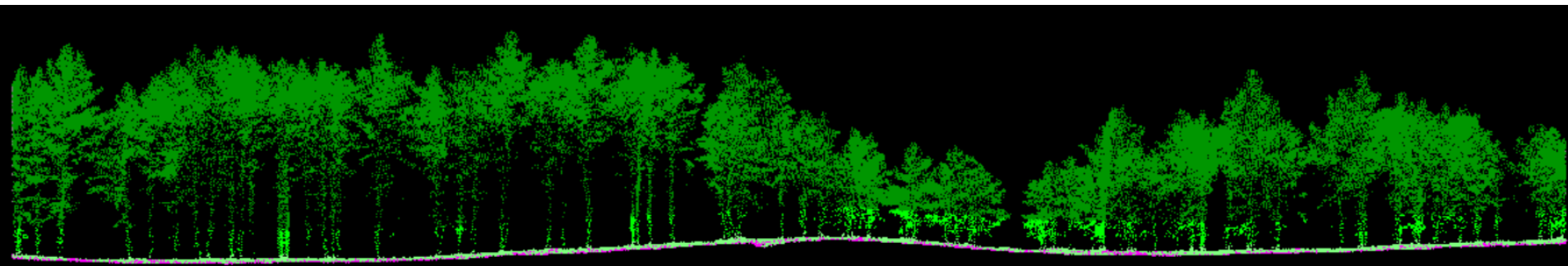
RICOPTER
RIEGL
VUX-1
550
impulsów/sek.



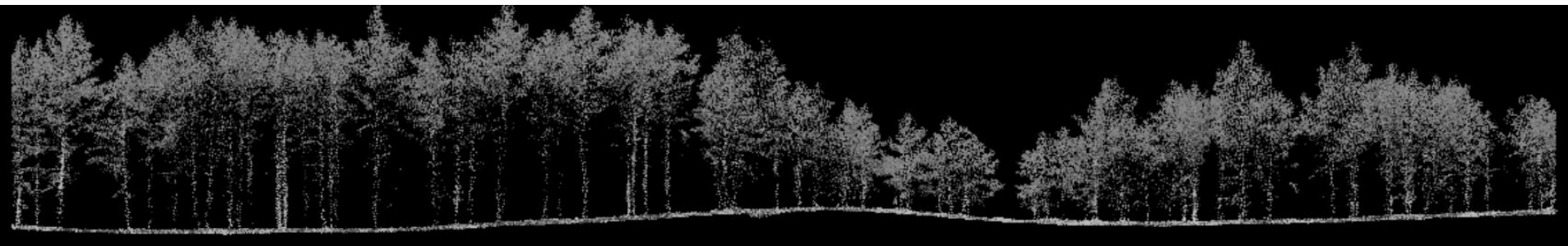
<http://www.riegl.com/products/unmanned-scanning/riegl-vux-1uav/>



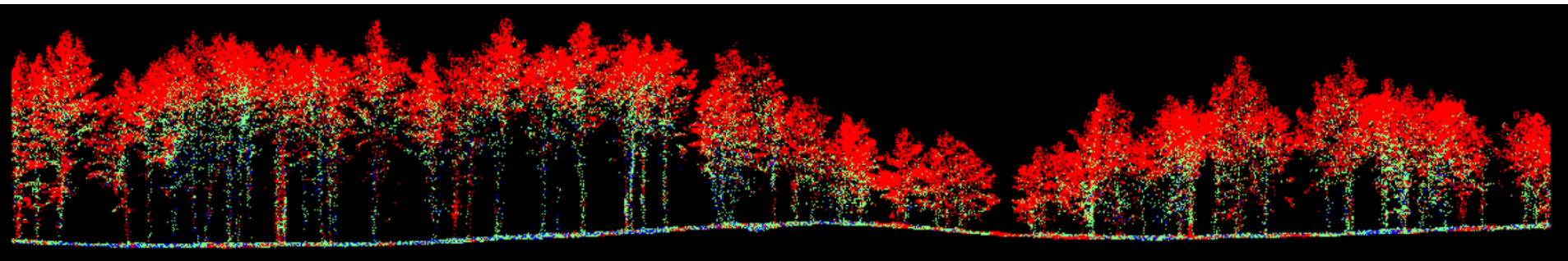
Chmura punktów LiDAR



Klasy punktów ALS (APSR)



Intensywność



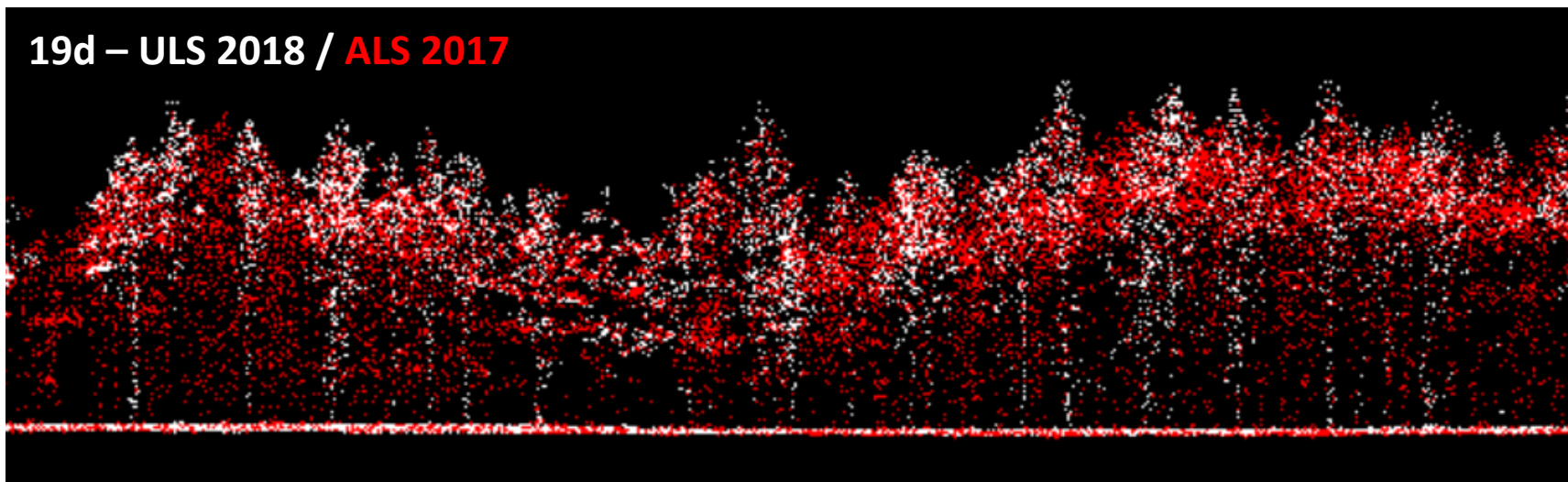
Echa (kolejności odbić)



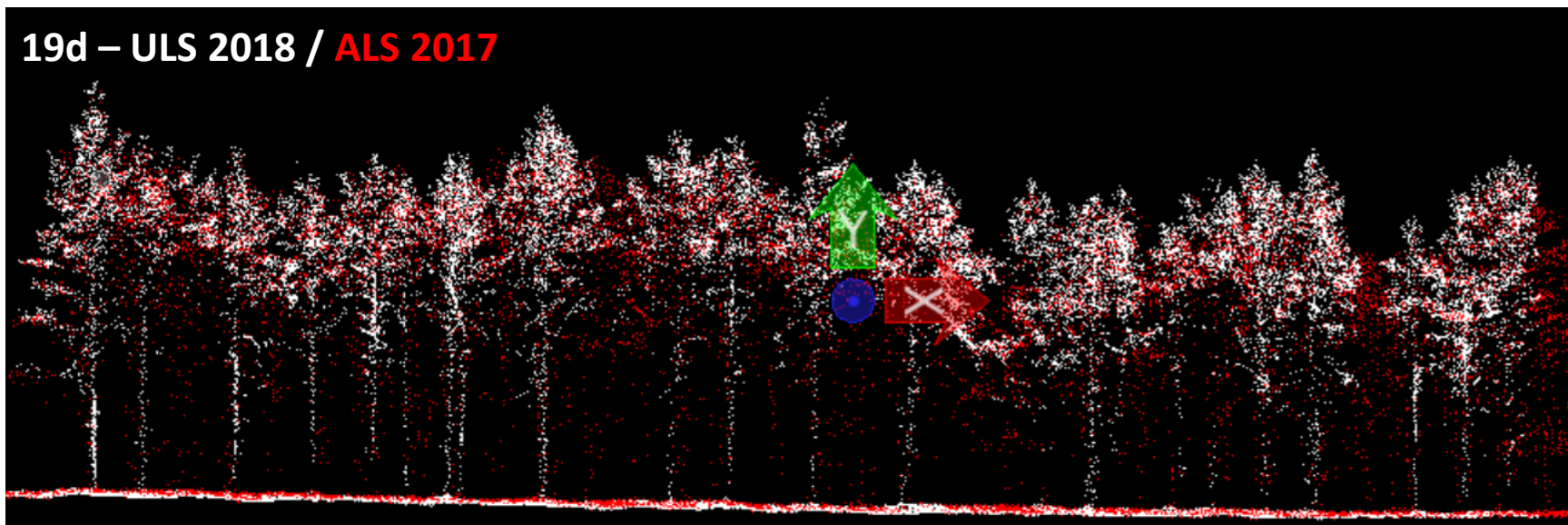
Chmura punktów ALS/ULS



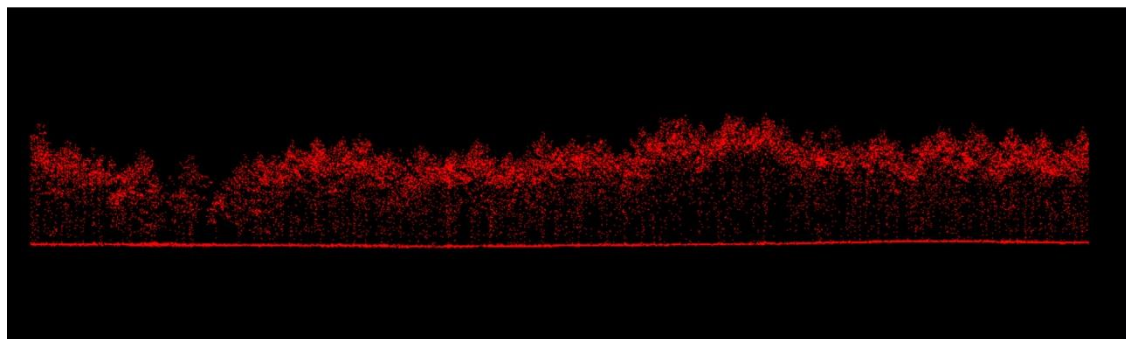
19d – ULS 2018 / ALS 2017



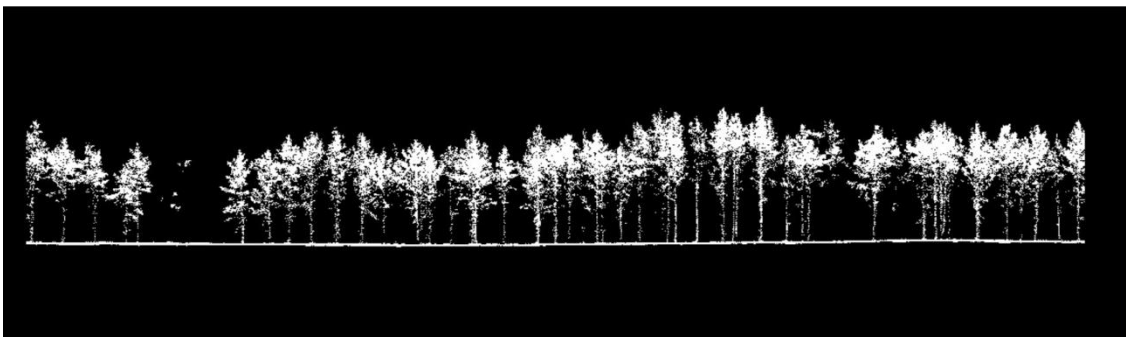
19d – ULS 2018 / ALS 2017



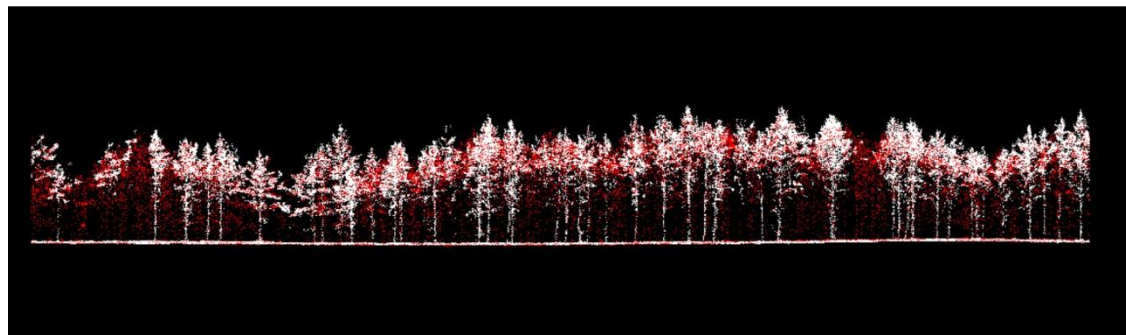
Chmura punktów ALS/ULS



ALS 2017

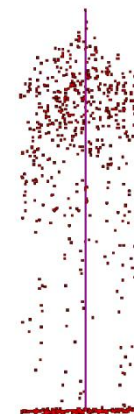


ULS 2018 – po zabiegach ochrony czynnej



ULS + ALS

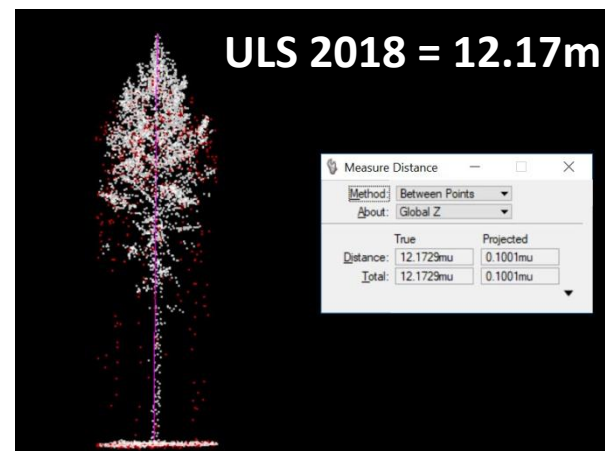
22/11/18



Measure Distance	
Method:	Between Points
About:	Global Z
	True Projected
Distance:	11.4931mu 0.0000mu
Total:	11.4931mu 0.0000mu

ALS 2017 = 11.49m

Przyrost wysokości
2017-2018 = 28 cm



ULS 2018 = 12.17m

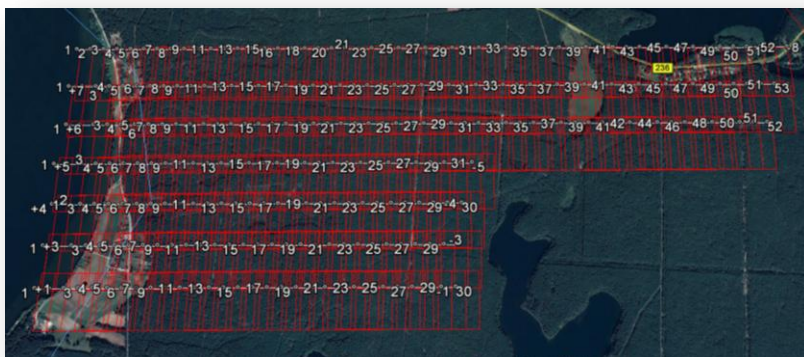
Measure Distance	
Method:	Between Points
About:	Global Z
	True Projected
Distance:	12.1729mu 0.1001mu
Total:	12.1729mu 0.1001mu

ID_foto	X_PL_1992	Y_PL_1992	Z m npm	Omega	Phi	Kappa	GPS Time
6_17_01	404446,99	665763,14	367,72	1,170963	1,150516	-81,29437	386127,8277
6_16_01	404367,05	665760,09	371,121	1,251931	0,792371	-80,86468	386130,721
6_15_01	404287,37	665756,84	373,663	0,893908	2,824897	-82,4375	386133,5624
6_14_01	404207,55	665754,23	378,926	1,211283	2,739849	-82,49984	386136,5232
6_13_01	404127,86	665750,89	382,905	0,710989	1,690276	-82,44163	386139,5818

Blok zdjęć lotniczych RGB poddany został procesowi zagęszczenia osnowy fotogrametrycznej (aerotriangulacja) w oparciu o sygnalizowane fotopunkty pomierzone odbiornikiem GNSS RTK.



Linie bezszwowego mozaikowania wygenerowane w oprogramowaniu TerraPhoto (Terrasolid)





Ortofotoplan RGB 2017 GSD 5.0 cm



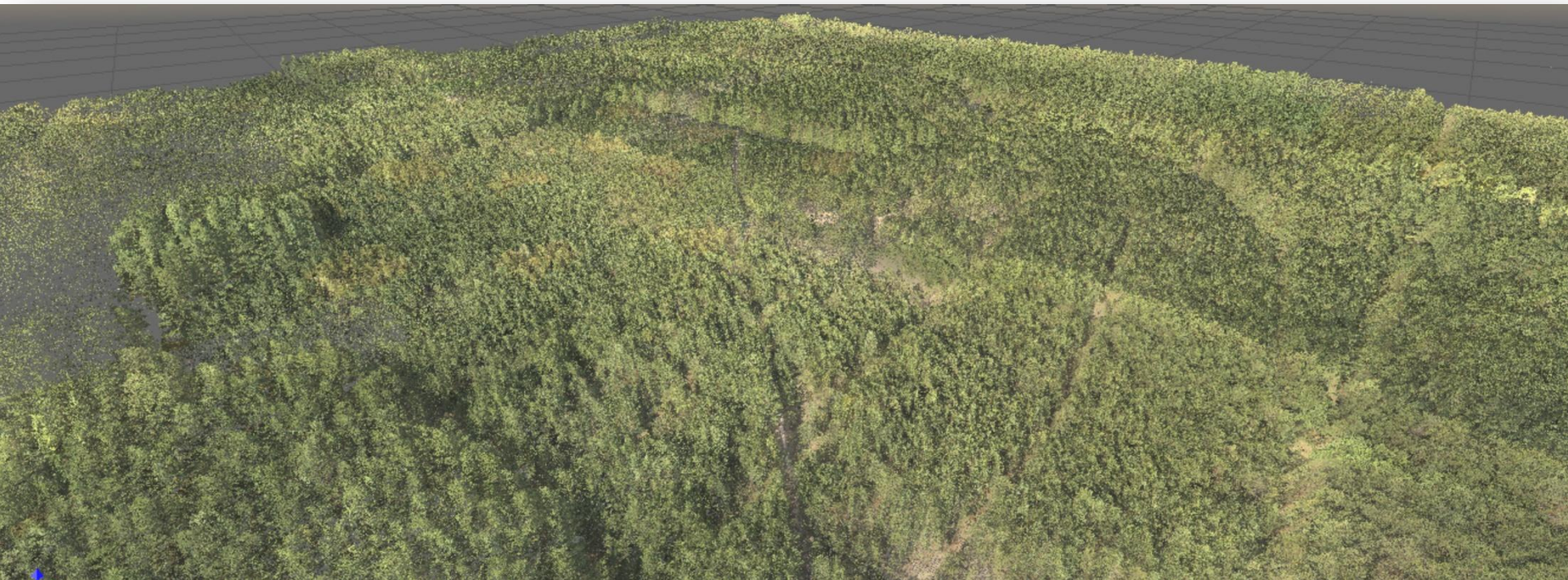


Ortofotoplan RGB (GSD 5cm) - 2018

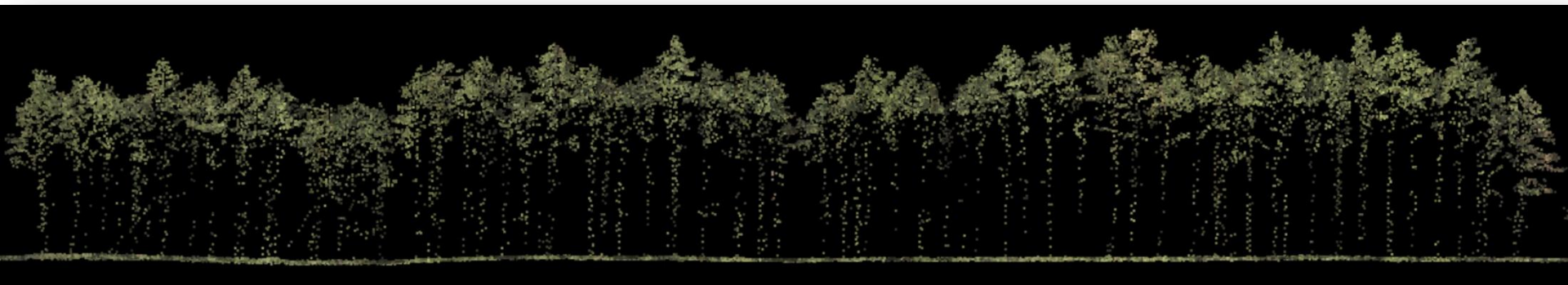




Chmura punktów ALS (RGB)

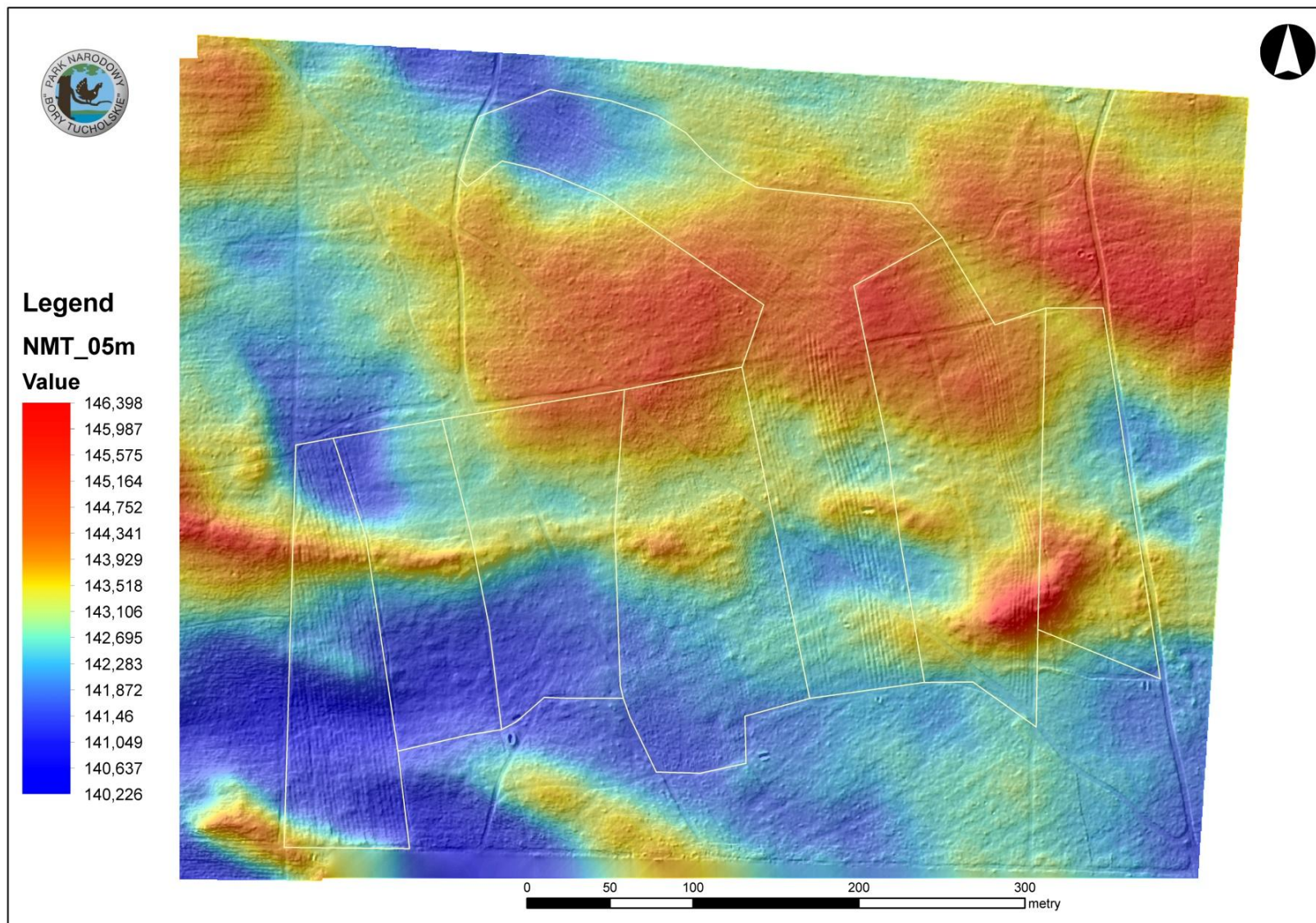


Chmura punktów ALS o średniej gęstości 70 pkt/m² pokolorowana na podstawie obrazów fotolotniczych RGB wyrównanych tonalnie.



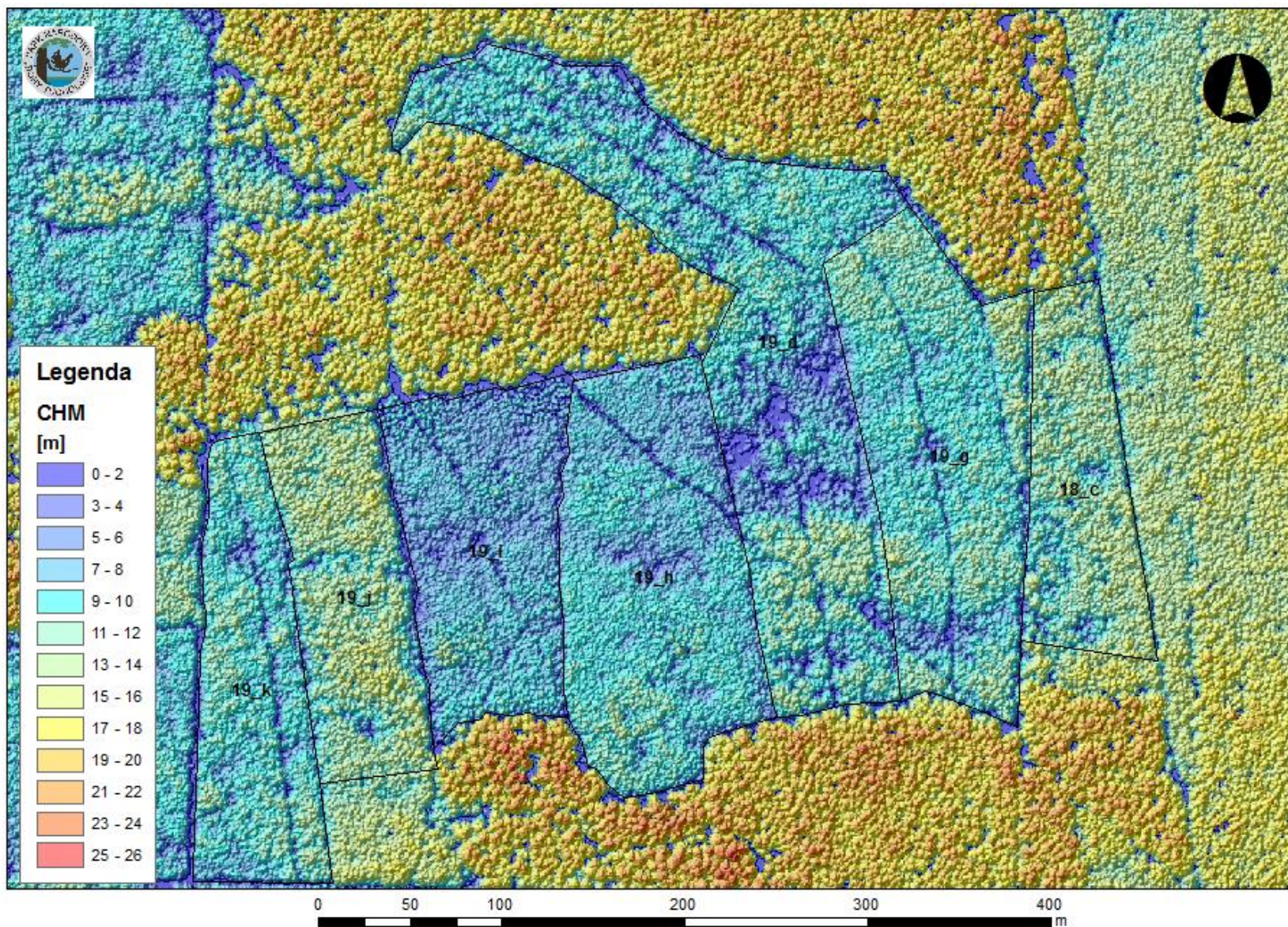


Numeryczny Model Terenu (NMT) GSD 0.5m – ULS 2018





zNMPT (CHM) ALS



Stabilizacja osnowy wysokościowej wraz z pomiarem GNSS (static)



ID	X_PL_1992 [m]	Y_PL_1992 [m]	Z_KRON86-NH [m]
1	404264,66	665348,49	143,16
2	404279,52	665398,78	145,09
3	404343,40	665368,46	142,57
4	404309,72	665589,33	145,30
5	404248,97	665582,96	144,63
6	404203,85	665649,54	144,52



Współrzędne osnowy wysokościowej w układzie PL-1992 oraz KRON86-NH [m]



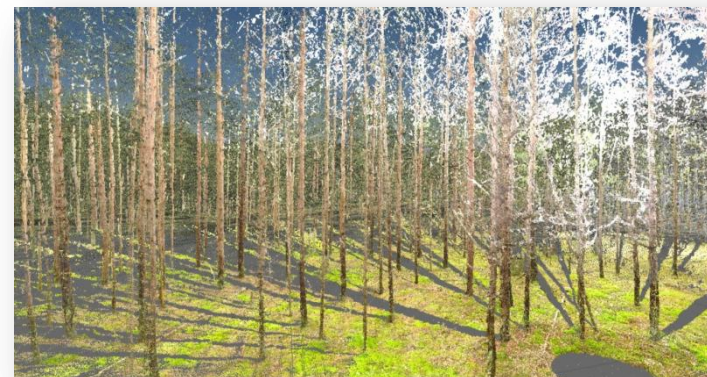
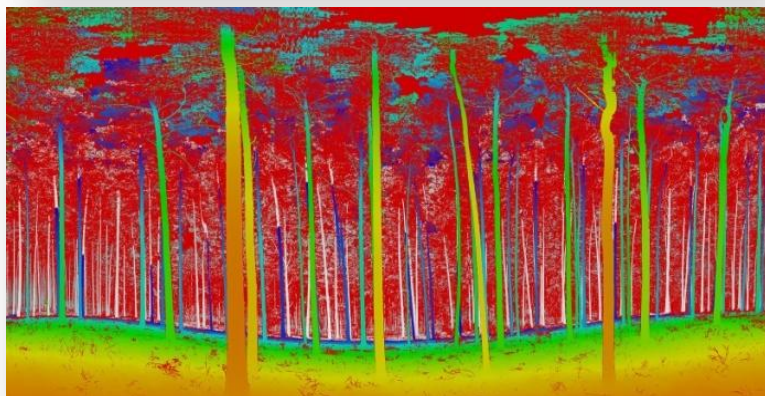
Stabilizacja w gruncie znaku geodezyjnego - betonowy słupek graniczny

Chmura punktów TLS naziemne skanowanie laserowe

W 2017 roku wykonano 196 skanów TLS a w 2018 roku 148 skanów - FARO FOCUS 3D.



Skaner FARO FOCUS 3D

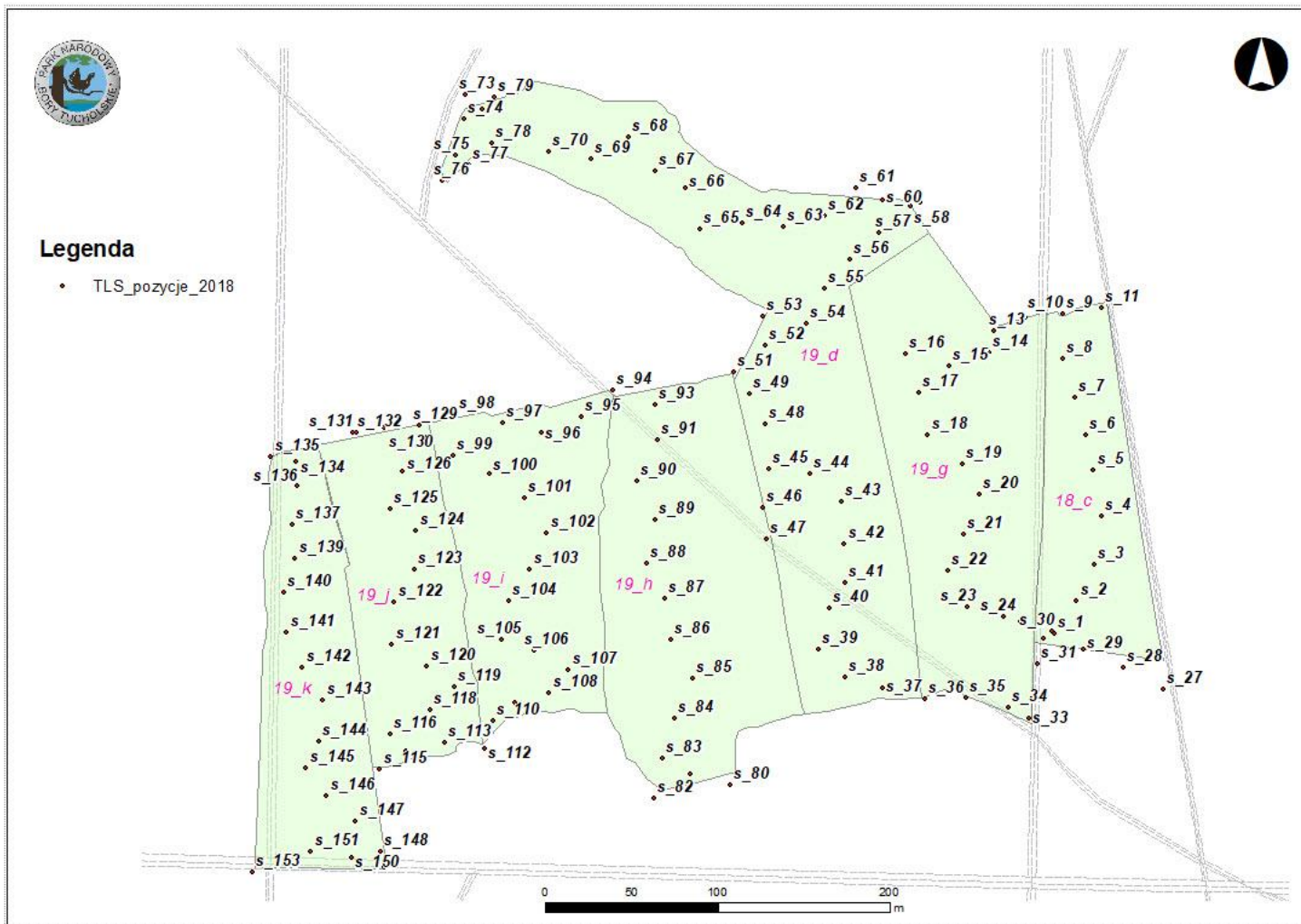


Widok planarny (front) chmury punktów w odcieniach szarości (Intensity) oraz filtr odległości

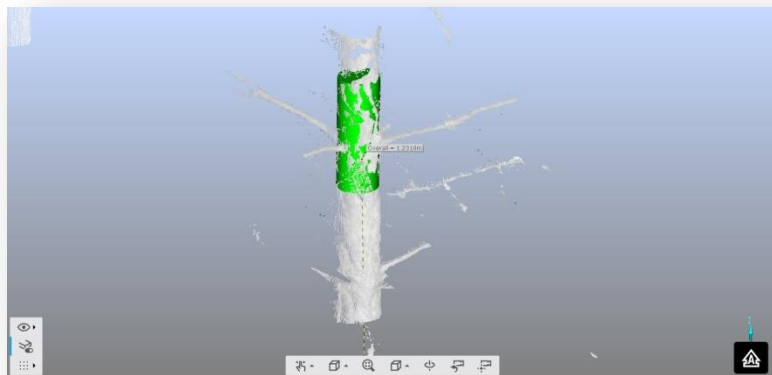
Chmura punktów RGB (FARO FOCUS 3D)



Mapa stanowisk TLS 2018 dowiązanie do osnowy wysokościowej



Chmura punktów 3D (TLS)



Przykład możliwości pomiaru pierśnicy drzewa na widoku 3D

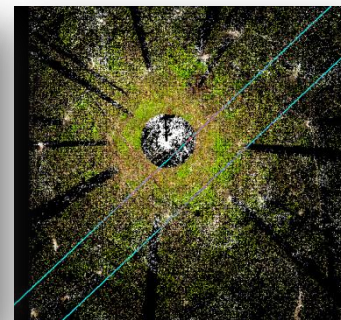


Widok 3D pokolorowanej wartościami RGB chmury punktów.



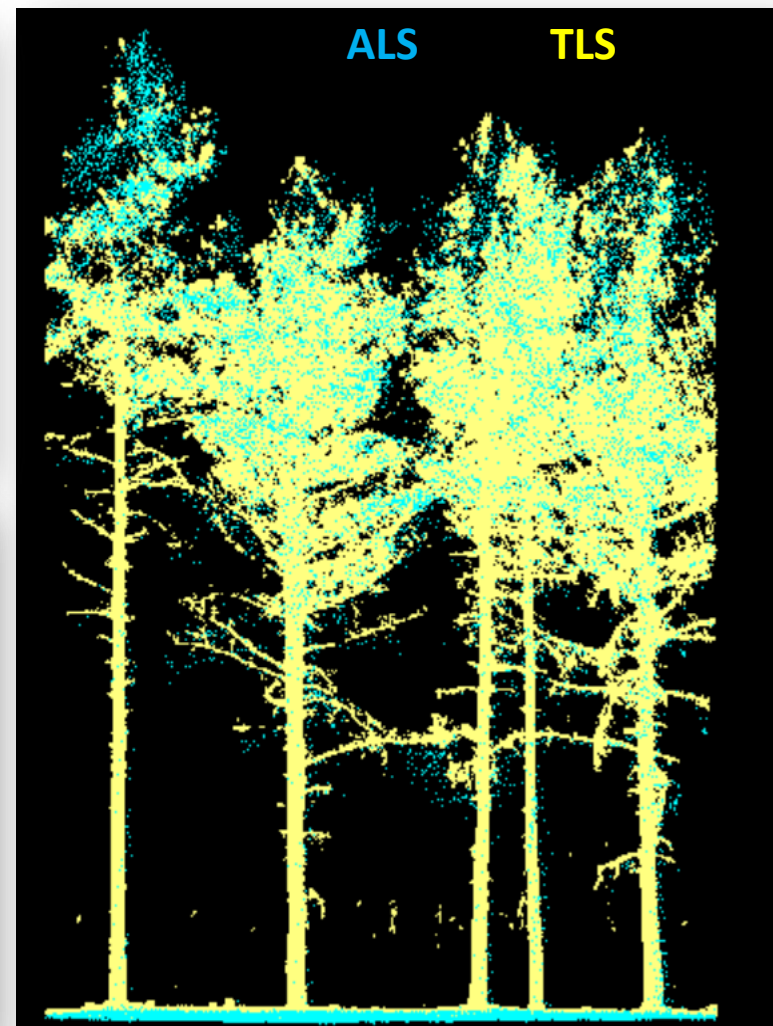
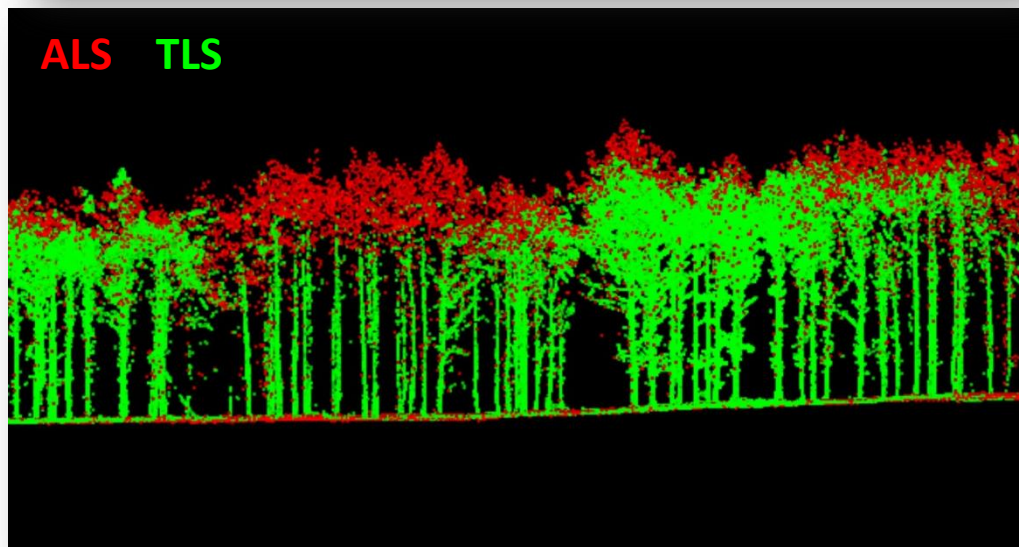
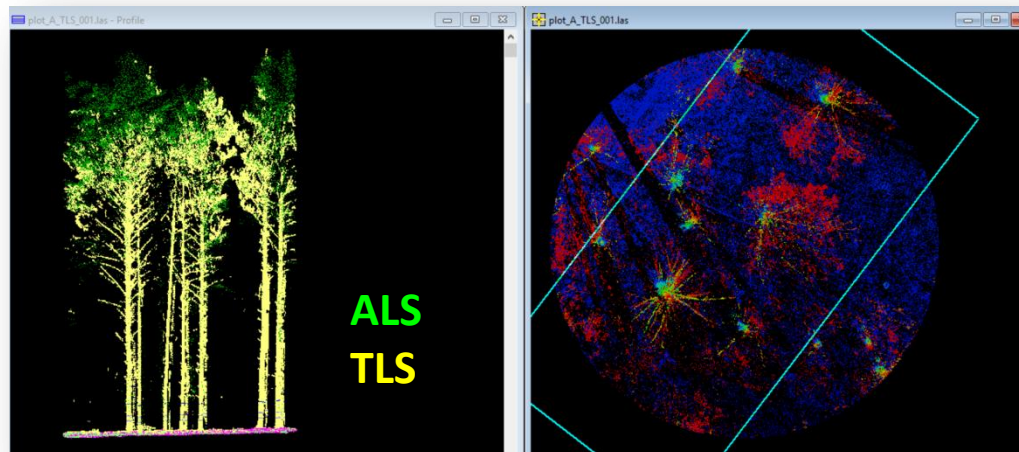


Chmura punktów TLS pokolorowana wartościami RGB



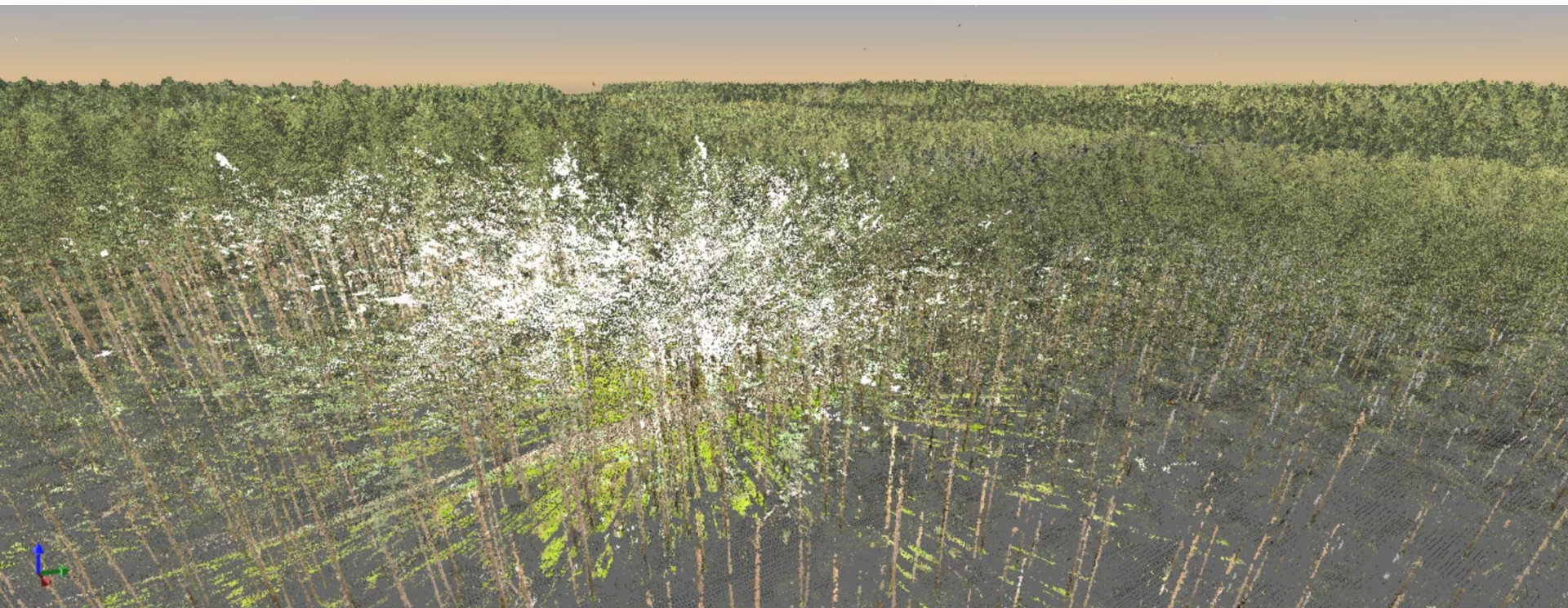


Integracja chmur punktów ALS i TLS

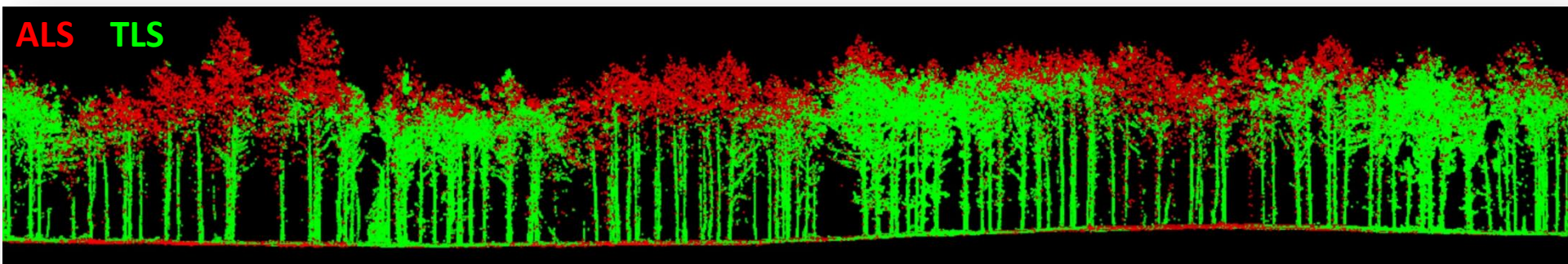




Integracja chmur punktów ALS i TLS



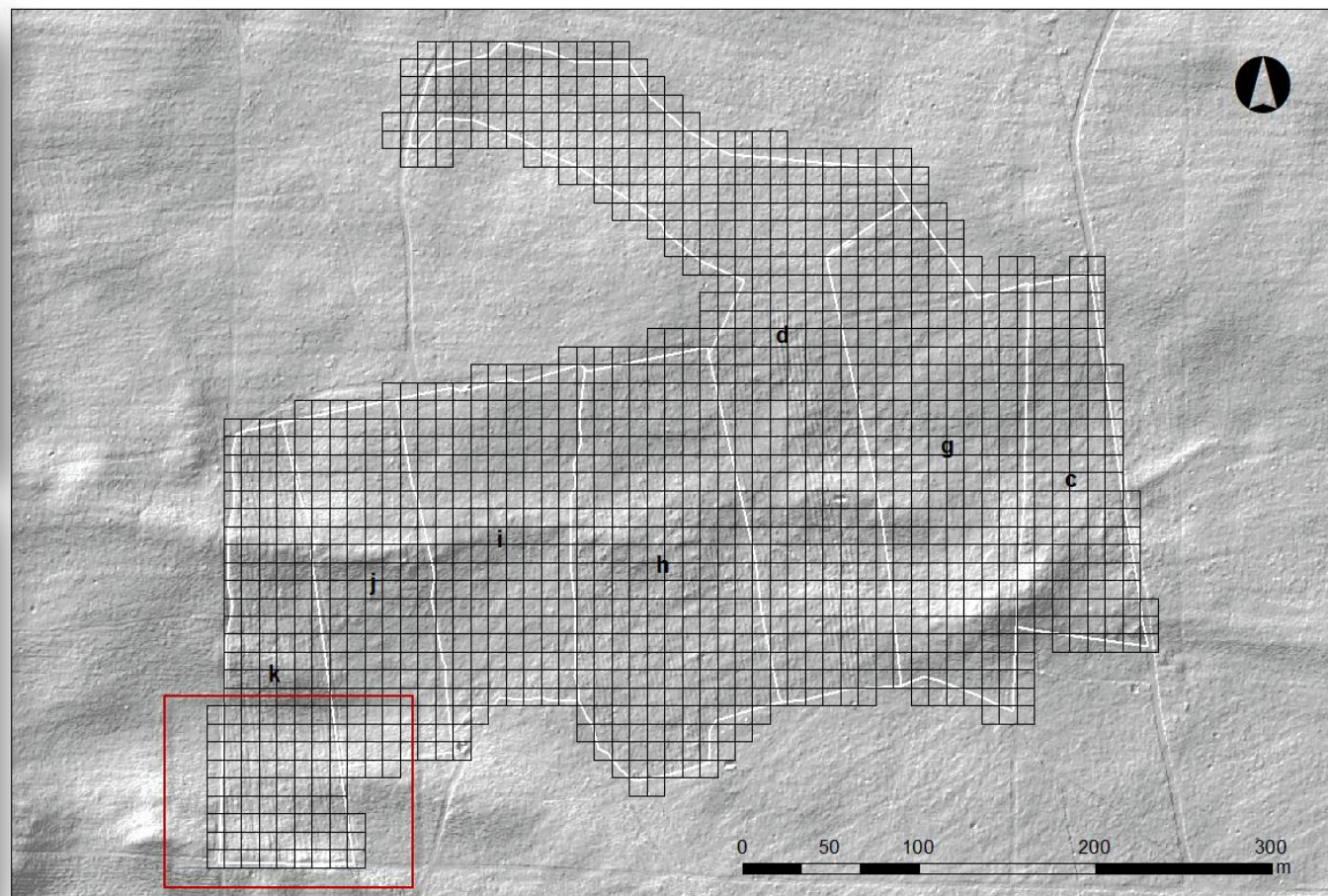
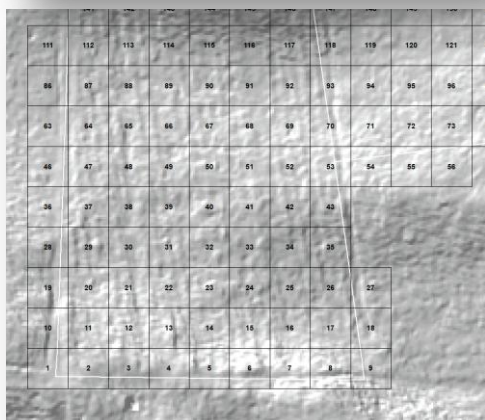
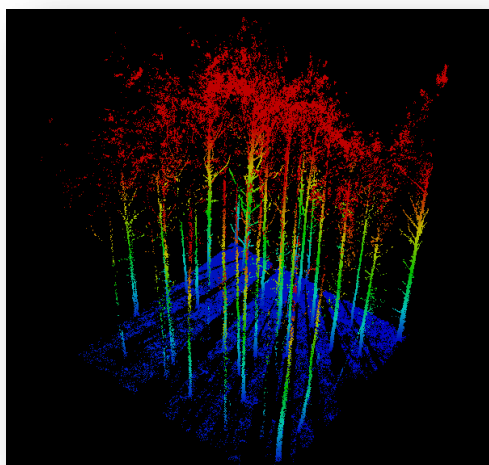
Zintegrowana chmura punktów ALS i TLS





Chmury punktów TLS (192 stanowiska) (Tiles 10x10m > 100 GB danych)

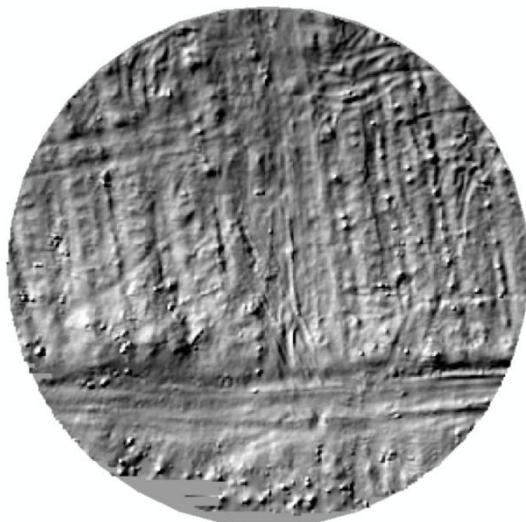
W celu ułatwienie postępowania się dużymi plikami danych TLS, utworzono siatkę poligonów o oczku 10mx10m, do których wczytano poszczególne skany (Tiles 10 x 10 m).



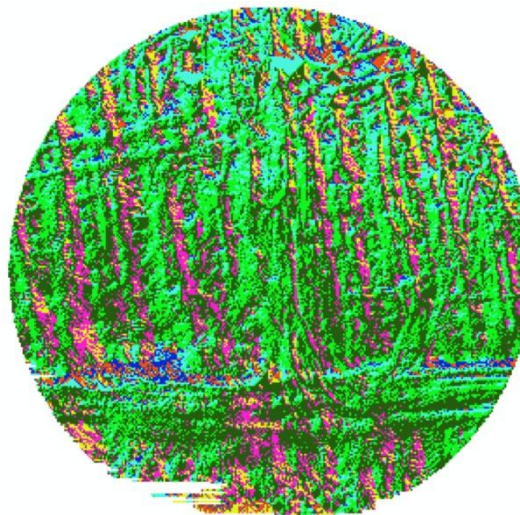
Podział na kafelki (tiles: 10x10m) z danymi TLS



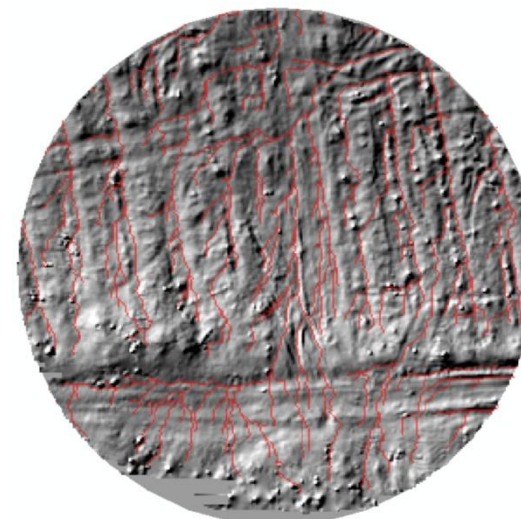
Mikrorelief NMT TLS - 2018



NMT hillshade (0,1 m)

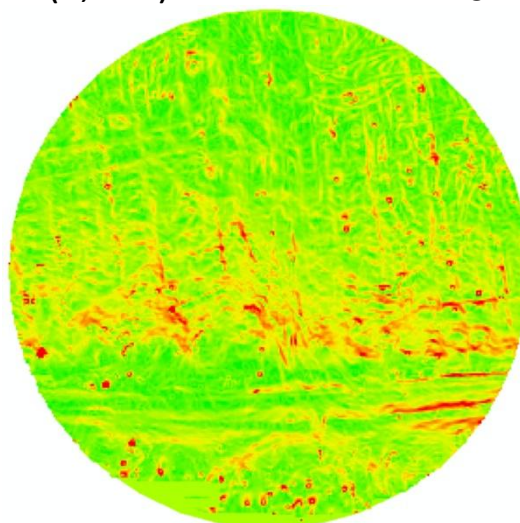


Flow direction (0,1 m)

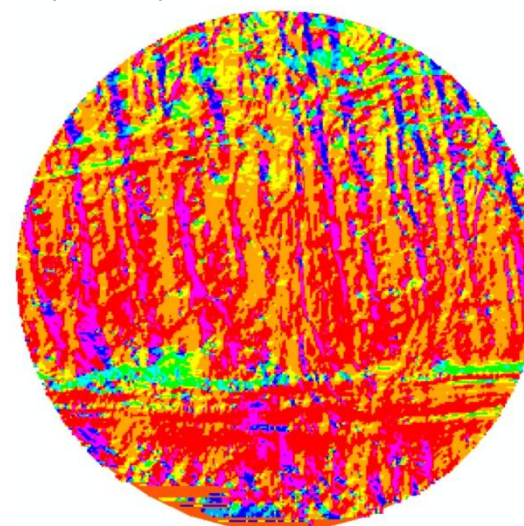


Flow accumulation (0,1 m)

slope_150.tif
Value
High : 48,4471
Low : 0



Slope

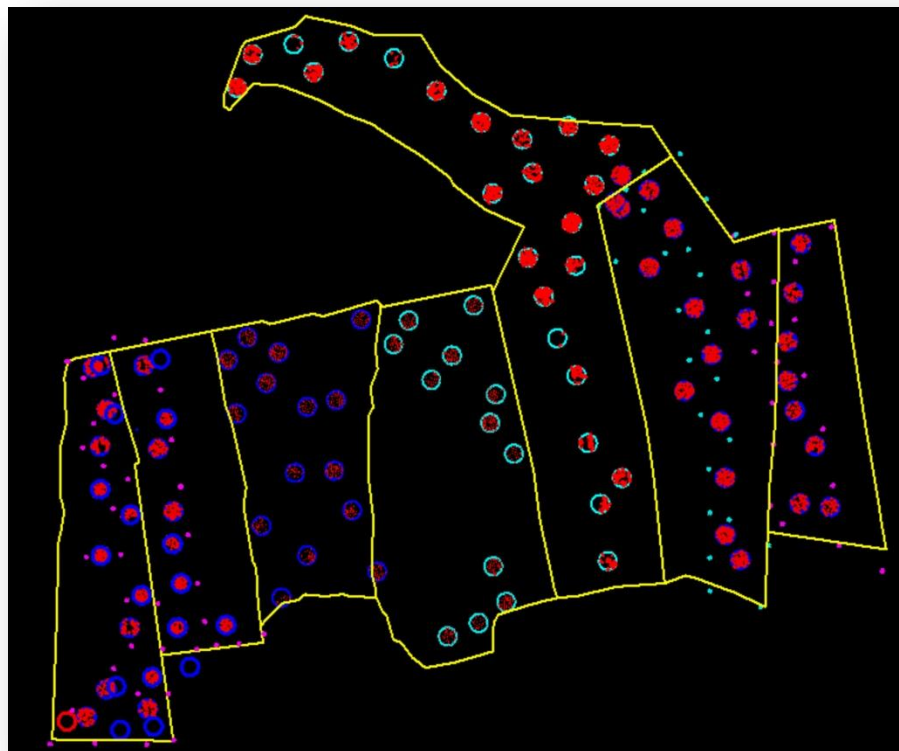


Aspect

- 150_aspect
- Flat (-1)
- North (0-22.5)
- Northeast (22.5-67.5)
- East (67.5-112.5)
- Southeast (112.5-157.5)
- South (157.5-202.5)
- Southwest (202.5-247.5)
- West (247.5-292.5)
- Northwest (292.5-337.5)
- North (337.5-360)

Analizy cech biometrycznych i innych parametrów drzewostanu na podstawie chmur punktów TLS

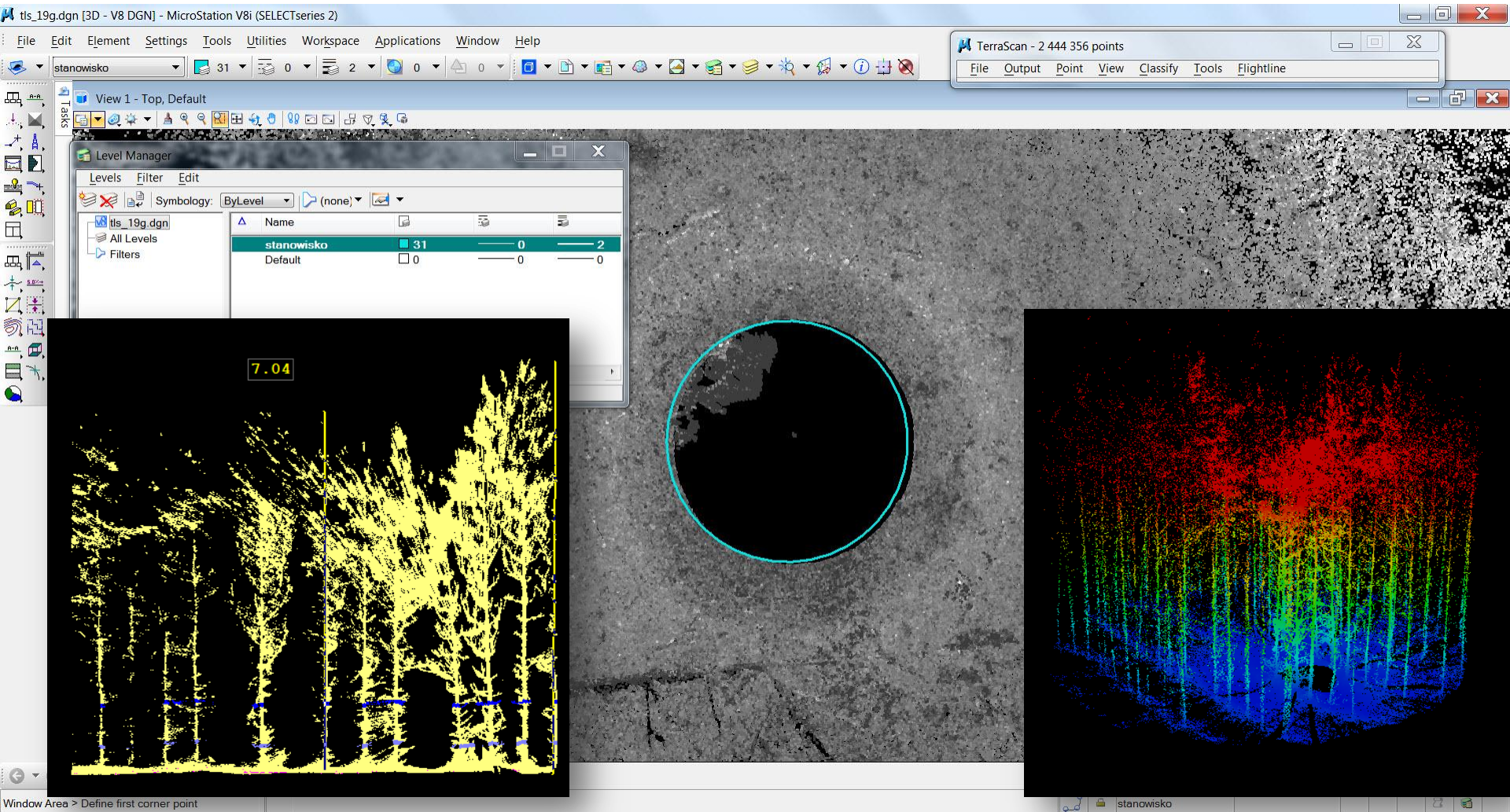
Dla każdego analizowanego pola testowego w wydzieleniu obliczono: N – ilość pni w polu testowym; N/ha - średnią liczbę pni na 1 hektar (zagęszczenie drzew), D_mean [cm] – średnią pierśnicę drzewa; P_D [cm²]_{mean} - średnią powierzchnię pierśnicowego pola przekroju, g [m²] - sumę przekroju średnicowego, G - pierśnicowe pole przekroju drzewostanu (m²/ha).



Pole testowe	N	N/ha	D_mean	P_D_mean	Y	g
18c_01	33	3300	12,1	124,8	0,4119	41,19
18c_02	30	3000	12,4	131,1	0,3932	39,32
18c_03	33	3300	10,3	96,2	0,3174	31,74
18c_04	34	3400	9,6	84,4	0,2870	28,70
18c_05	27	2700	10,6	98,6	0,2736	27,36
18c_06	33	3300	10,9	107,2	0,3463	34,63
18c_07	37	3700	10,0	86,7	0,3208	32,08
18c_08	28	2800	11,4	112,5	0,3150	31,50
ŚREDNIA	32	3188	10,9	105,2	0,3332	33,32



Analizy cech biometrycznych TLS Microstation V8 i



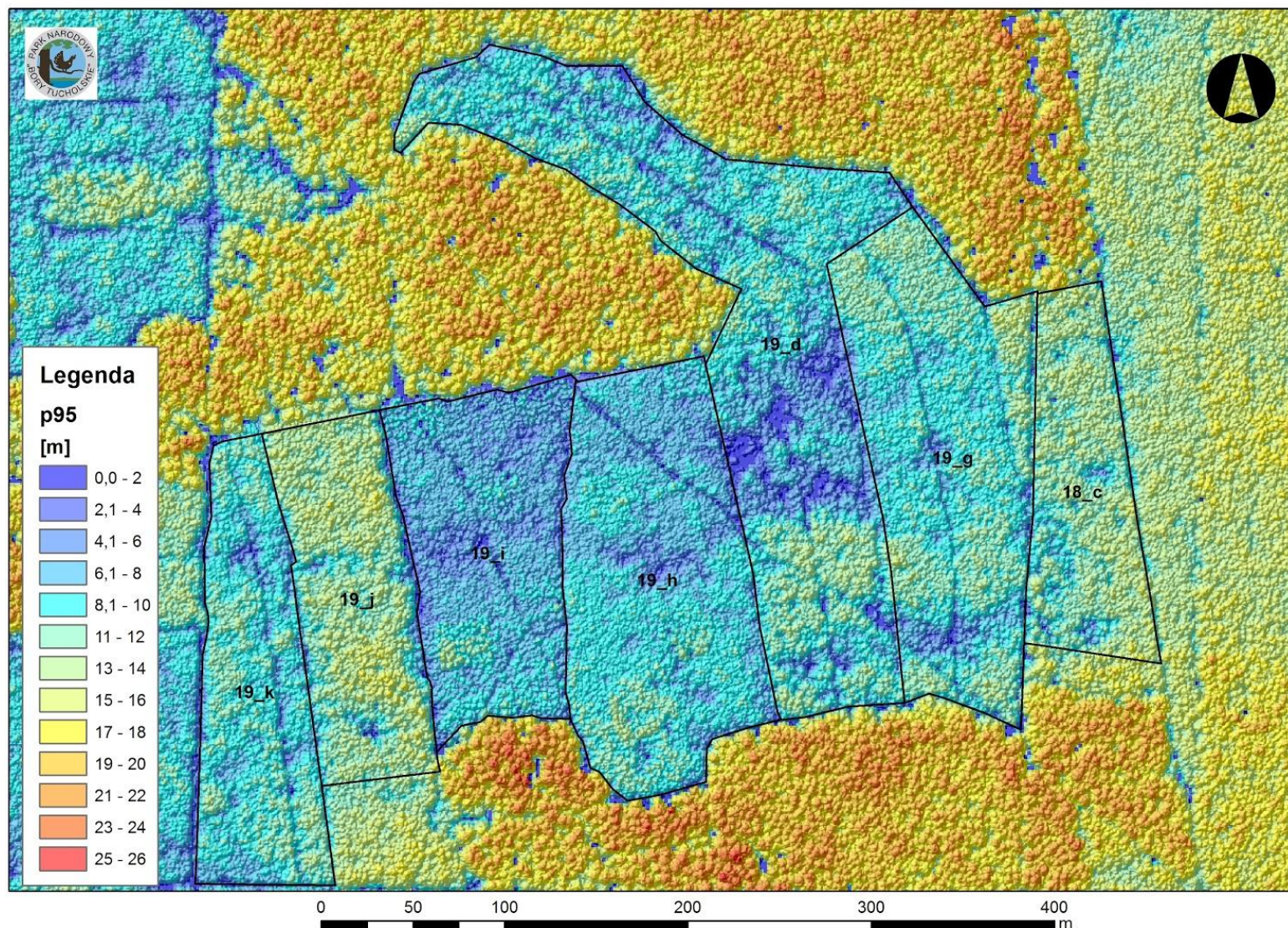


Wyniki obliczeń cech taksacyjnych oraz parametrów biometrycznych na podstawie ALS

Nazwa angielska	Nazwa polska + objaśnienie
<i>Elev.maximum</i>	Wartość maksymalna rzędnej Z punktów ALS
<i>Elev.mean</i>	Średnia wysokość zbioru punktów w chmurze ALS (metry nad gruntem)
<i>Median</i>	Mediana wartości rzędnej Z punktów ALS
<i>Elev.mode</i>	Wartość modalna rzędnej Z punktów ALS
<i>Elev.stddev</i>	Odchylenie standardowe rzędnej Z punktów ALS
<i>Elev.variance</i>	Wariancja rzędnej Z punktów ALS
<i>Elev.CV</i>	Współczynnik zmienności rzędnej Z punktów ALS
<i>Canopy.relief.ratio (CRR)</i>	Wskaźnik opisujący relief okapu drzewostanu
<i>Cover</i>	Udział procentowy pierwszych (FE) odbić lasera > 0.5 m nad gruntem w całkowitej liczbie pierwszych odbić lasera (FE) dla analizowanego wydzielenia
<i>Penetration</i>	Udział procentowy pierwszych (FE) odbić lasera < 0.5 m nad gruntem w całkowitej liczbie pierwszych odbić lasera (FE) dla analizowanego wydzielenia
<i>Elev.P05, Elev.P1, 0Elev.P20, Elev.P25, Elev.P30, Elev.P40, Elev.P50, Elev.P60, Elev.P70, Elev.P75, Elev.P80, Elev.P90, Elev.P95, Elev.P99</i>	Percentyl rzędnej Z punktów ALS oznaczające wysokość nad gruntem poniżej, której znajduje się określony procent punktów z całej analizowanej jej populacji

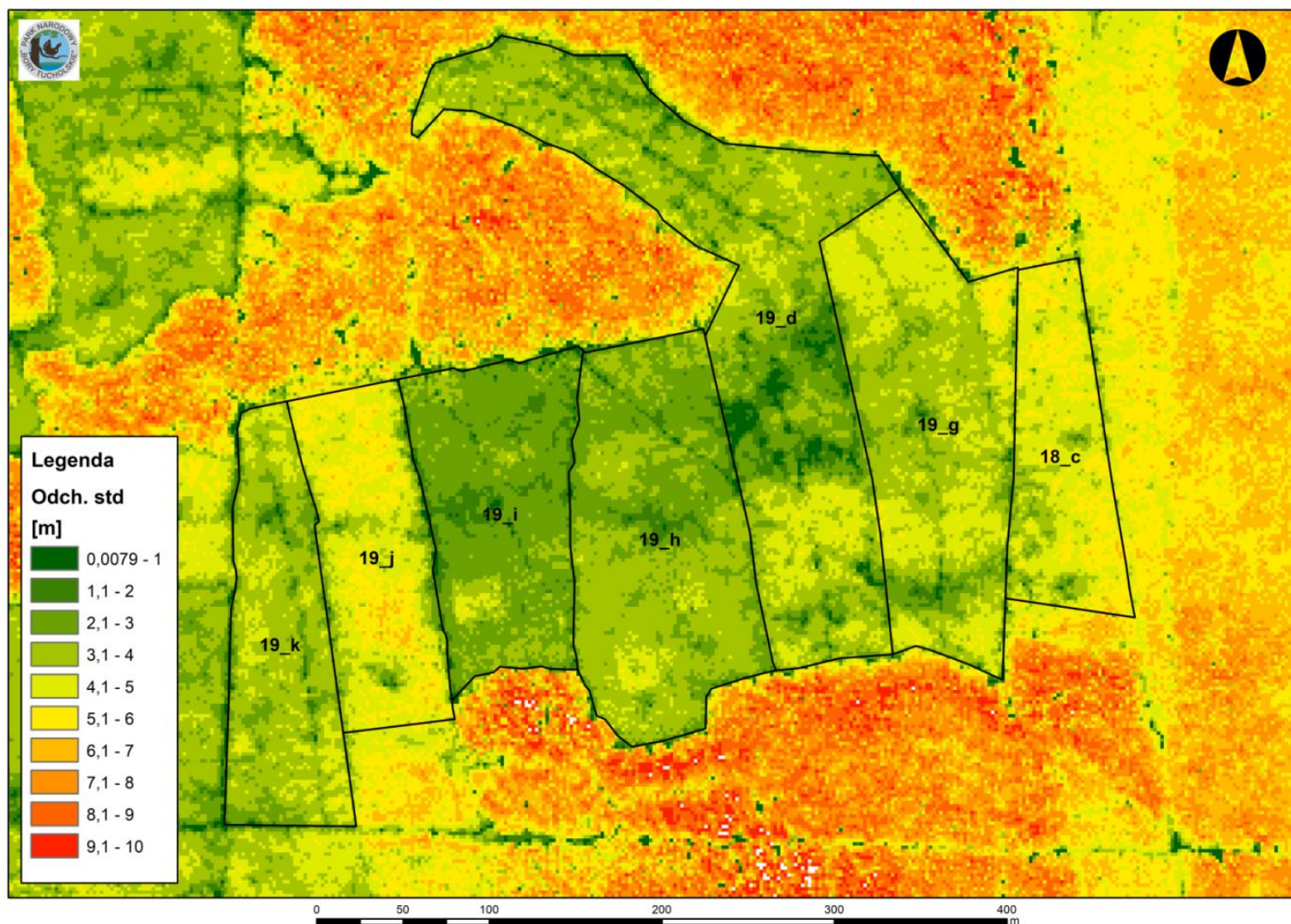


Wysokość drzewostanów (ALS p95)



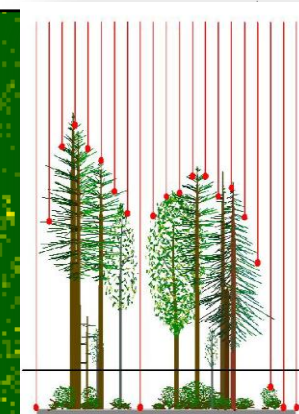
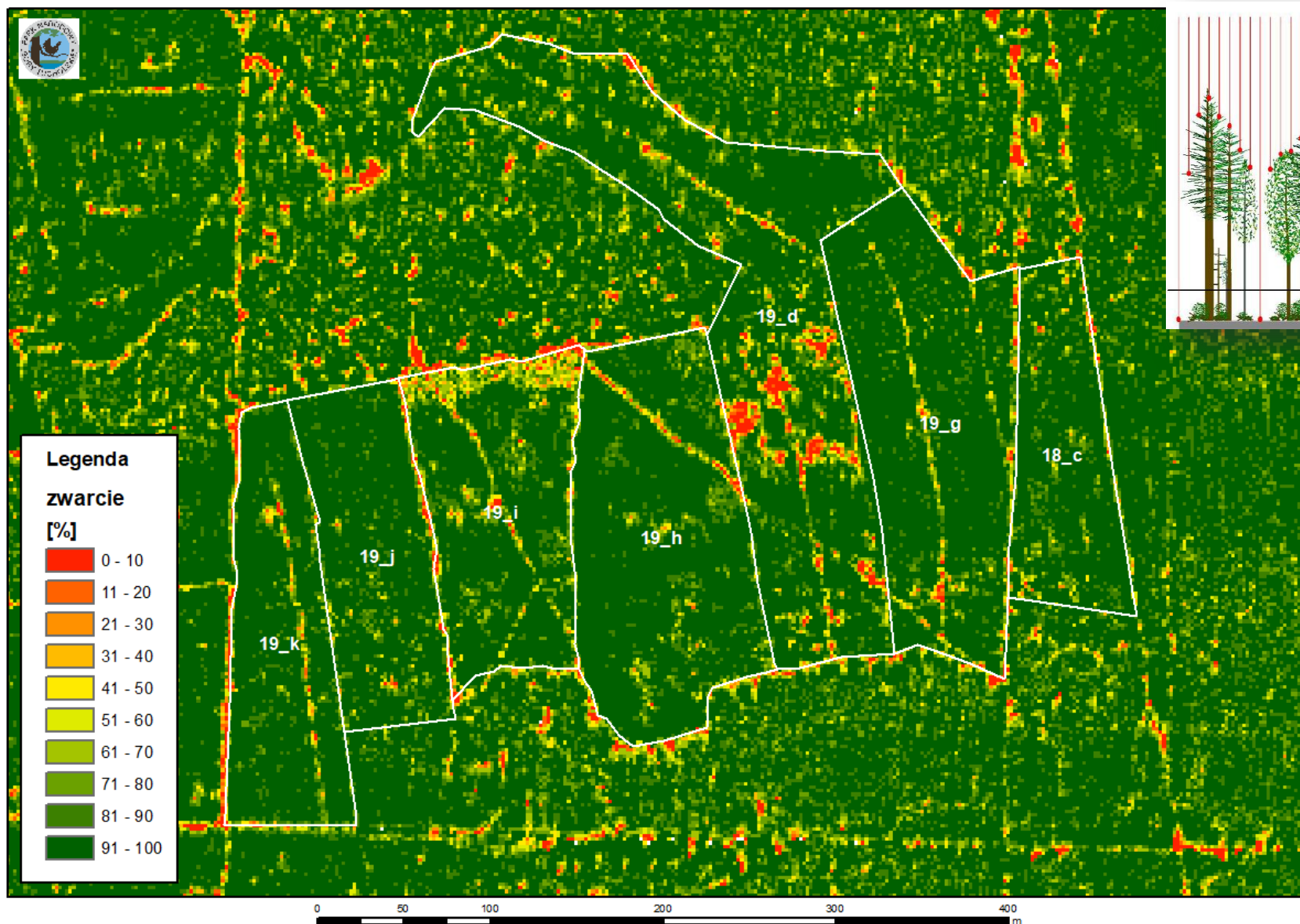


Wysokość ALS odchylenie standardowe





Zwarcie koron – ALS 2017





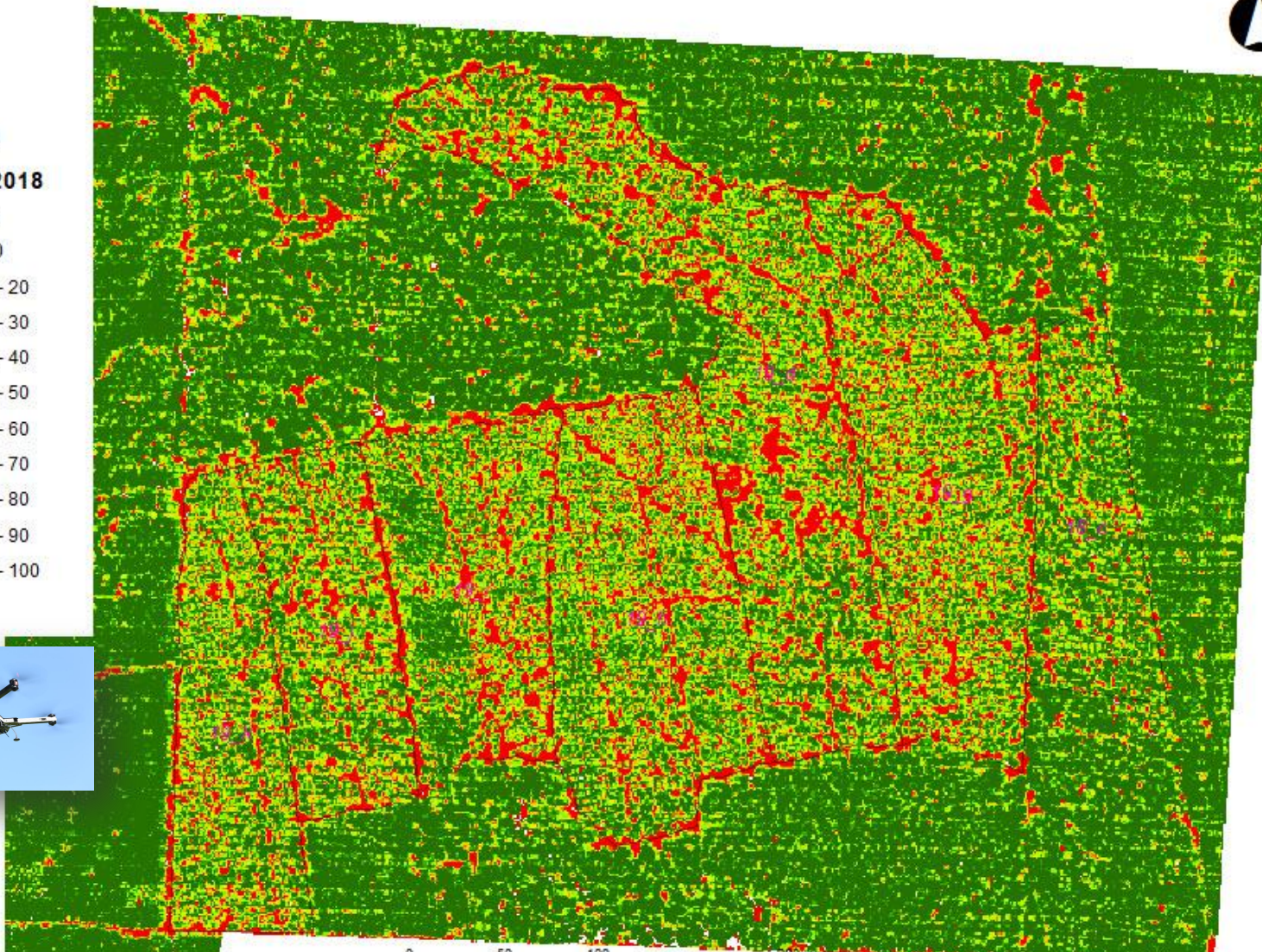
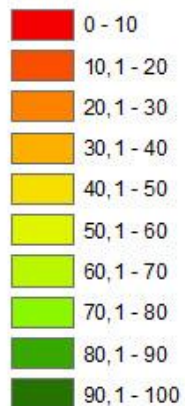
Zwarcie koron – ULS 2018



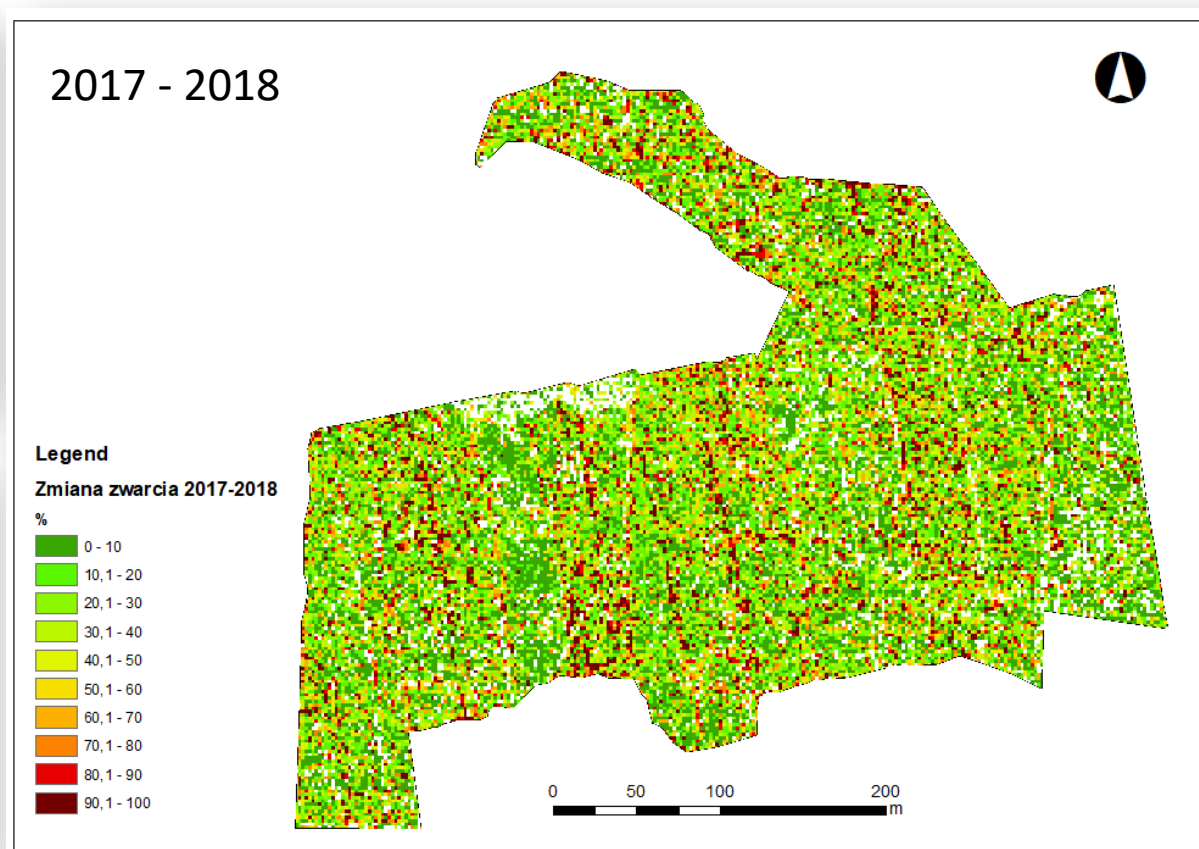
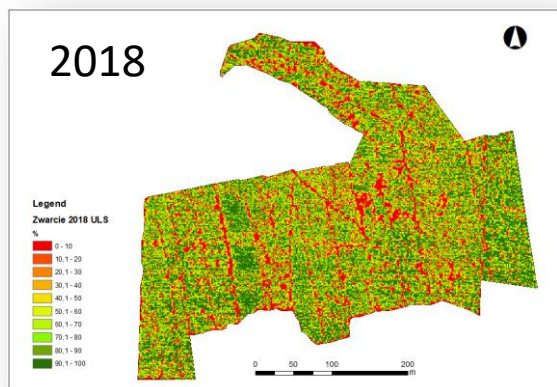
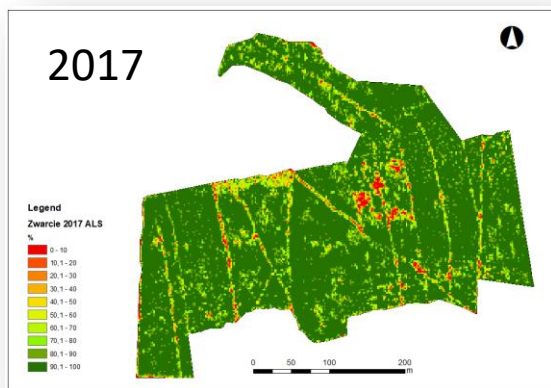
Legenda

Zwarcie 2018

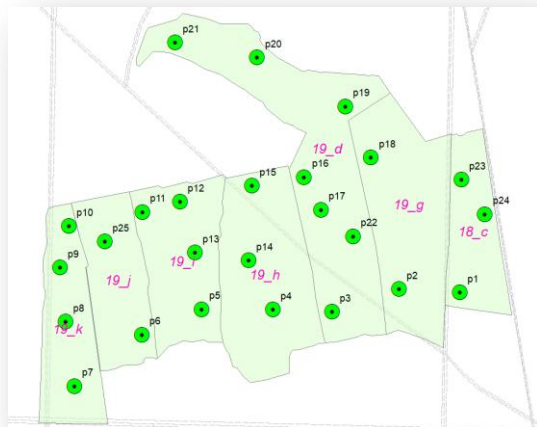
<VALUE>



Zwarcie poziome koron drzew Zmiany 2017-2018



Zmiana zwarcia koron drzew na powierzchniach monitoringowych



Zabiegi ochrony czynnej



ID	średnia różnica %
1	28,13
2	44,80
3	28,73
4	29,28
5	41,44
6	23,54
7	27,50
8	40,66
9	32,31
10	27,80
11	11,68
12	29,95
13	30,98
14	34,98
15	33,33
16	28,89
17	8,57
18	36,19
19	26,39
20	34,87
21	29,57
22	20,75
23	31,40
24	11,37
25	25,96
	28,76



Analiza objętości koron drzew, objętości przestrzeni podokapowej i zwarcia 2017

Objętość koron drzew oraz objętość przestrzeni podokapowej

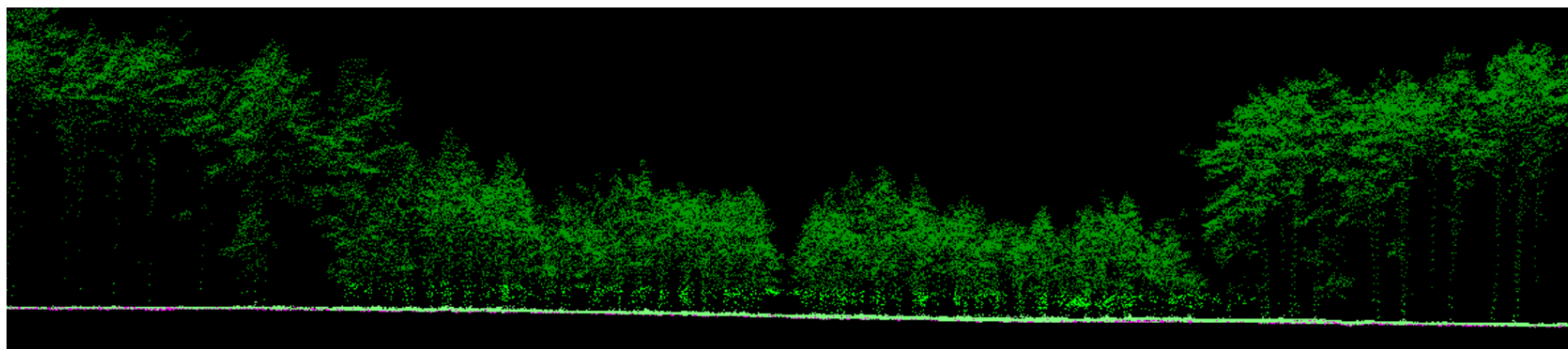
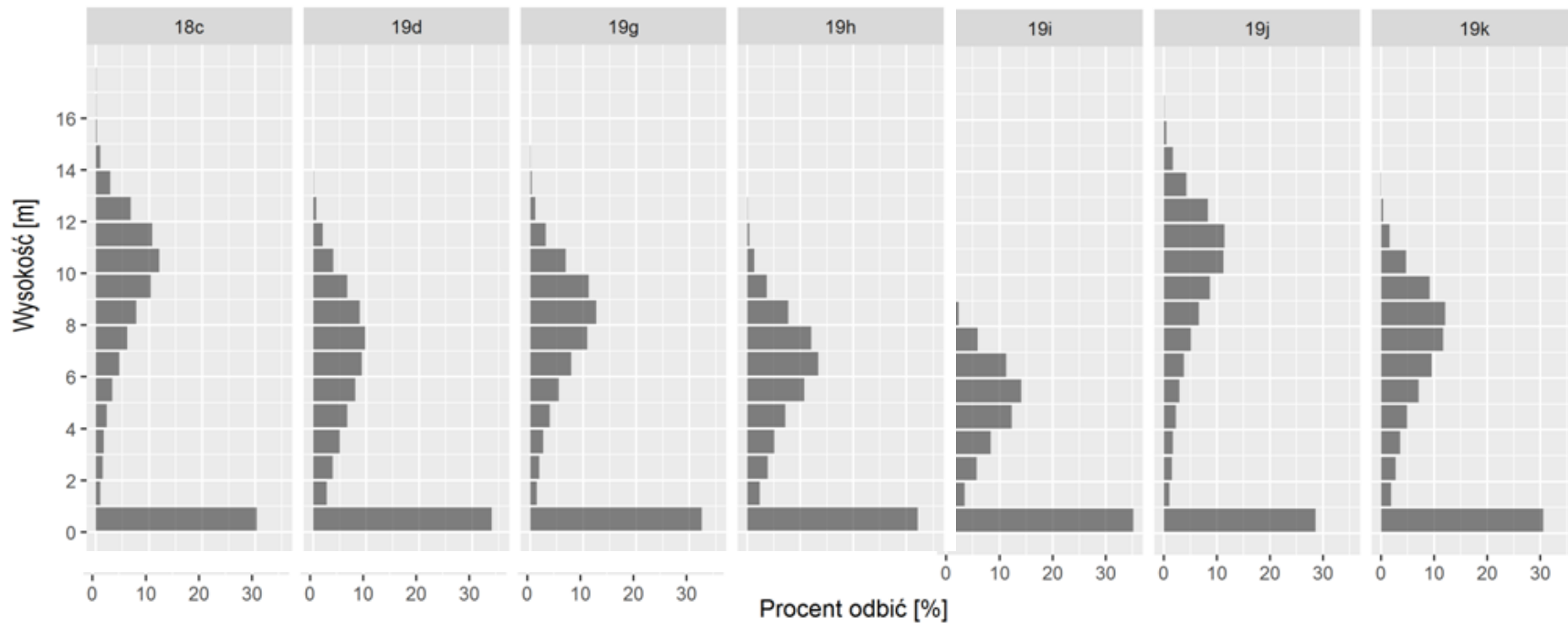
Zwarcie drzewostanu

Wydzielenie	V cz. koronowej [m ³]	V cz. podkoronowej [m ³]	Suma V [m ³]	Część koronowa [%]	Część podkoronowa [%]
19g	79610,4	123781,2	203391,6	39,1	60,9
19h	110469,1	65158,9	175628	62,9	37,1
19i	62319,1	44913	107232,1	58,1	41,9
19k	50970,6	69993	120963,6	42,1	57,9
19j	53777,9	93512,3	147290,2	36,5	63,5
19d	114498,6	142040	256538,6	44,6	55,4
18c	46820,7	74905,3	121726	38,5	61,5

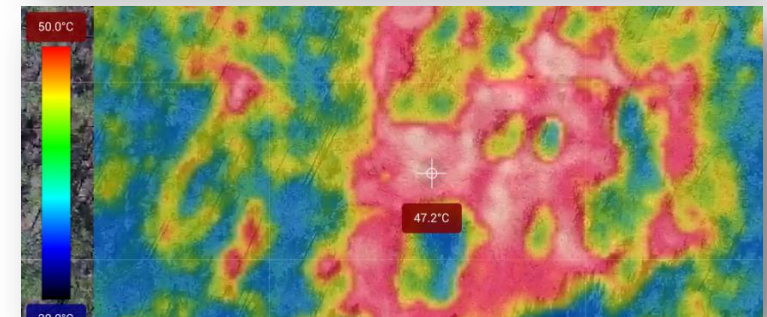
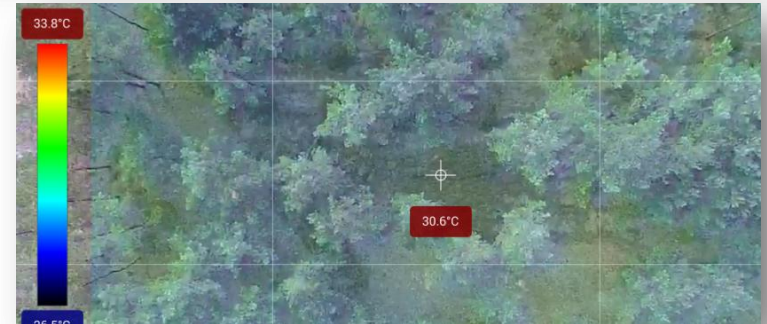
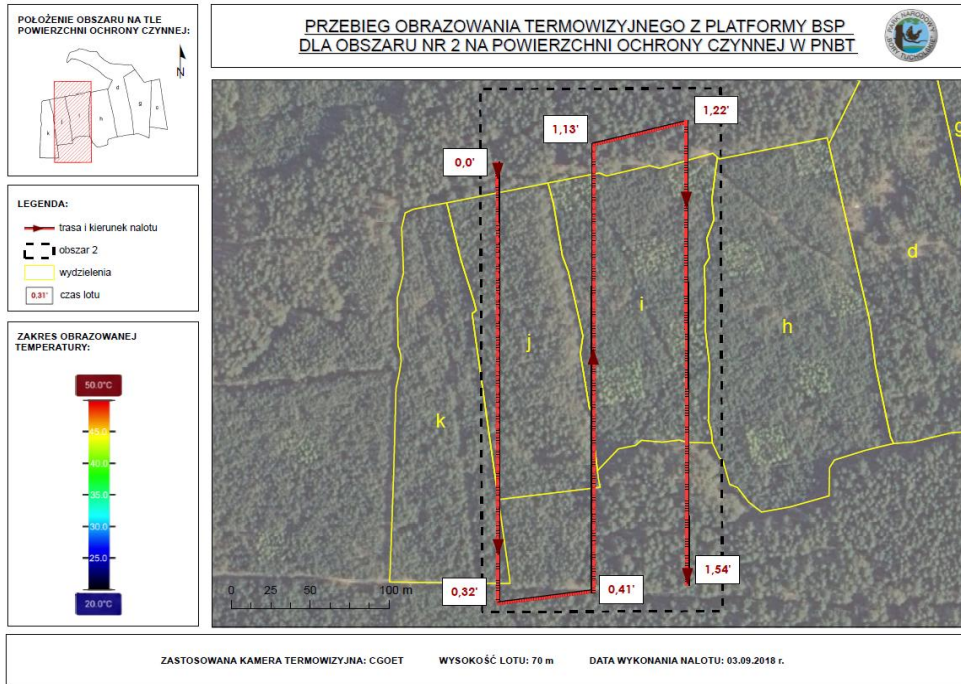
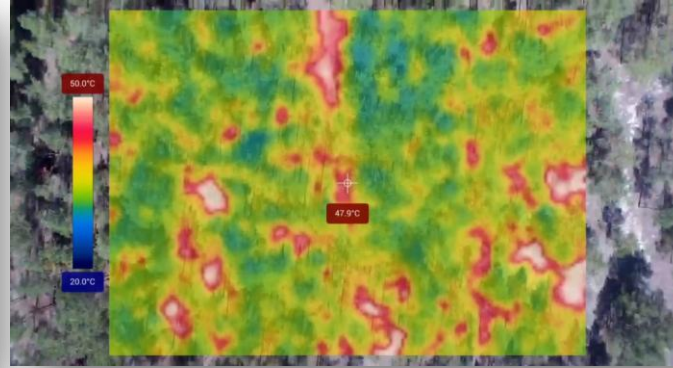
Wydzielenie	Zwarcie [%]
18c	82,2
19d	71,62
19g	80,78
19h	89,21
19i	82,07
19j	79,97
19k	81,63

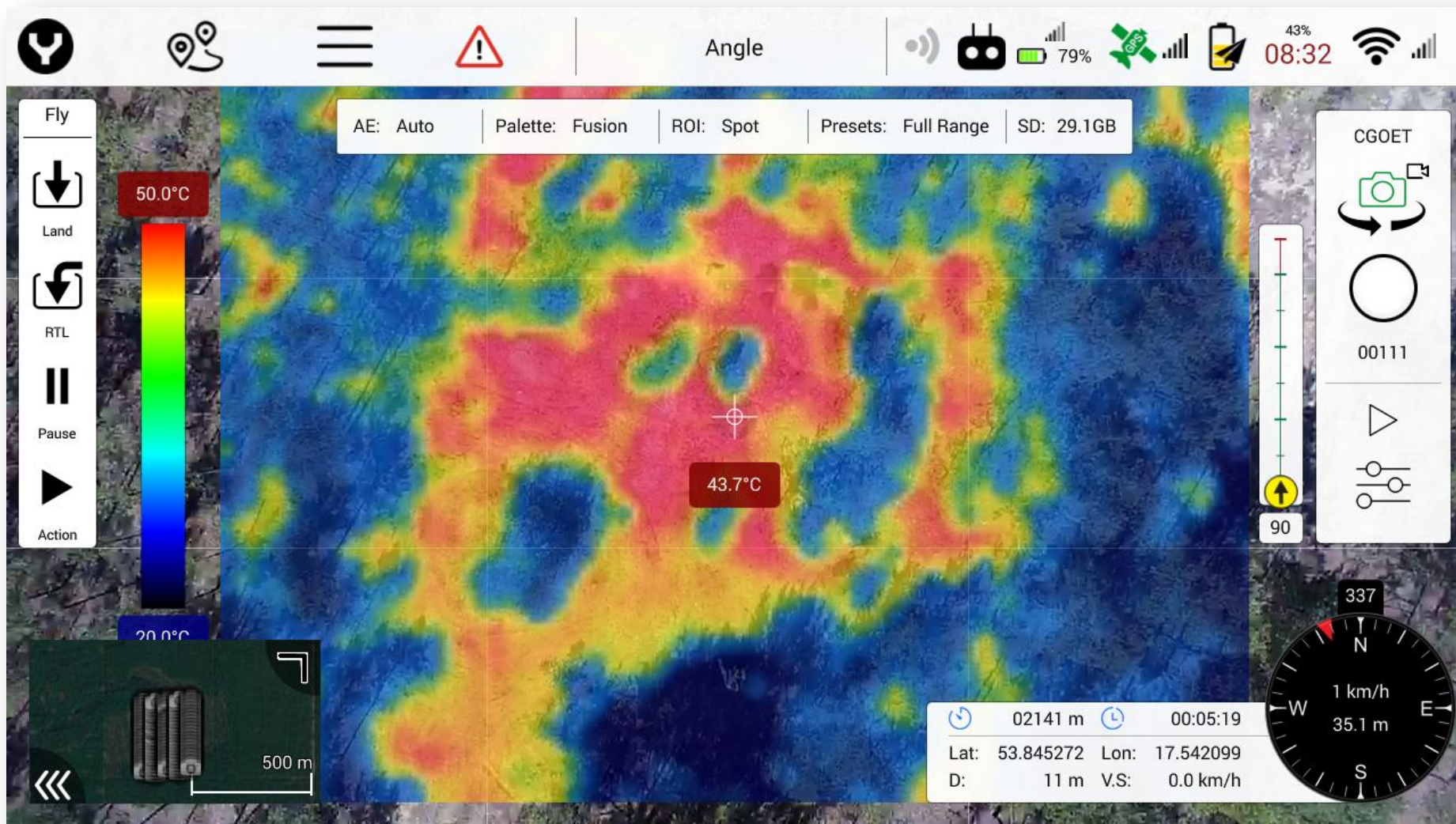


Histogramy ALS 2017



Zobrazowania termalne ULS H520 + CGOET





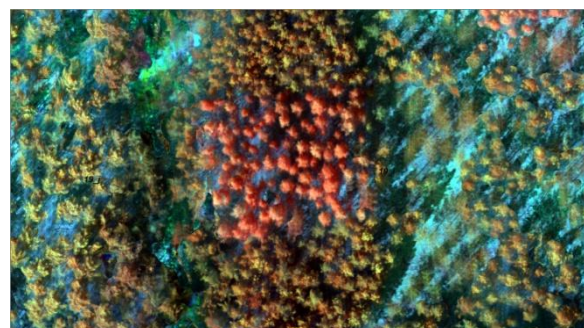
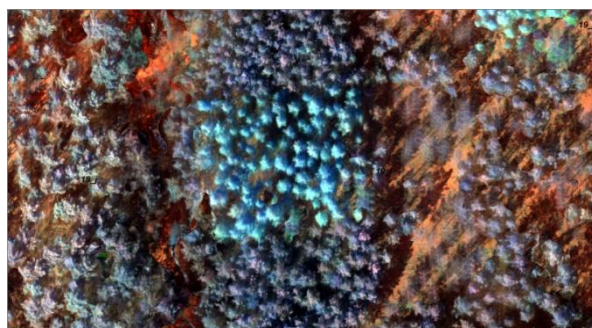
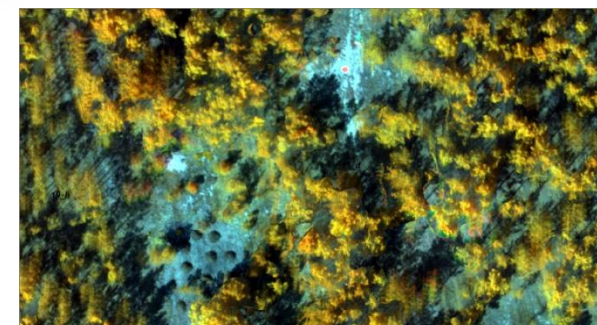
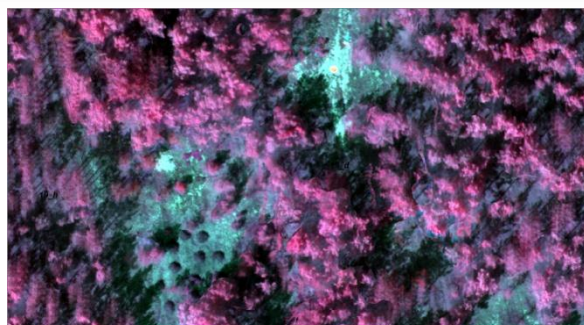
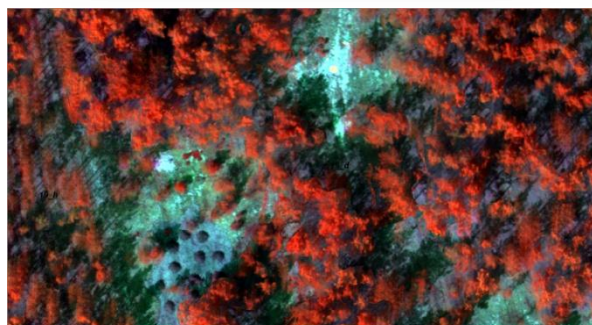
Yuneec H520 + kamera CGOET (160x120 pix)



Zobrazowania wielopsekttralne MicaSence RedEdge-M

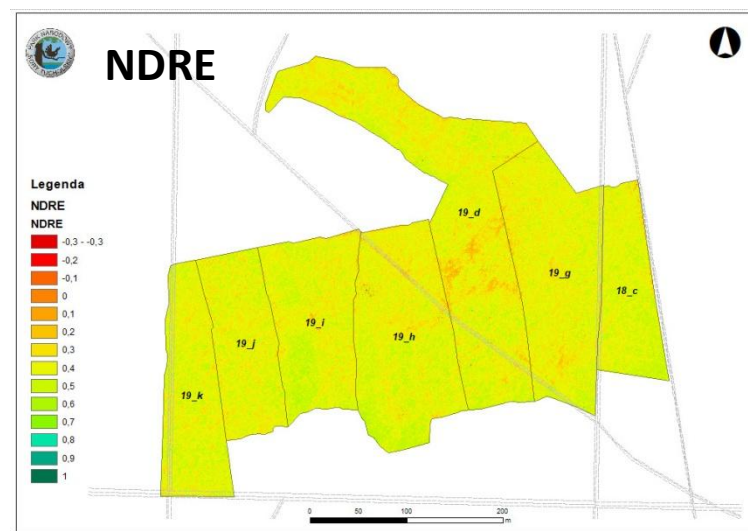
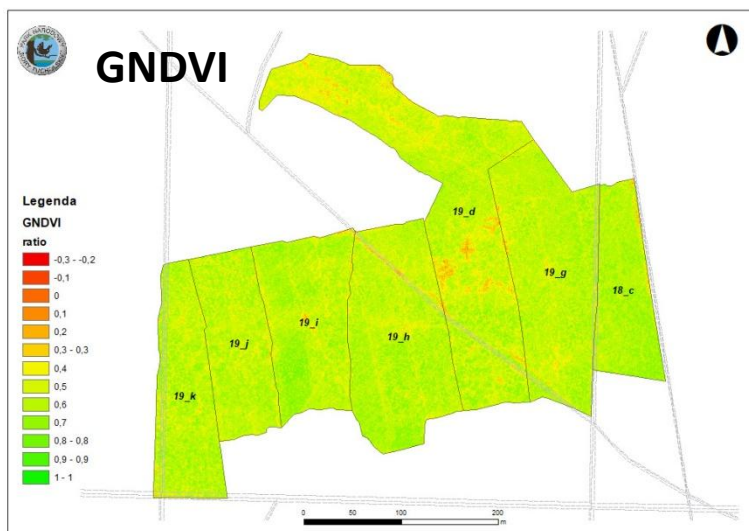
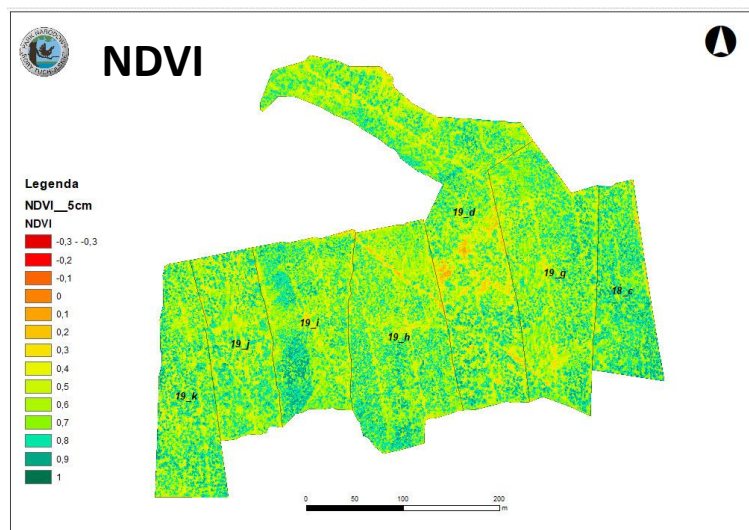


**Blue + Green + Red +
RedEdge + Near InfraRed**



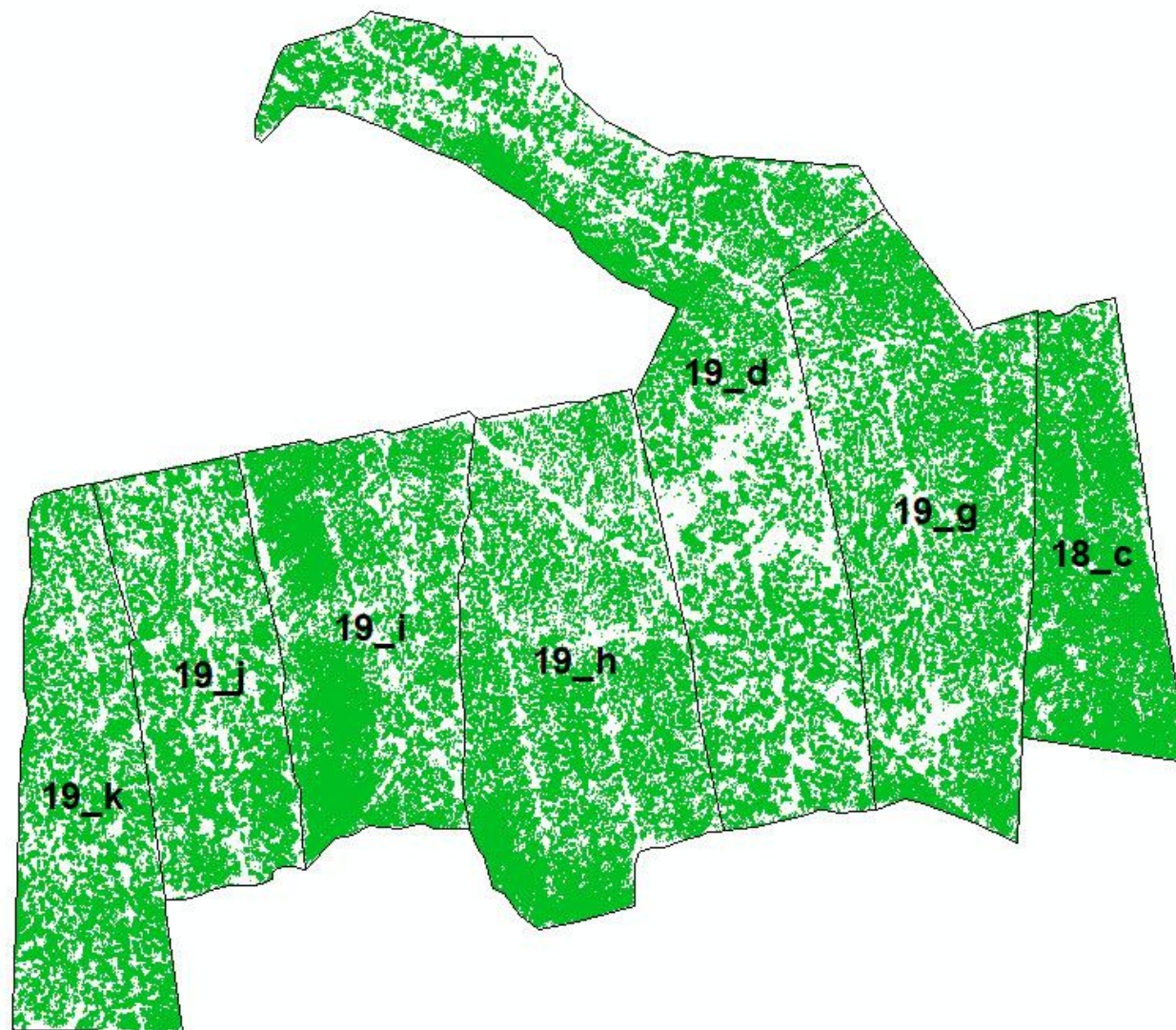


Wskaźniki roślinne - 2018





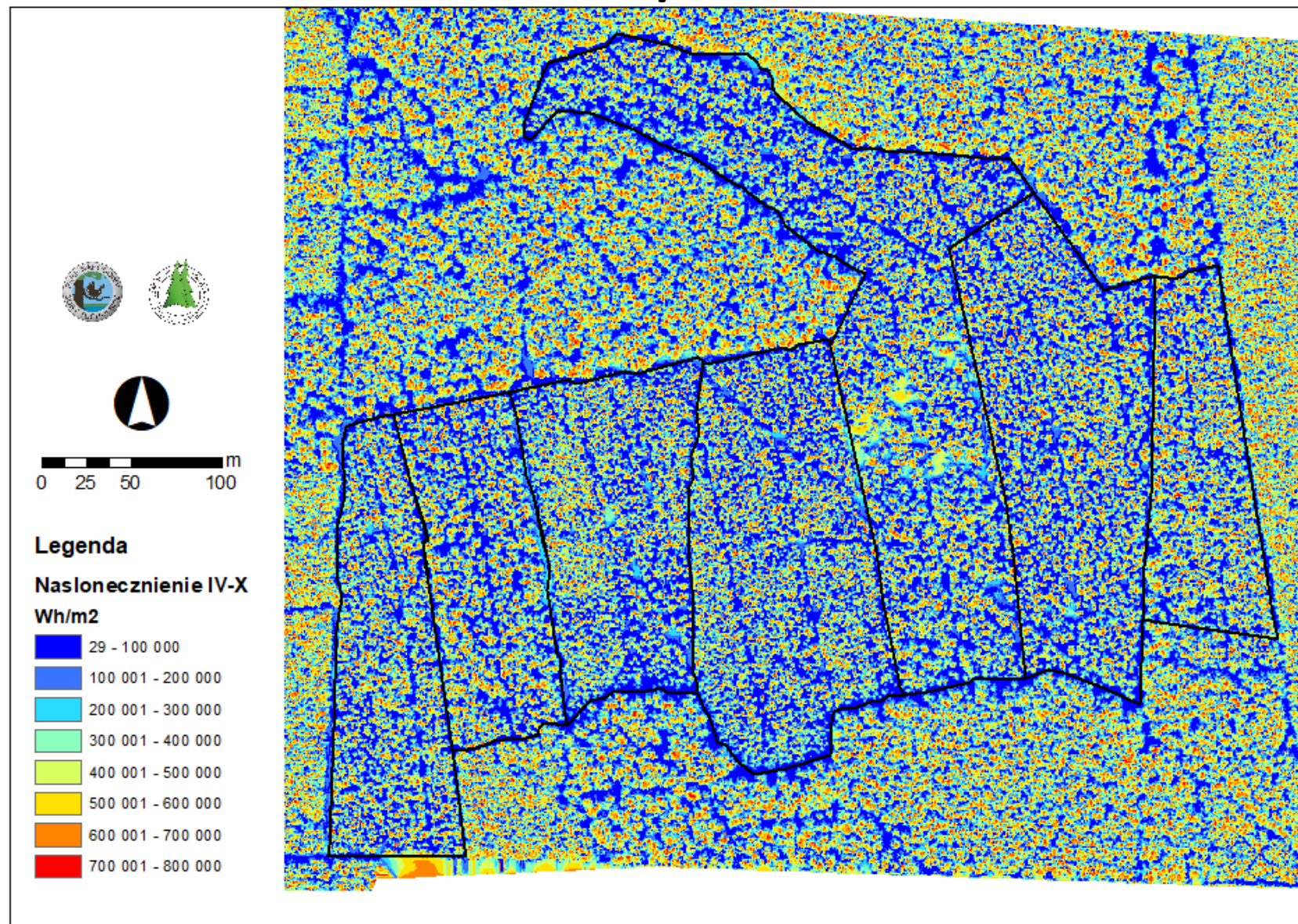
Mapa koron drzew (NDVI > 0,55)



WYDZ	las_ %	nlas_ %
18_c	82,3	17,7
19_d	57,2	42,8
19_g	64,5	35,5
19_h	64,0	36,0
19_i	69,8	30,2
19_j	61,8	38,2
19_k	64,9	35,1

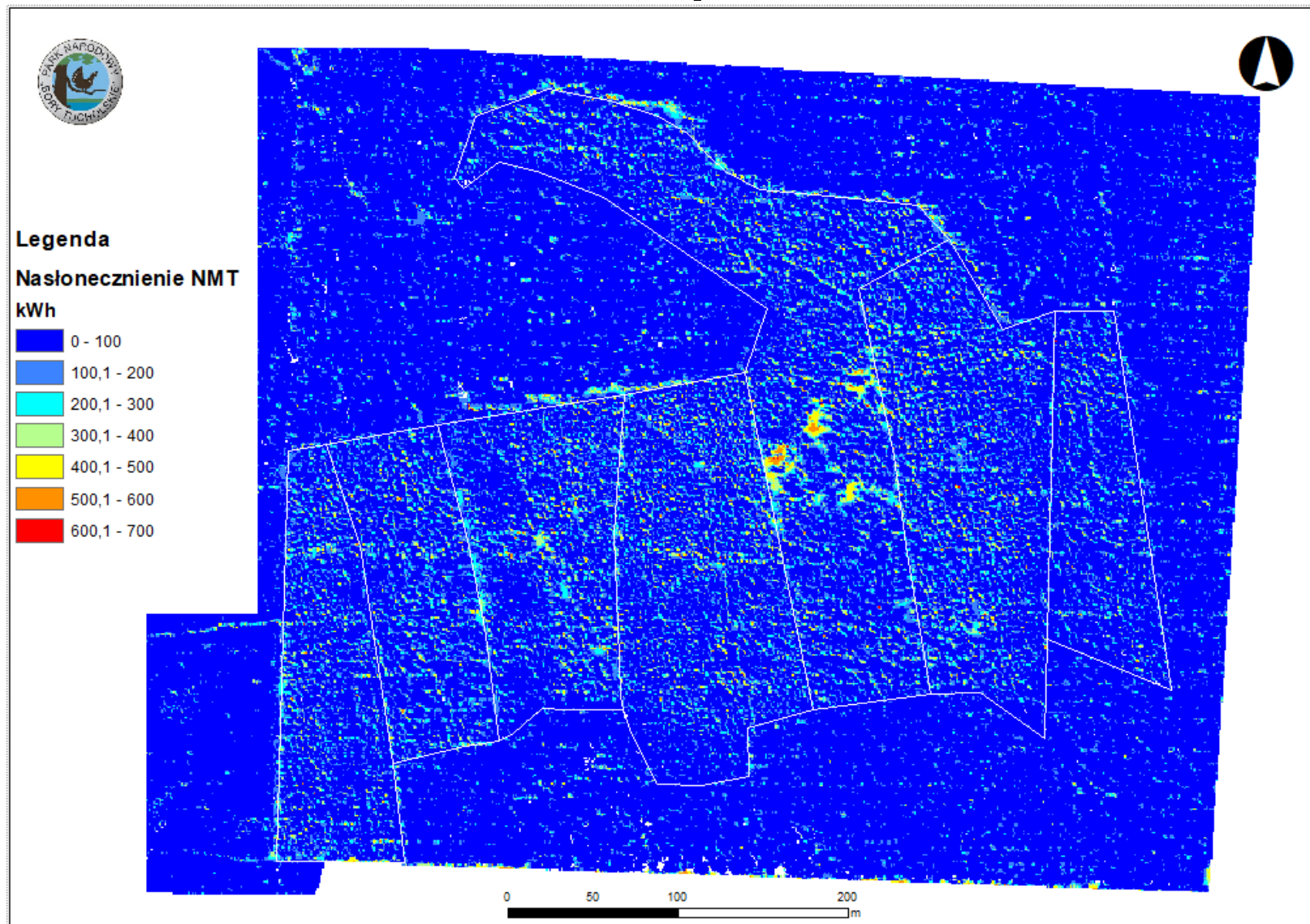


Mapa nasłonecznienia (NMPT) Wh/m²



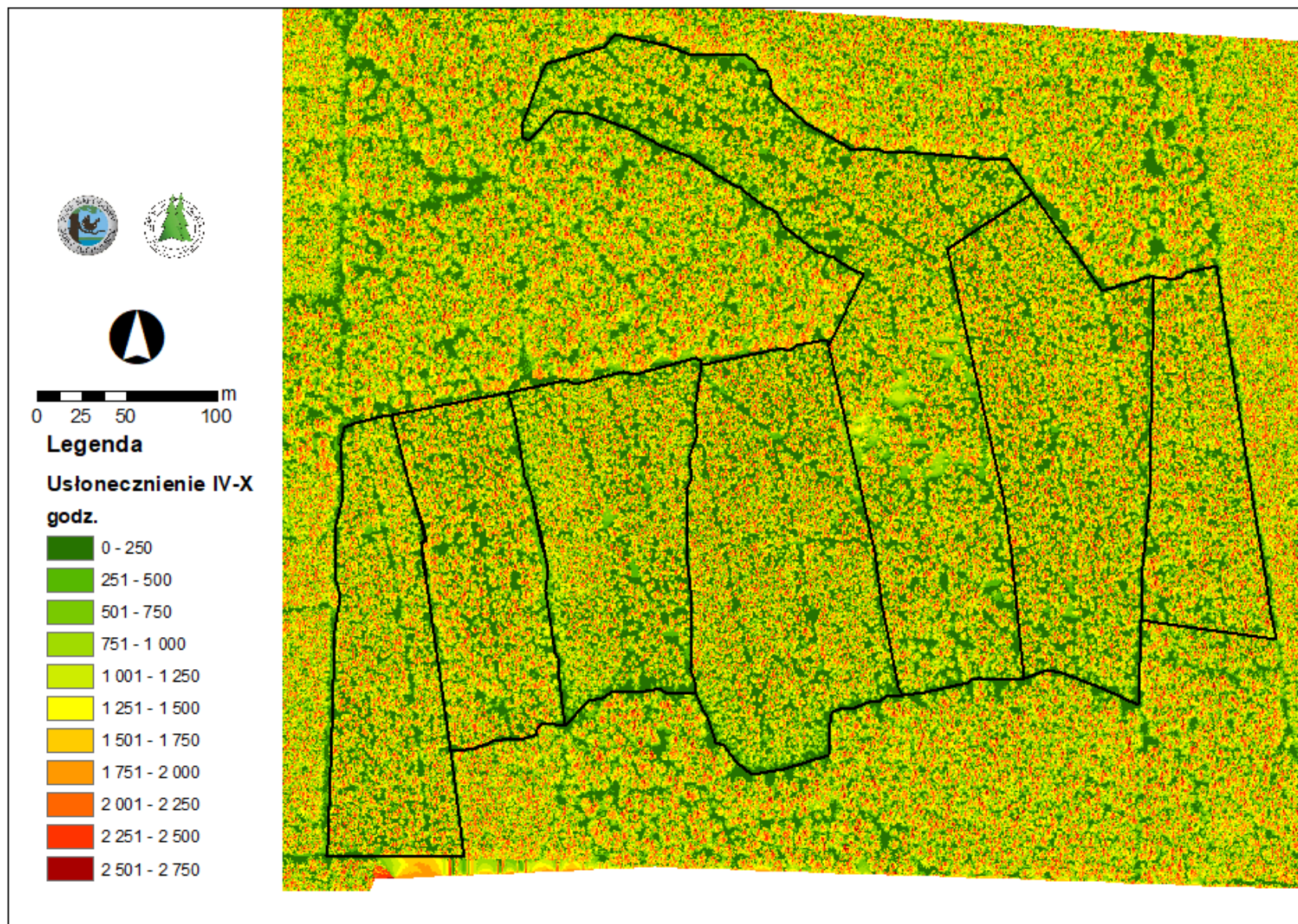


Mapa nasłonecznienia NMT kWh/m²

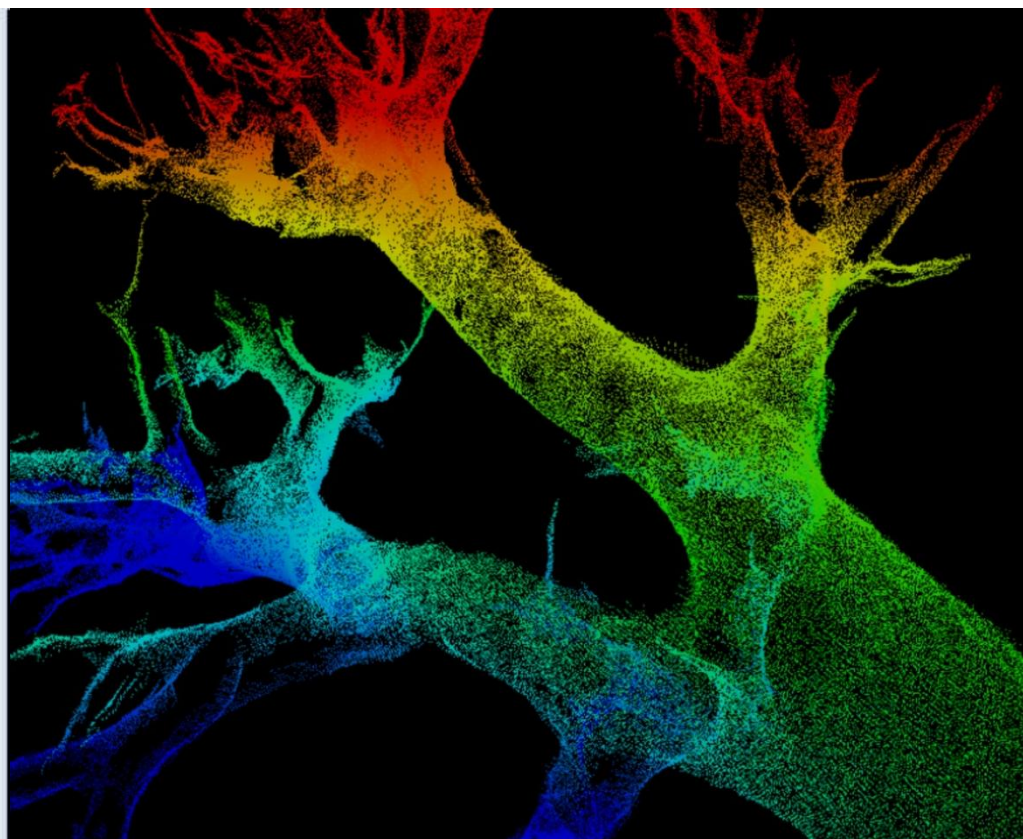




Mapa usłonecznienia (NMPT) godz. w okresie wegetacji



Modelowanie 3D plech chrobotków z wykorzystaniem skanera światła strukturalnego

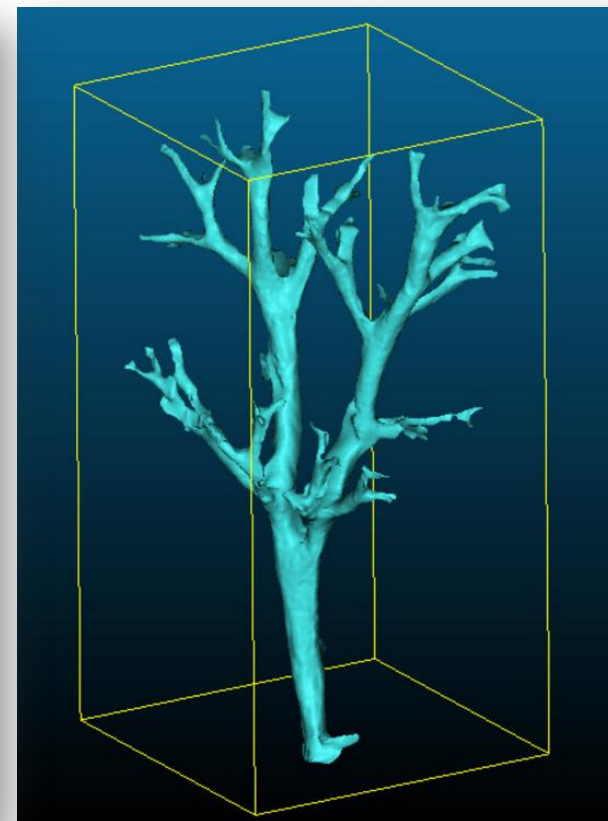


Chmura punktów (*.las) wyświetlona po wartościach RGB (*Cladonia arbuscula*).

Modelowanie 3D plech chrobotków



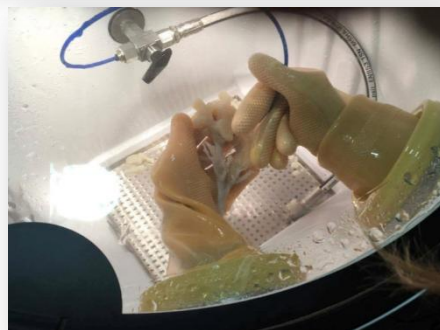
Szczegółowo oteksturowany model mesh (*.stl, *.obj)
wybranej plechy chrobotka.



Wymodelowany na podstawie chmury punktów model siatkowy mesh (*.stl).



Druk 3D plechy chrobotka (*Cladonia arbuscula*)





Dziękuję za uwagę !!!

