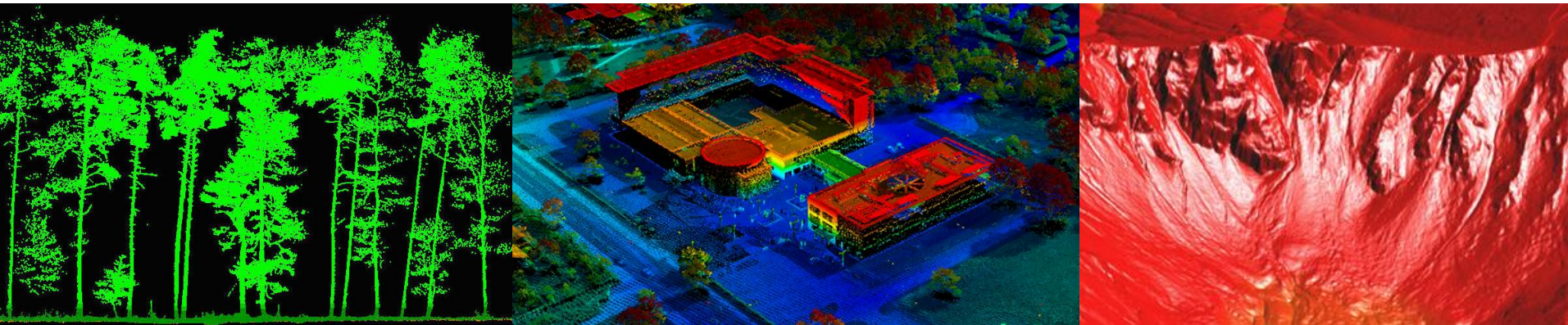




Lotniczy i naziemny skaning laserowy w badaniach środowiska



dr hab. inż. Piotr Wężyk

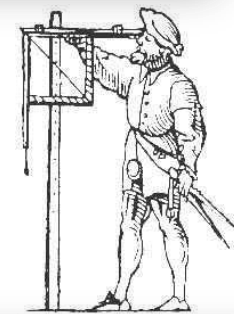
Laboratorium Geomatyki
Katedra Ekologii Lasu, Wydział Leśny
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

Pomiary obiektów w geoprzestrzeni



Referencja: średnia stopa 16 mężczyzn

Już w starożytnym Egipcie.... po każdym wylewie Nilu dokonywano nowych pomiarów wytyczając działki do uprawy
W Babilonie istniały mapy katastralne.



Zakładanie osnów pomiarowych przez Napoleona

Pomiary - naziemne



zdjęcie stolikowe



taśma



teodolit



lata, ruletki



GPS



wysokościomierz



Pomiary z powietrza



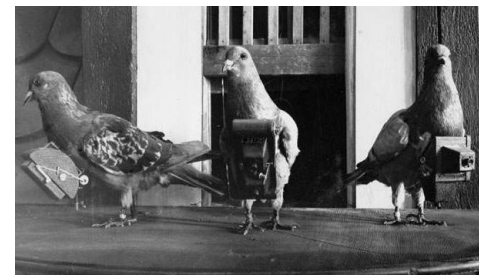
latawce



balon



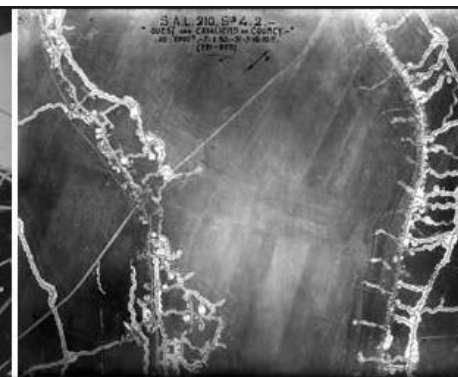
zeppelin



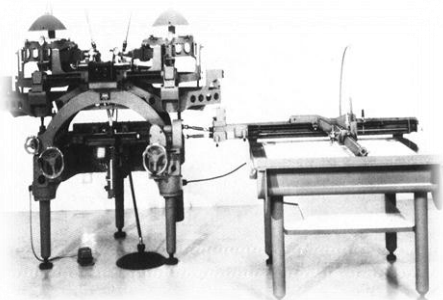
gołębie zwiadowcze



rakiety



zdjęcia lotnicze prawie pionowe



autografy



samoloty



satelity

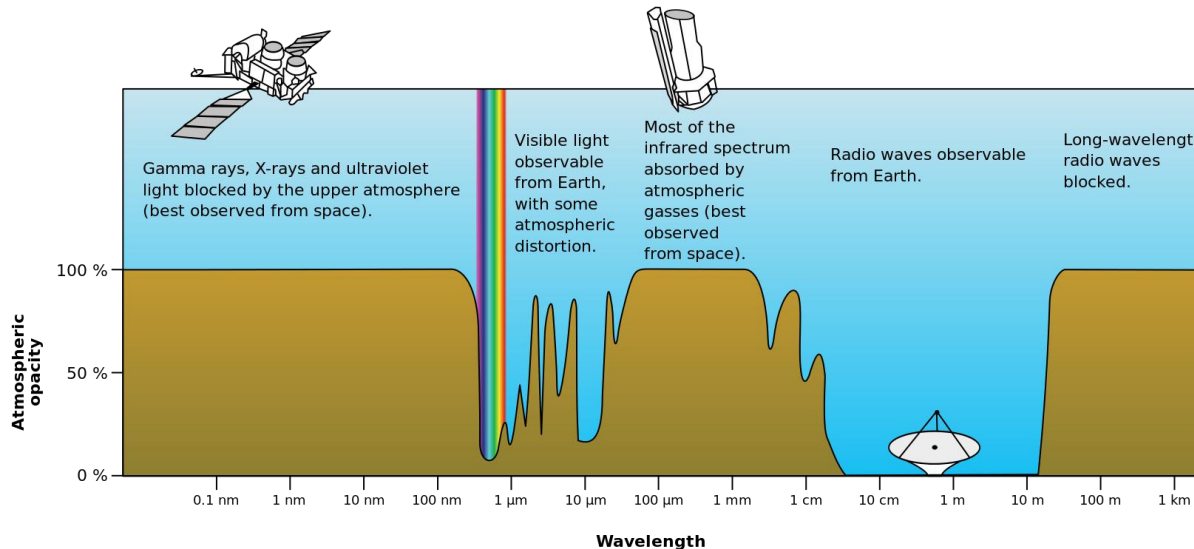


UAV

LiDAR

Akronim: LiDAR = Light Detection And Ranging

- LiDAR aktywny system teledetekcyjny bazujący na energii lasera;
- „Laser” - urządzenie generujące strumieniową **wysoką energię** (zakres optyczny)
- LASER = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation
- pierwszy optyczny skaner skonstruowano w 1960 r. (USA).



Topographic laser system for mapping use eye-safe NIR laser light (1064 nm).

Bathymetric mapping : Blue-Green lasers (532 nm) lasers are used

Day or night operation (depend if the digital camera or thermal camera is used)

Wprowadzenie do technologii LiDAR (1)

Akronim: LiDAR (ang. *Light Detection And Ranging*)

- LiDAR - aktywny system teledetekcyjny wykorzystujący promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu bliskiej podczerwieni (**NIR**) bądź światła zielonego (**Green**);
- dioda skanera generuje impulsy promieniowania (lub falę ciągłą) a moduł obliczeniowy **określa czas** od wystąpienia promienia (impulsu) do jego powrotu do urządzenia;
- pomiar odchylenia promienia względem urządzenia, z którego jest wysyłane oraz wyznaczenie położenia skanera w przestrzeni 3-D (samolot, śmigłowiec, samochód – GPS/INS) umożliwiają wyznaczenie współrzędnych (X, Y oraz Z) miejsca odbicia z dokładnością od kilku mm do kilkunastu cm w przyjętym układzie współrzędnych;
- kolejne odbicia części plamki lasera (laser beam) od obiektów tworzą kolejne echa (First Echo, Last Echo - return number) budując chmurę punktów (point cloud).



foto. P. Wężyk

Zasada pomiaru LiDAR

- Skanery pulsacyjne (impulsowe; *Time of Flight* tzw. ToF)

$$\Delta l = \frac{c \times \Delta t}{2}$$

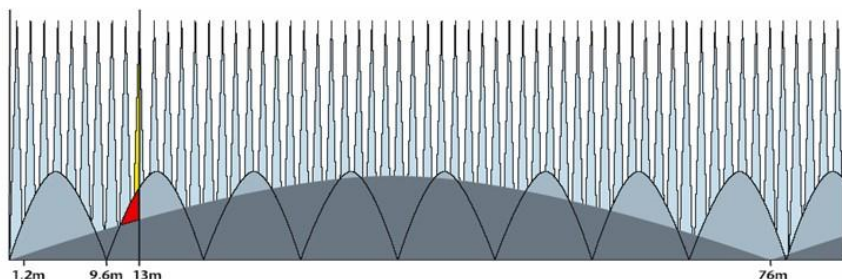
gdzie: Δl - odległość
 c – prędkość światła
 Δt – różnica czasu

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$



źródło: www.leica.com

- Skanery fazowe (tzw. CW; np. FARO 3D Focus)



źródło: www.faro.com

$$l = \frac{1}{4\pi} \times \frac{c}{f} \phi$$



foto. P. Wężyk

- Skanery triangulacyjne (np. Konica) –
dalmierz laserowy + kamera cyfrowa



źródło: www.konicaminolta.com



LiDAR

Speed of light



photo P. Węzyk

Exact values

metres per second	299 792 458
Planck length per Planck time (i.e., Planck units)	1

Approximate values

kilometres per second	300,000
kilometres per hour	1,080 million
miles per second	186,000
miles per hour	671 million
astronomical units per day	173

Approximate light signal travel times

Distance	Time
one foot	1.0 ns
one metre	3.3 ns
from geostationary orbit to Earth	119 ms
the length of Earth's equator	134 ms
from Moon to Earth	1.3 s
from Sun to Earth (1 AU)	8.3 min
from nearest star to Sun (1.3 pc)	4.2 years
from the nearest galaxy (the Canis Major Dwarf Galaxy) to Earth	25,000 years
across the Milky Way	100,000 years
from the Andromeda Galaxy (the nearest spiral galaxy) to Earth	2.5 million years

Wikipedia.org

Klasyfikacje / typy LiDAR

Klasyfikacja systemów **LiDAR** ze względu na umiejscowienie w przestrzeni geograficznej:

- satelitarny skanowanie laserowe (*ang. SLS - Satellite Laser Scanning*);
- lotniczy skanowanie laserowe (*ang. ALS - Airborne Laser Scanning*);
- naziemny skanowanie laserowe (*ang. TLS - Terrestrial Laser Scanning*);
 - statyczny pomiar (1- lub wielo- stanowiskowy), oraz
 - mobilny system **MLS** (integracja z kamerami cyfrowymi)
 - skanowanie bliskiego zasięgu (inżynieria wsteczna np. Handy Scan)



źródło: NASA



źródło: www.riegl.com



foto. P. Wężyk



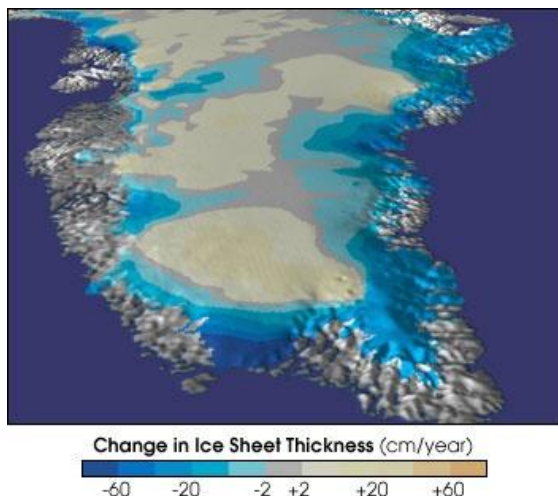
foto. P. Wężyk

SLS – ICESat/ GLAS

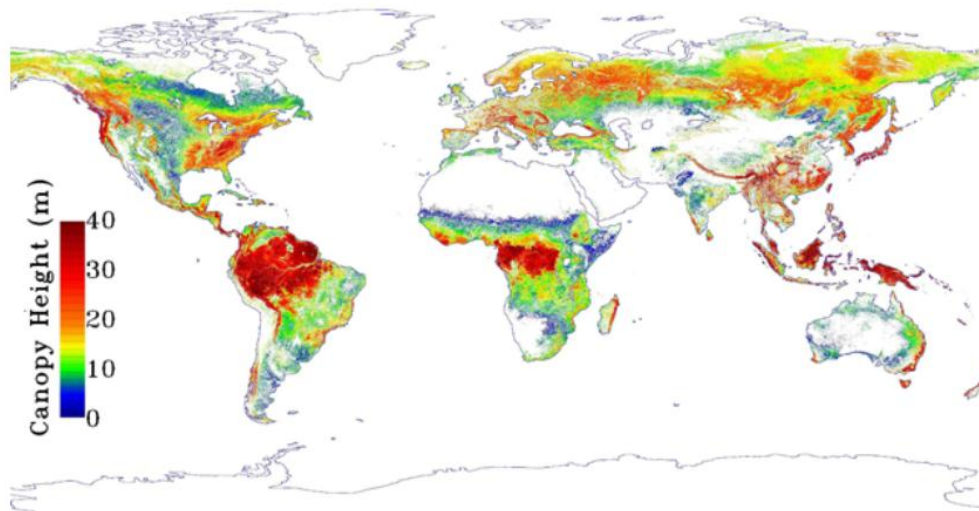


Altimetr lidarowy **GLAS** (Geoscience Laser Altimeter System) zamontowany na satelicie NASA w programie **ICESat** (Ice, Cloud and land Elevation). Wielkość plamki lasera (skaner typu full waveform) na gruncie wynosi ok. 70,0m. Próbkowanie co około 170 m, dwa razy do roku.

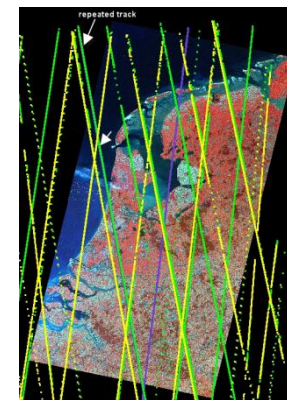
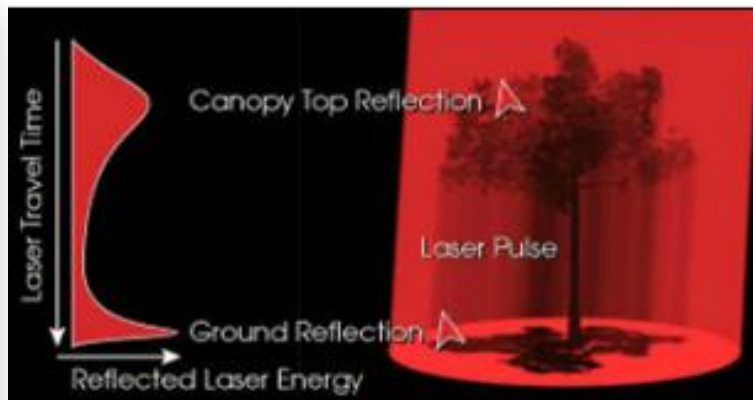
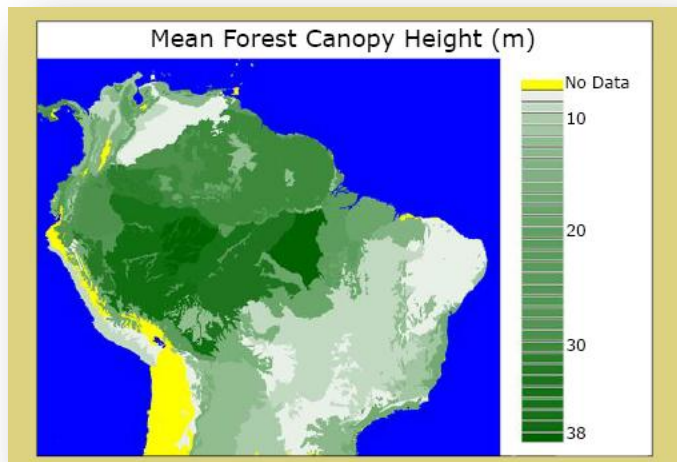
NASA Map Sees Earth's Trees in a New Light



*Monitoring pokrywy
lodowej na biegunach*

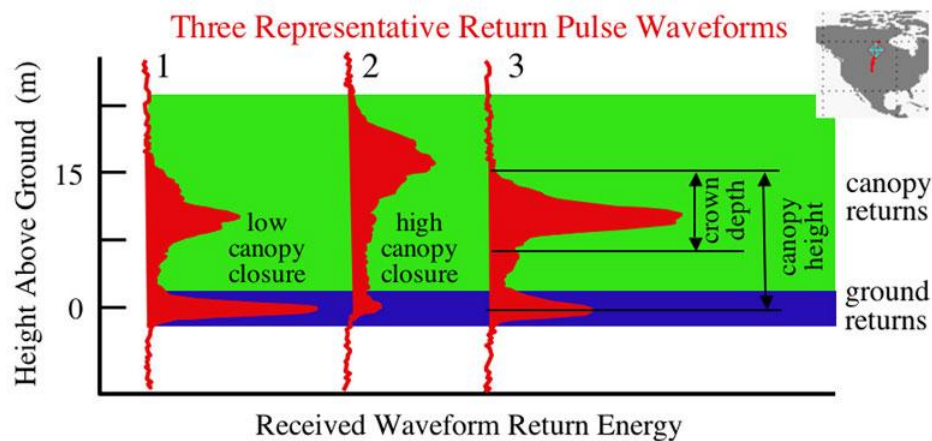


Monitoring szaty roślinnej Ziemi



Wielkość plamki : ϕ 70m, odstęp co 170m

Monitoring wysokości lasów
Ameryki Południowej

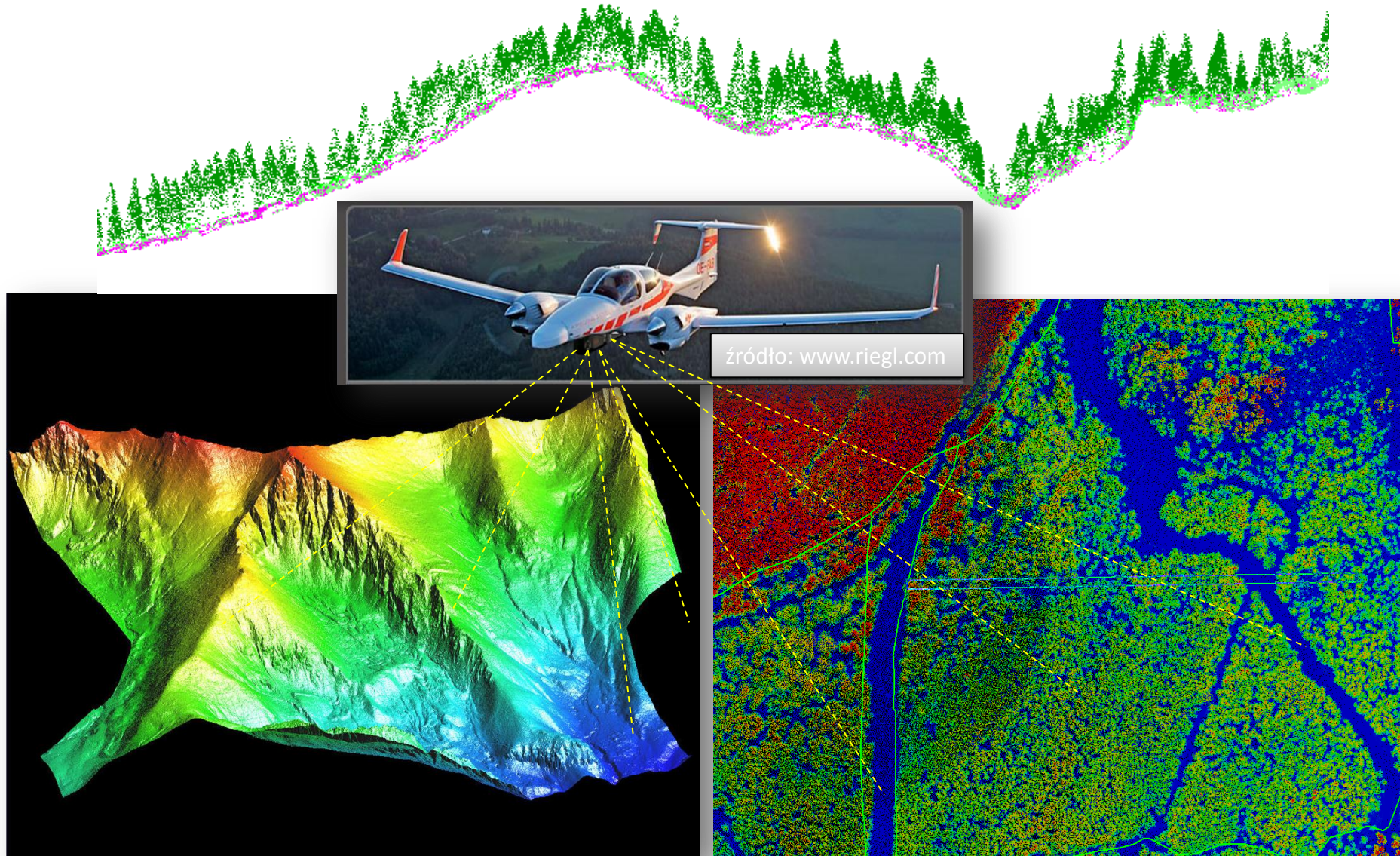


Pomiar w lesie Varzea, Rio Solimoes, 2013

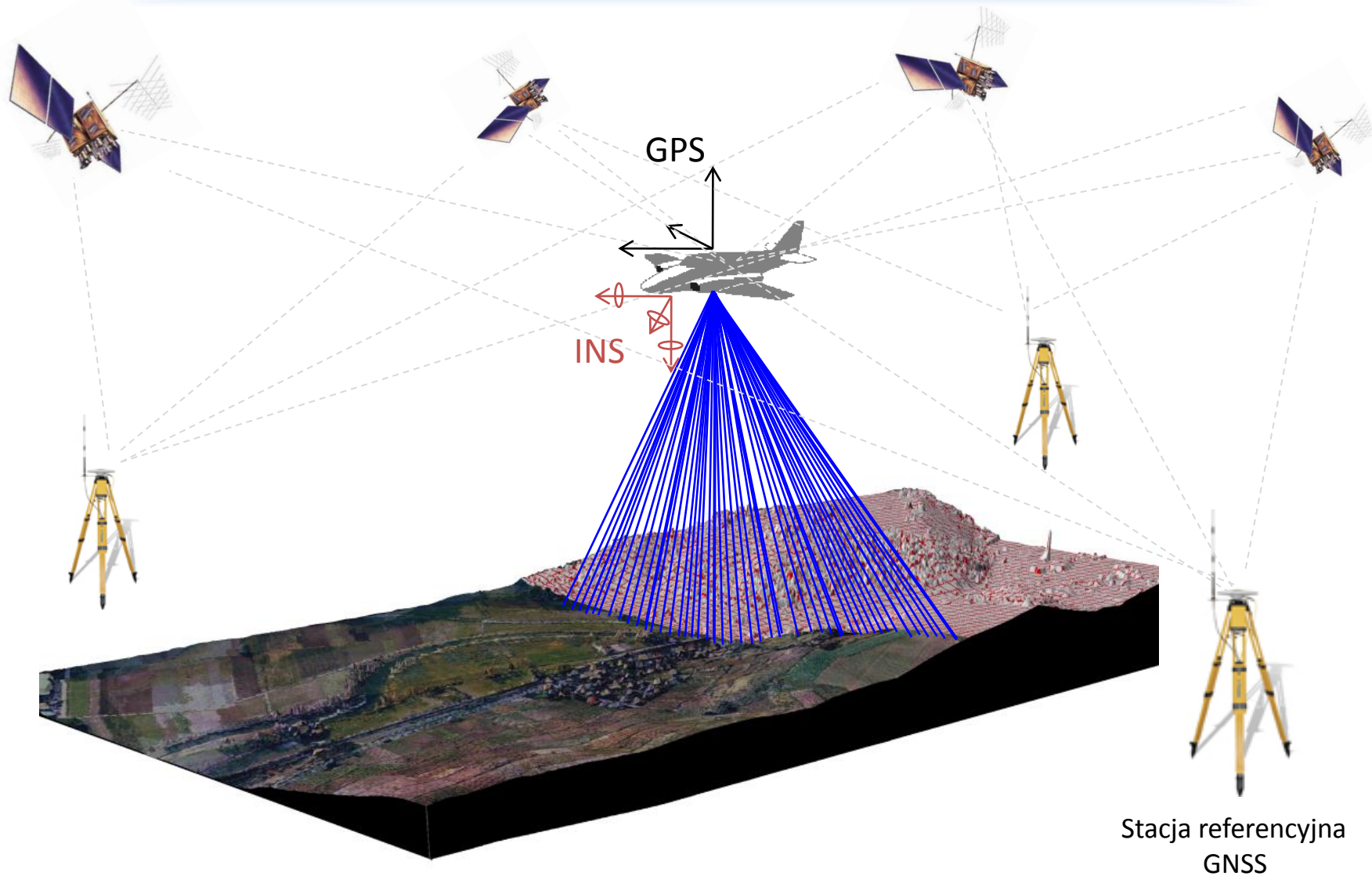
<http://www.nasa.gov>



Airborne Laser Scanning



ALS - komponenty



ALS – Integracja Skaner+GPS+INS

Segment pokładowy:

- dalmierz laserowy, skaner (LRS – Laser Range Finder);
- system pozycjonowania trajektorii lotu oparty o dGPS (dokładność pomiaru ok. 10 cm);
- inercyjny system nawigacyjny INS (Inertial Navigation Unit; dokładność do ok. 2 cm);
- kamera cyfrowa średnioformatowa: piksel 5-10 cm RGB (lub kamery video, skanery hiperspektralne, termowizyjne)
- blok rejestracji danych (dyski twarde)
- system planowania i zarządzania lotem CCNS



foto. P. Wężyk



RIEGL Q560

Segment naziemny:

- naziemne referencyjne stacje dGPS (np. sieć ASG-EUPOS ale ograniczenie do 30-40km od stacji ;
- stacja robocza do przetwarzania danych pomiarowych pozyskanych podczas misji oraz do generowania DSM/ DTM
- stacja fotogrametryczna do generowania ortofotomapy i barwienia chmury punktów ALS

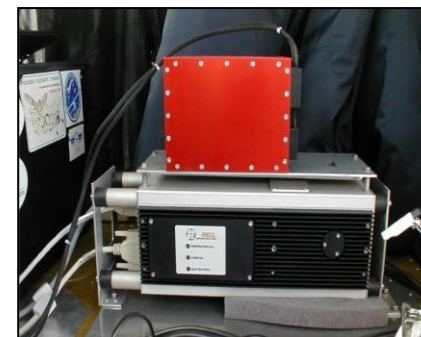


foto. P. Wężyk

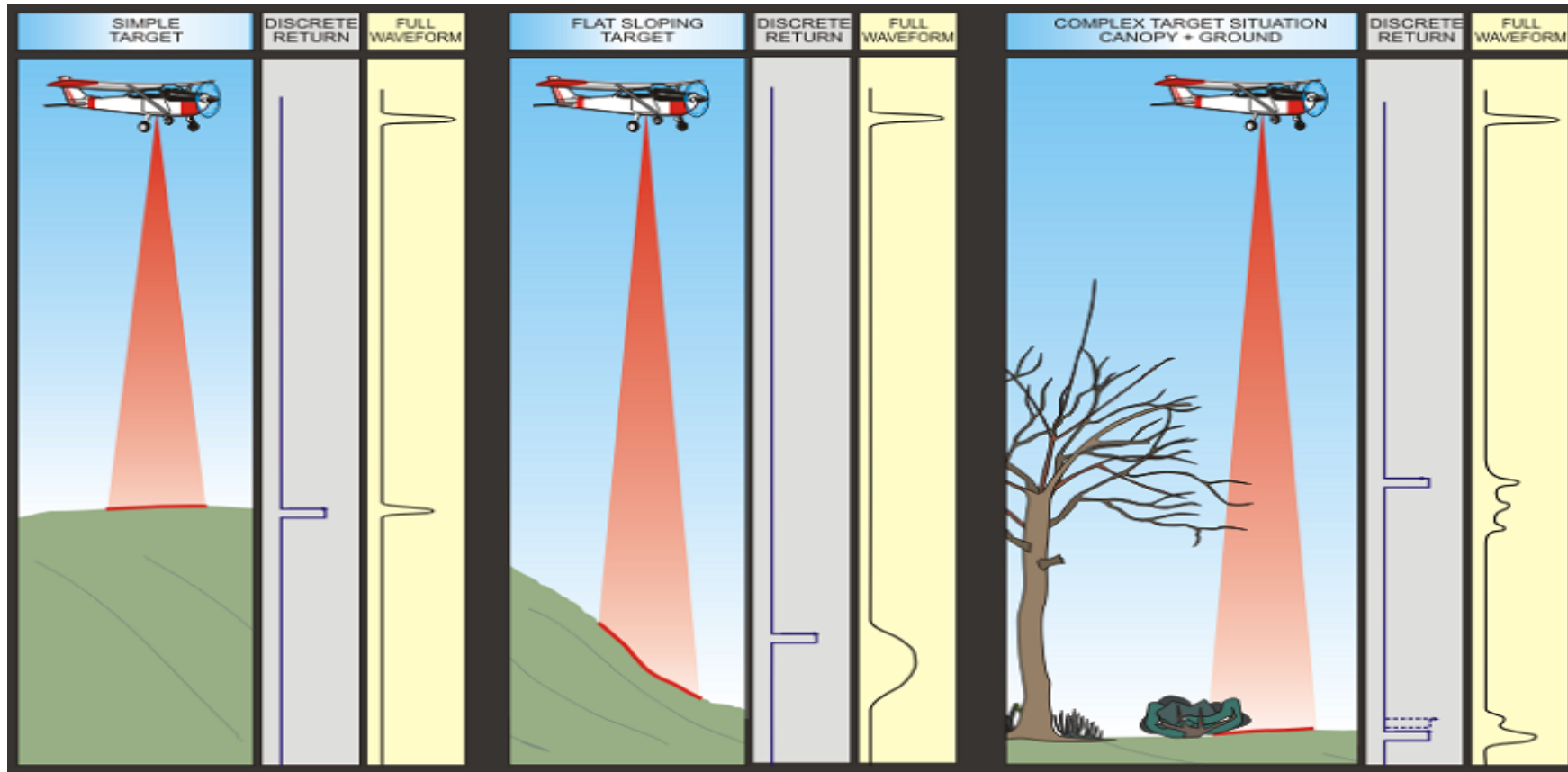


Wężyk P., 2006. Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki*. ISSN 1731-5522. 4(4), 119-132.



ALS - nowa technologia

Skanery typu full waveform



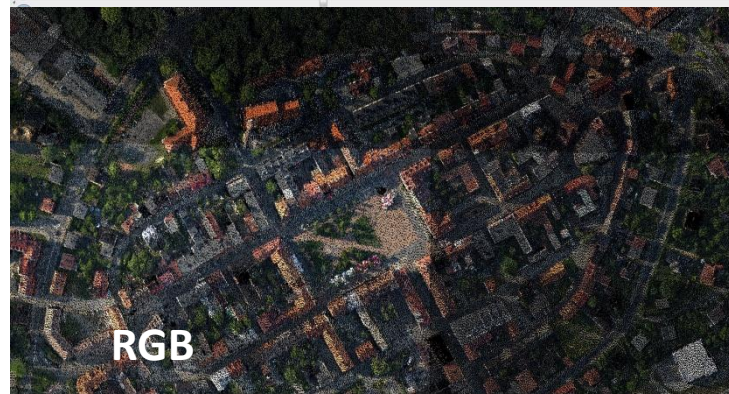
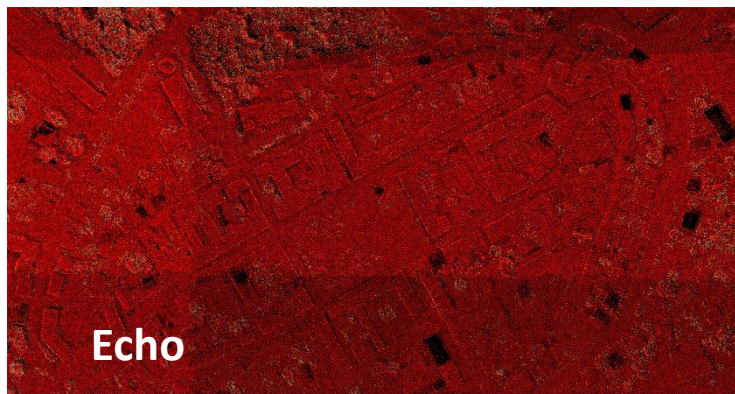
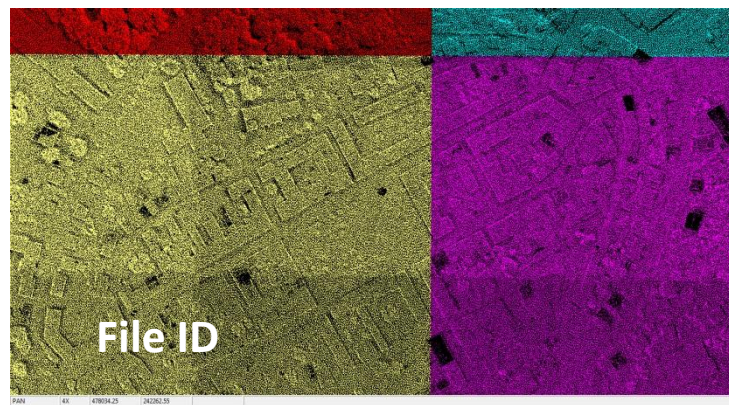
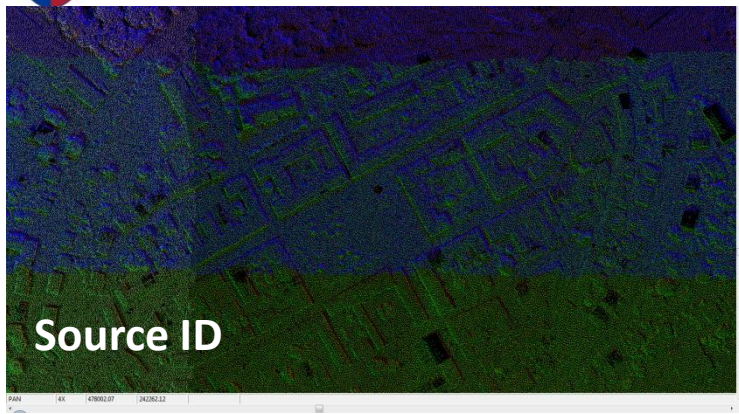
źródło: www.riegl.com

Rejestracja powracającego sygnału i digitalizacja zapisu pełnej amplitudy. Możliwy zapis od bardzo wielu obiektów odległych od siebie o min. 60 cm w pionie.

Wężyk P., 2006. Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie. *Roczniki Geomatyki*. ISSN 1731-5522. 4(4), 119-132.

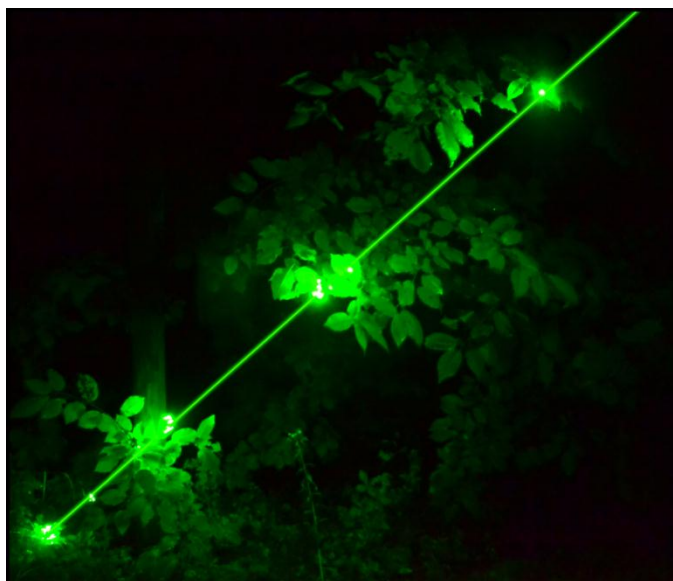
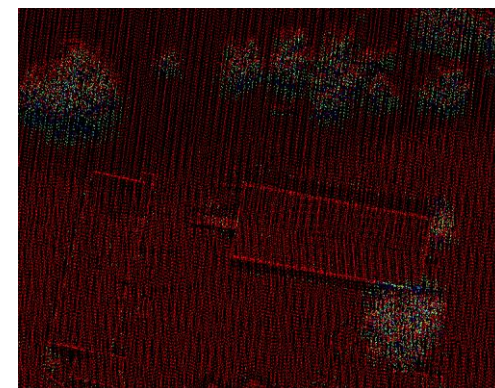
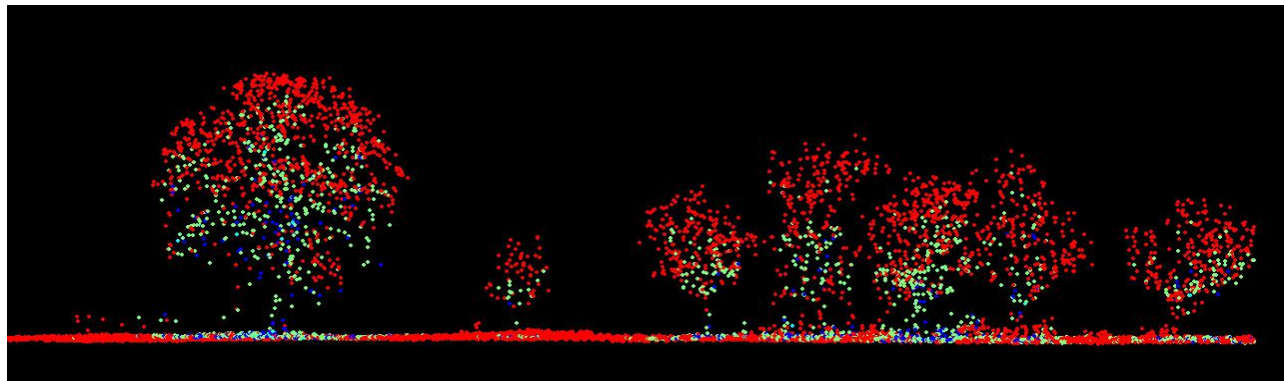


Chmura punktów ALS (ISOK)





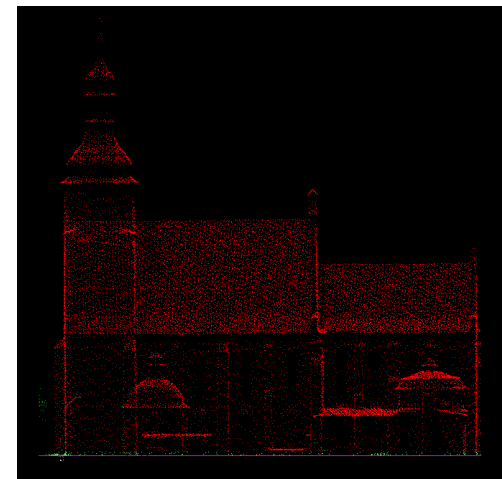
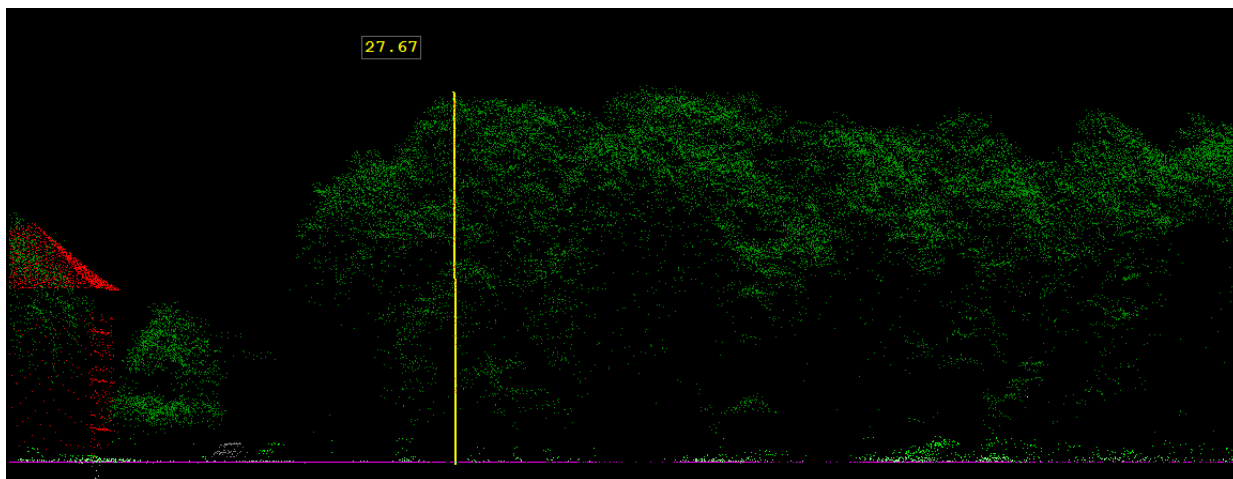
Echa sygnału



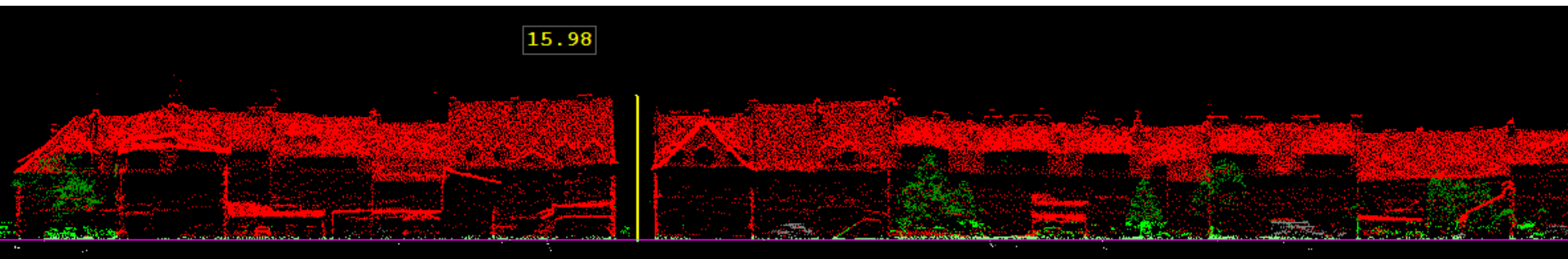
W przypadku obrazowania roślinności rejestrowane mogą być tzw. pierwsze puls (echo; *First Pulse* – FP; FE – First Echo) odbite od górnych fragmentów korony, poprzez dalsze odbijane od konarów i pni drzewa (drugie i kolejne), aż do tych pochodzących od podszytu czy gruntu (*Last Pulse* – LP; LE – Last Echo)

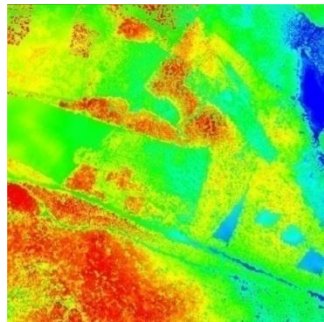


Pomiar wysokości na znormalizowanej chmurze punktów ALS

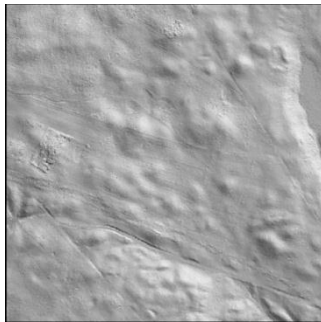


Normalizacja chmury pozwala na usunięcie wpływu deniwelacji terenu i automatyzację Pomiaru wysokości obiektów i tworzenie charakterystyk 3D np. dla zieleni miejskiej.

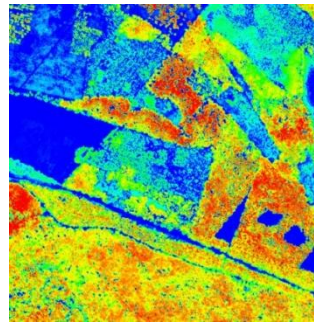




DSM / NMPT



DTM / NMT



nDSM / zNMPT



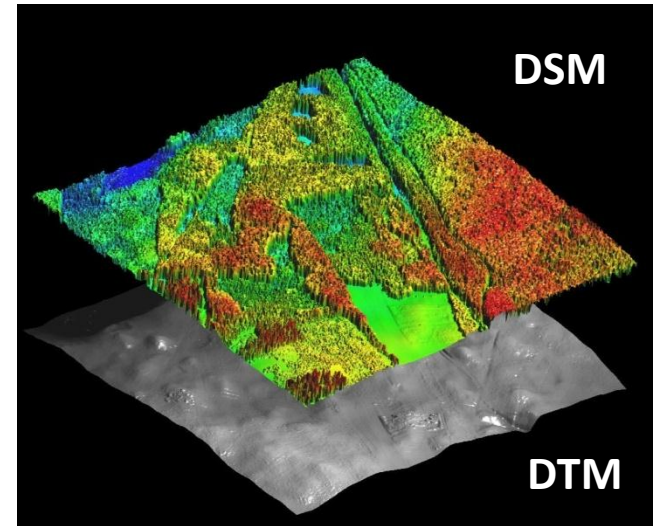
nDSM + LMN



ORTO



nDSM + ORTO



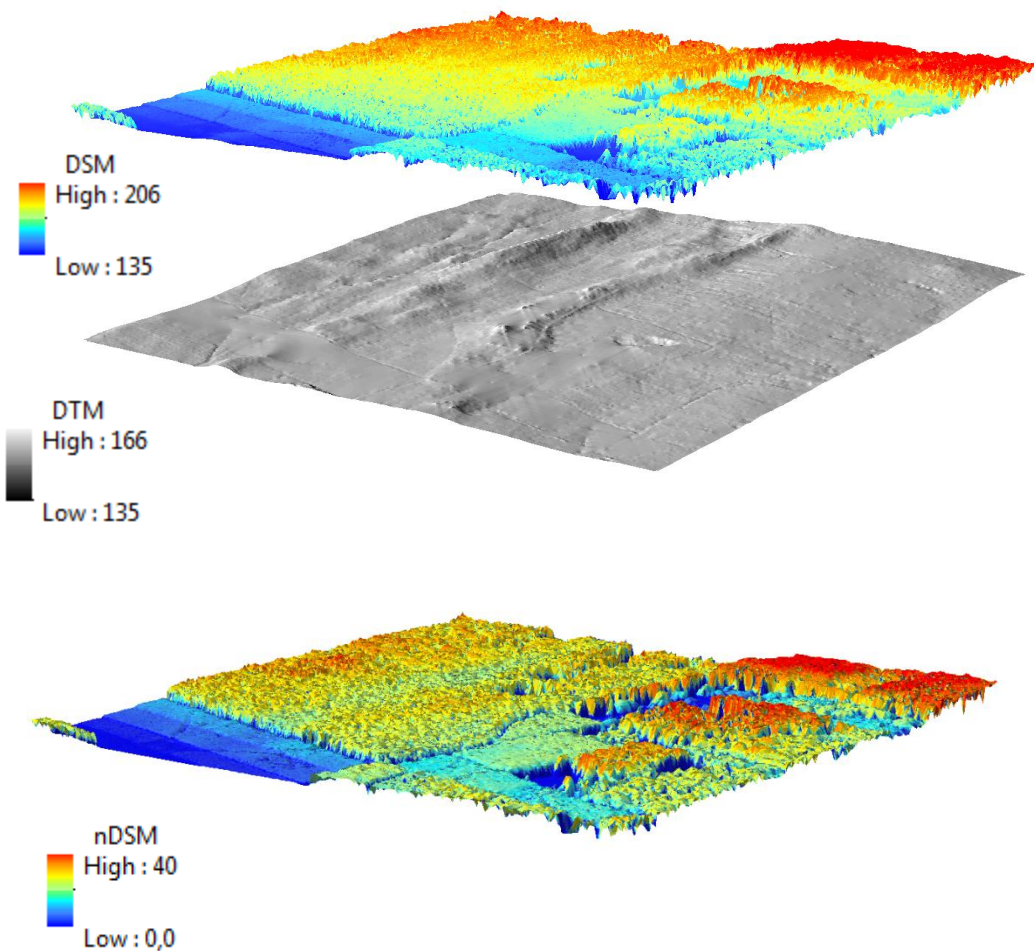
DSM

DTM

NMT – generowany jest z odbić sklasyfikowanych jako ostatnie (LE) po odfiltrowaniu punktów błędnych tzw. *low* oraz *ghost points*. Często do generowania NMT wykorzystywane są algorytmy morfologiczne lub też metodą aktywnego modelu TIN (Axelsson 2000).

Wężyk P., Borowiec N., Szombara S., Wańczyk R., 2008. Generowanie numerycznych modeli powierzchni oraz terenu w Tatrach na podstawie chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego (ALS). *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. 18 b, 651-661

ALS - Modele wysokościowe



**NMPT (ang. DSM) -
Numeryczny Model
Powierzchni Terenu**

minus

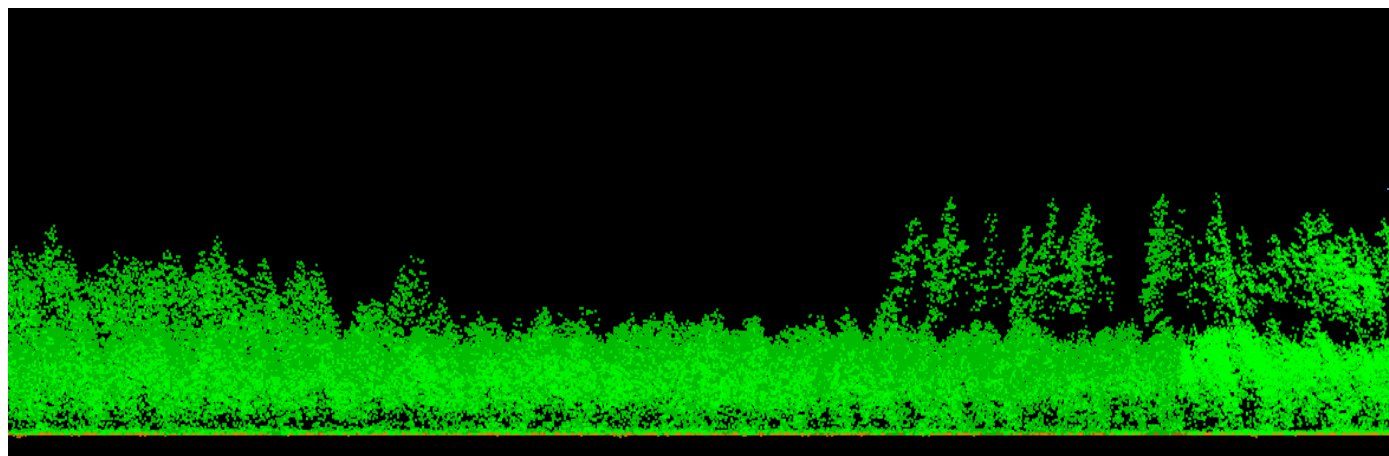
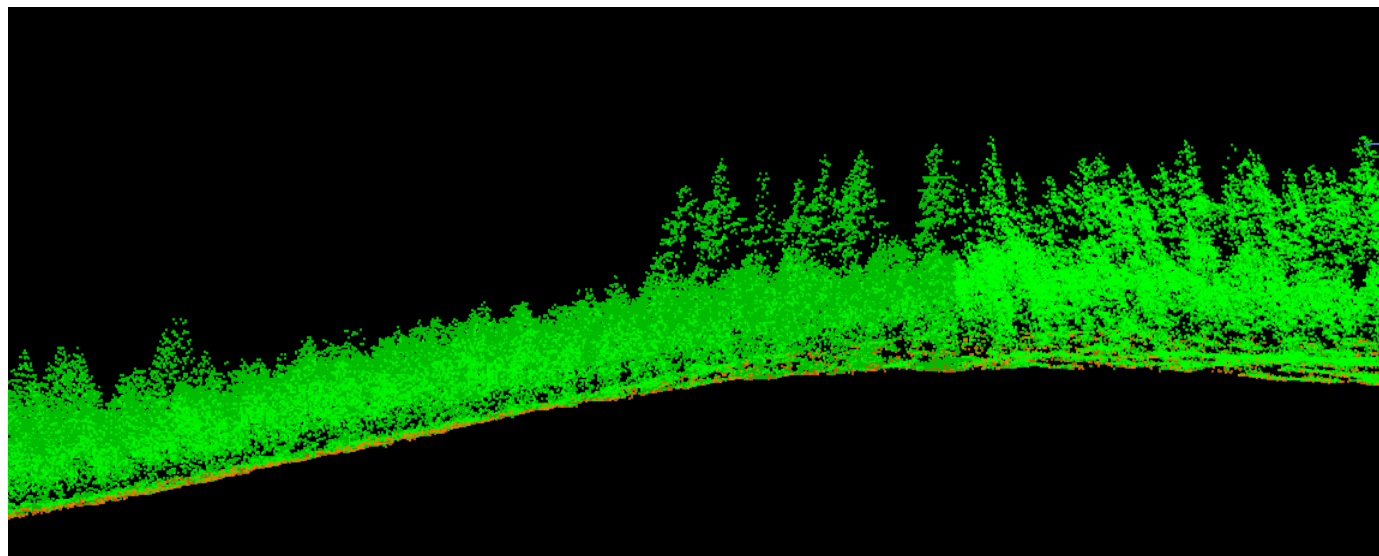
**NMT (ang. DTM)
Numeryczny Model Terenu**

**Różnica (ang. nDSM)
NMPT – NMT =
= znormalizowany zNMPT**

nDSM opisuje wysokości względne obiektów, grunt = 0m; drzewostan np. 0-40m

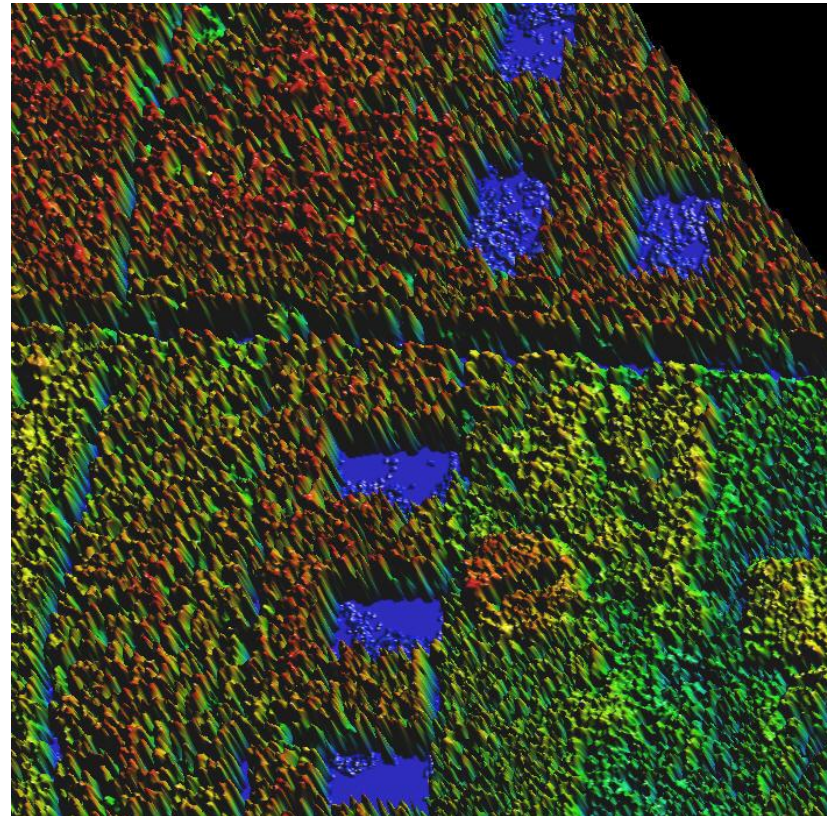
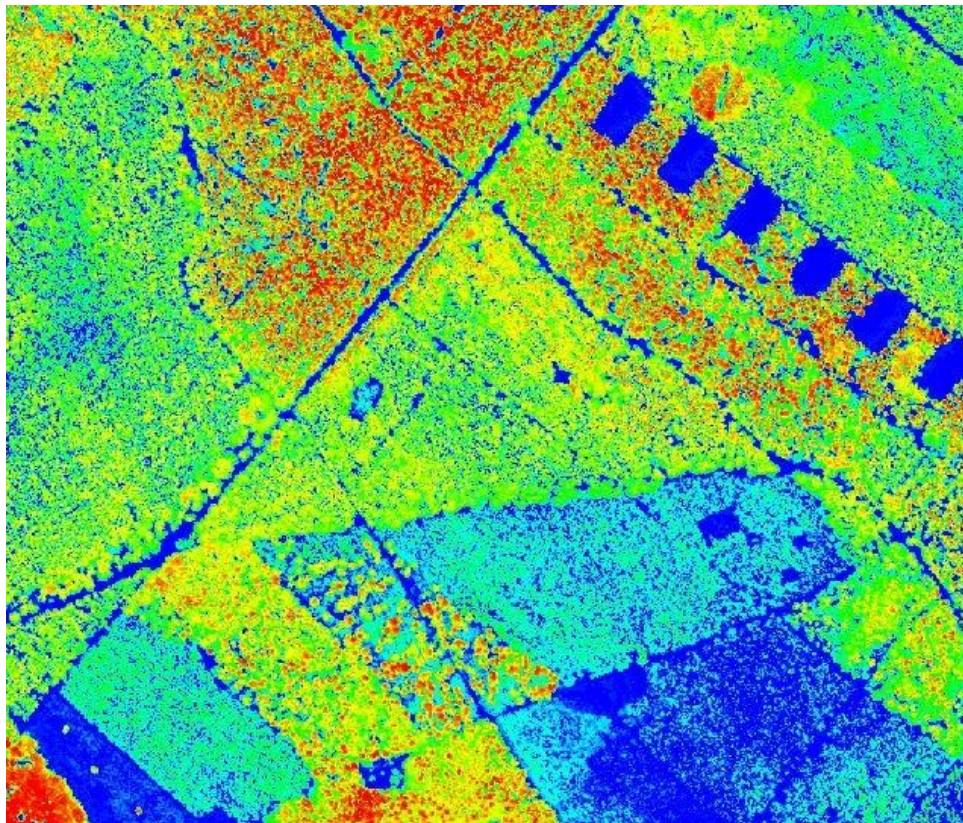


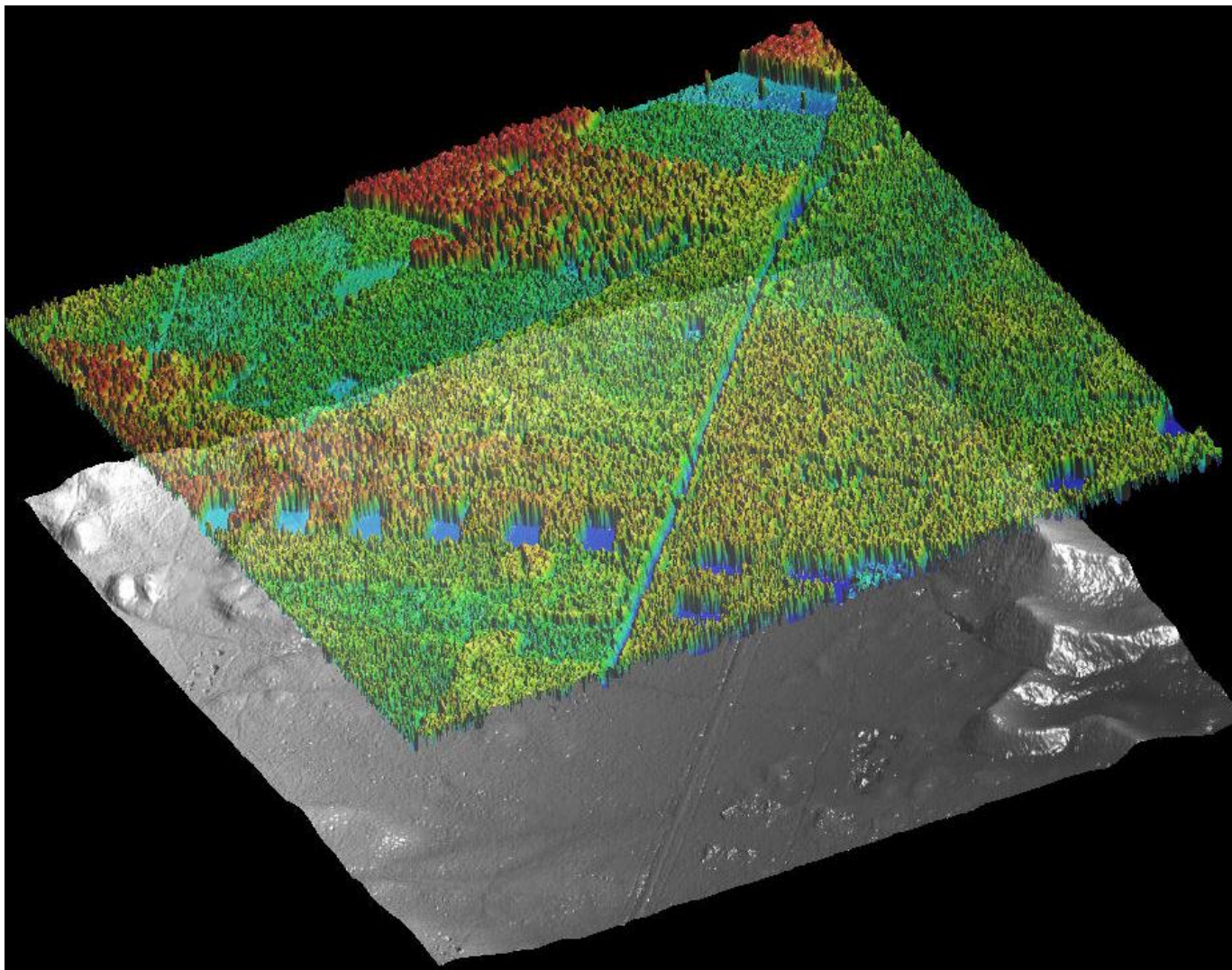
Normalizacja chmury punktów ALS





ALS - Projekt Chojna - 2006

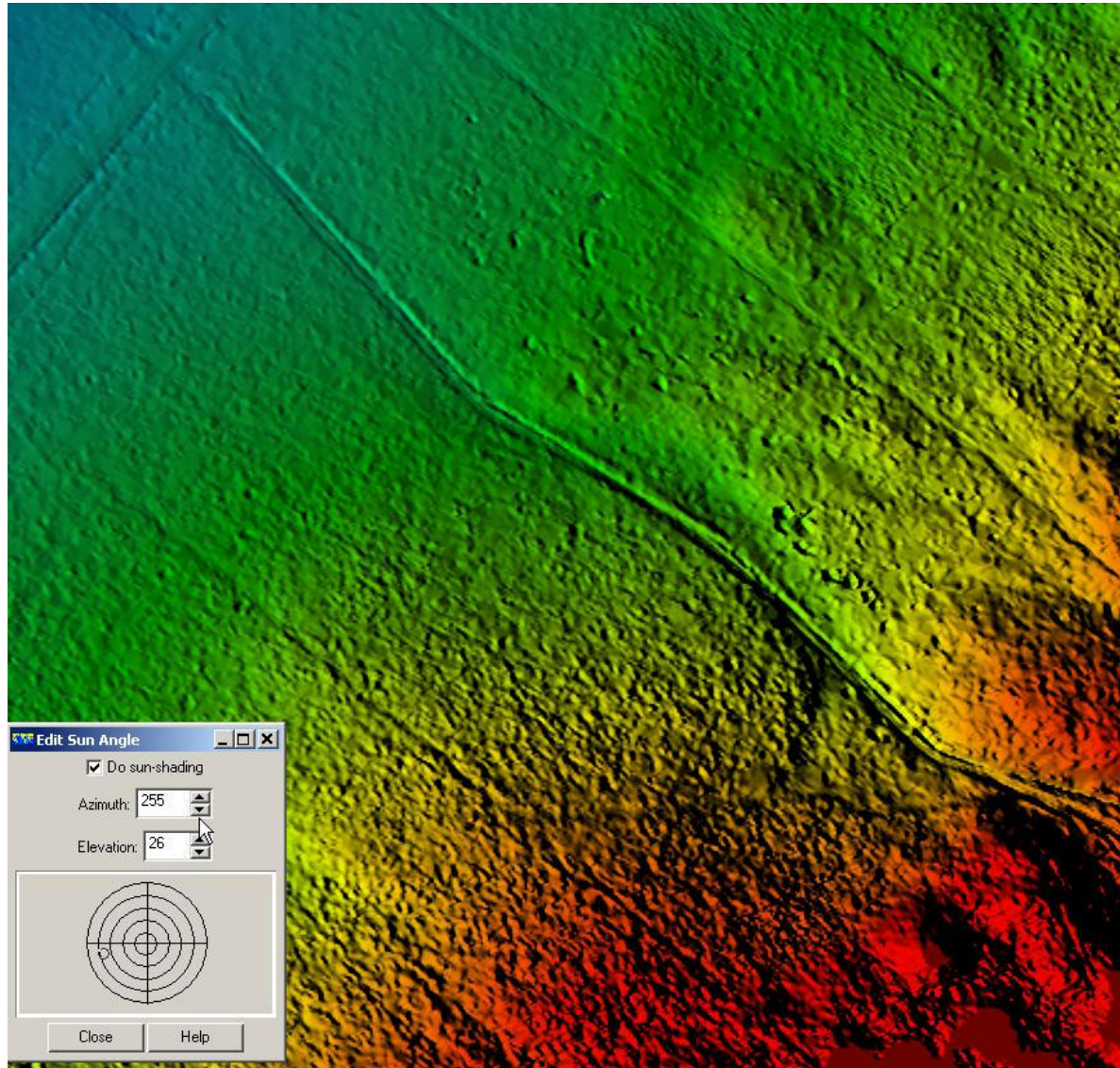




modele
NMPT (DSM)
NMT (DTM)



ALS Projekt Chojna - 2006



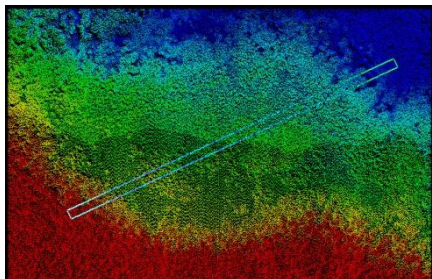
Stosując odpowiednie oprogramowanie można odfiltrować klasę roślinności i budynków pozostawiając sam grunt na podstawie którego modelowana jest siatka trójkątów (TIN). Wykorzystywany jest w tym celu np. algorytm aktywnego trójkątowania (Axelsson 2000)



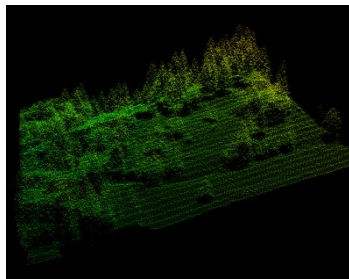
ALS - Tatry



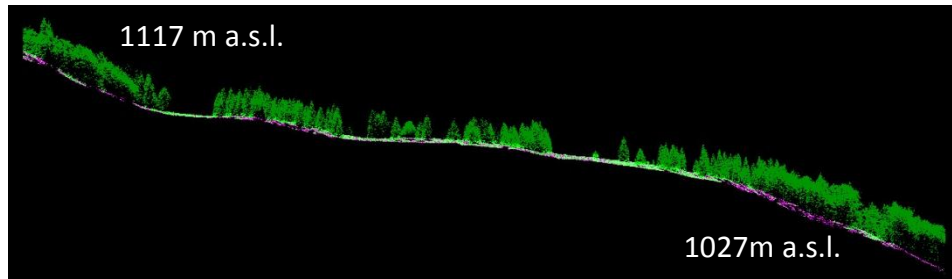
Chmura punktów oraz produkty pochodne



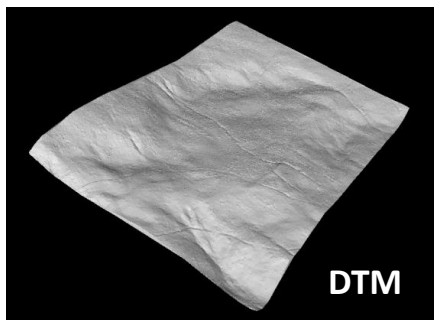
ALS



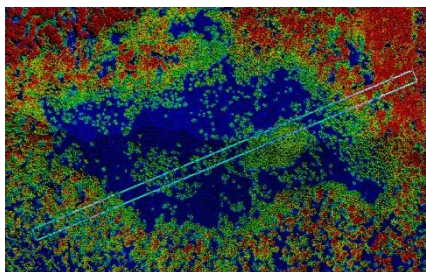
ALS 2.5D



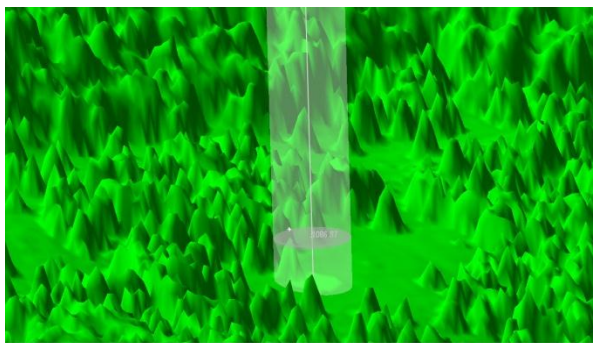
ALS profile



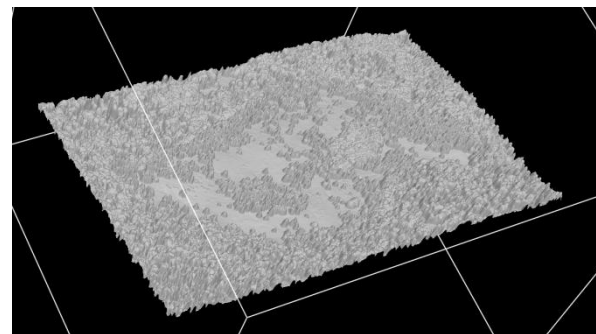
DTM



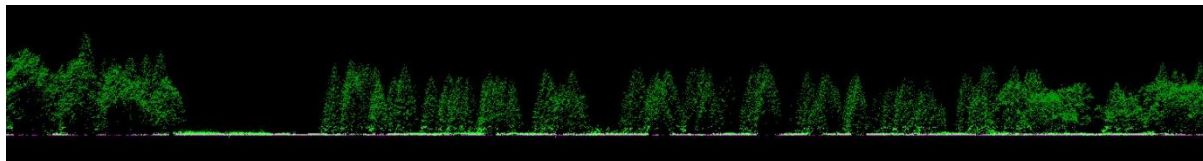
normalised ALS



DSM (FUSION)



DSM (FUSION)



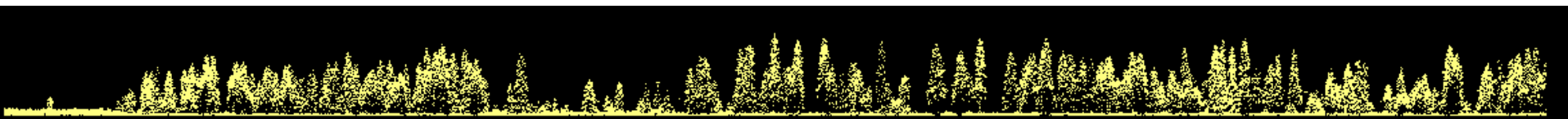
nALS profile



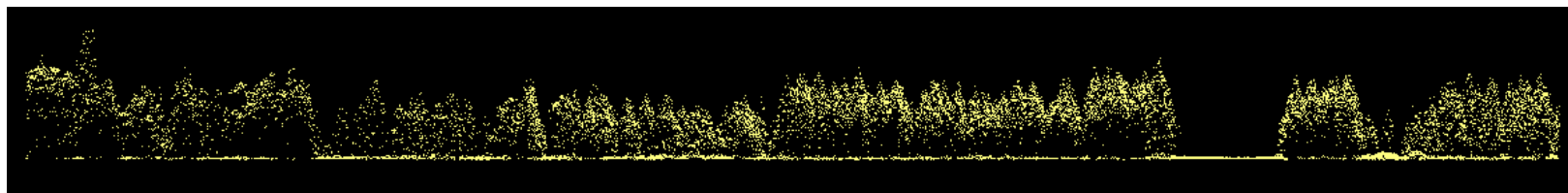
ALS - Tatry 2007



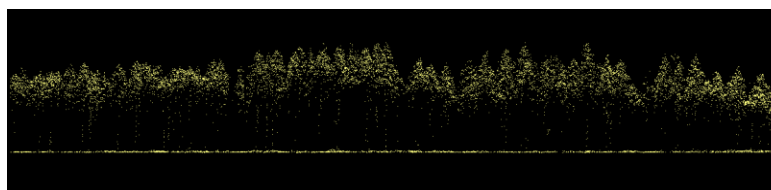
Profile. Transekty wysokociowe. Górna granica lasu.



1500m a.s.l.



1270m a.s.l.



1130m a.s.l.

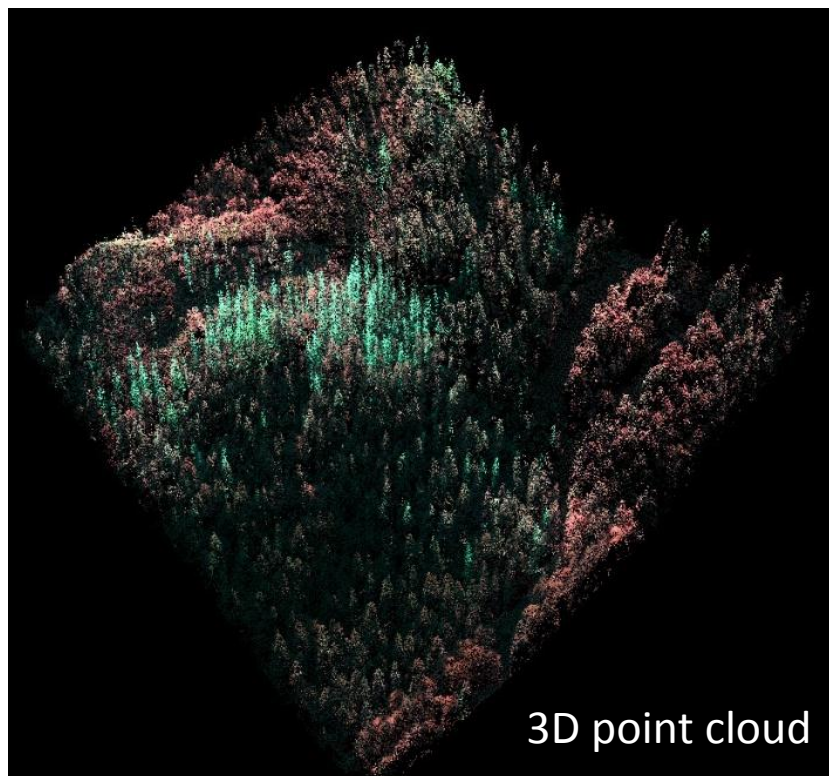
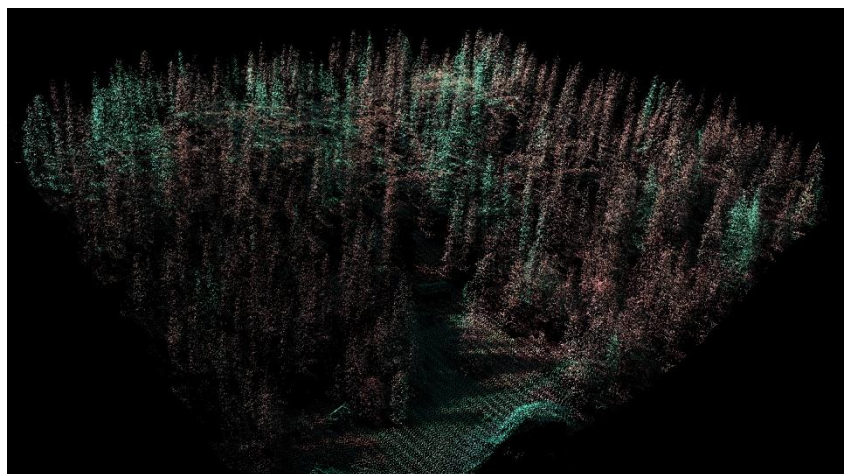
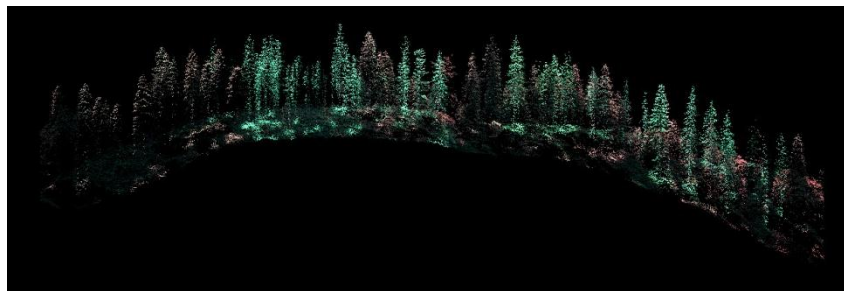
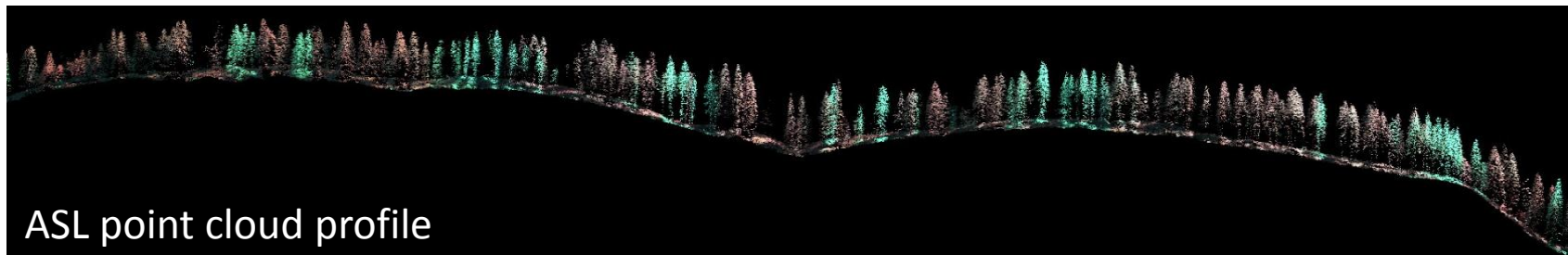


1110m a.s.l.



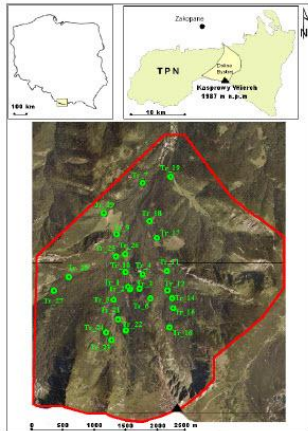
ALS - Babia Góra

Profil. Color points (CIR)



ALS Tatra

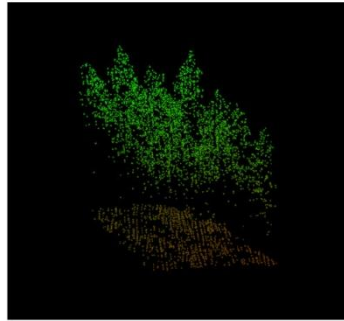
Forest stand properties. Histogram (1)



Test area in Tatra



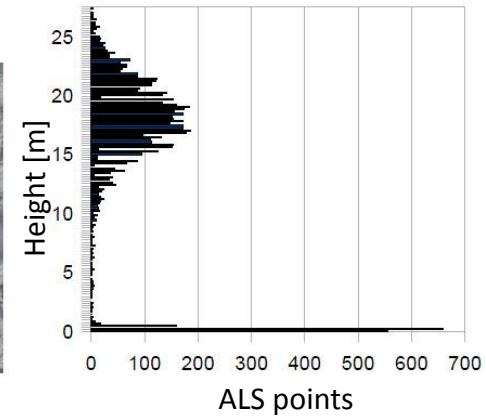
Spruce stand



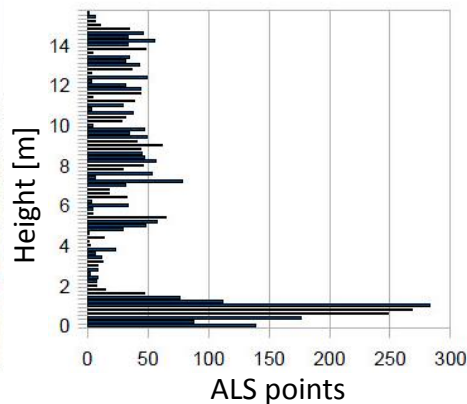
ALS point cloud



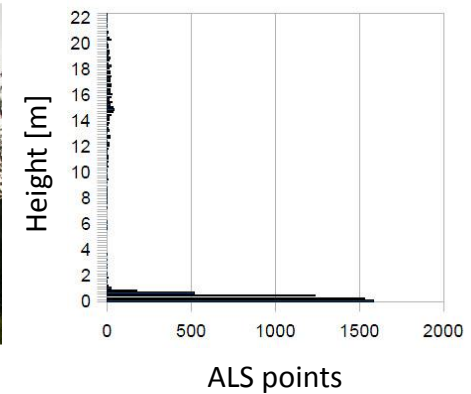
RGB ortho



European larch



Group of Norway Spruce

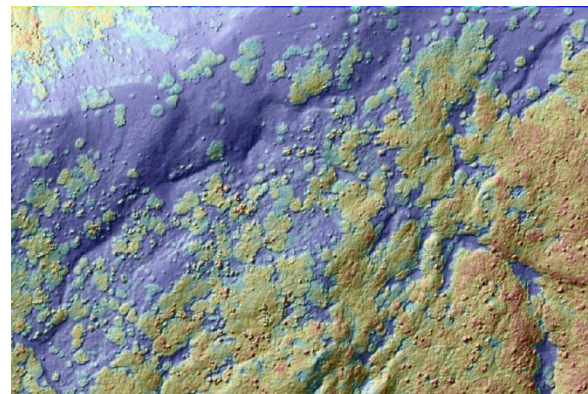
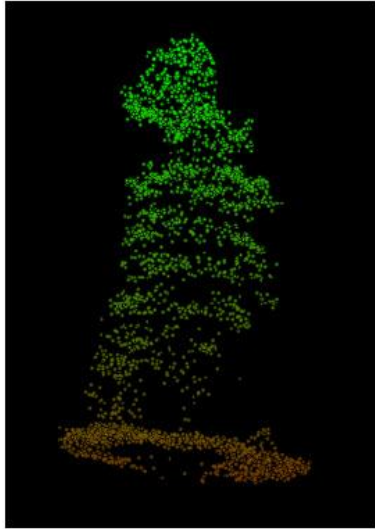




ALS Tatr



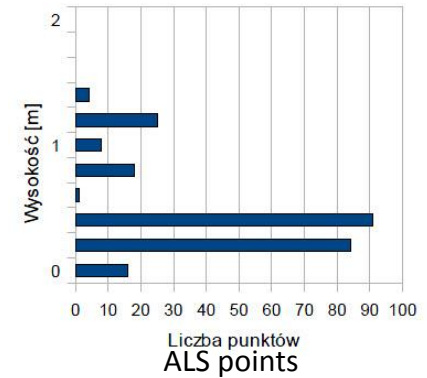
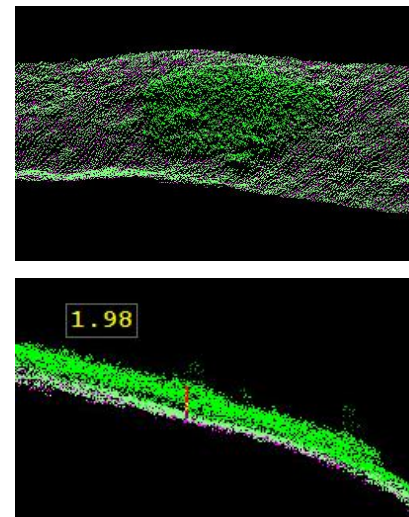
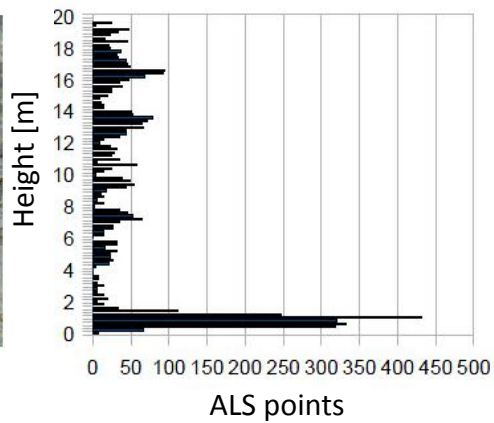
Forest stand properties. Histogram (2)



Zdjęcie obiektu badawczego
T_14

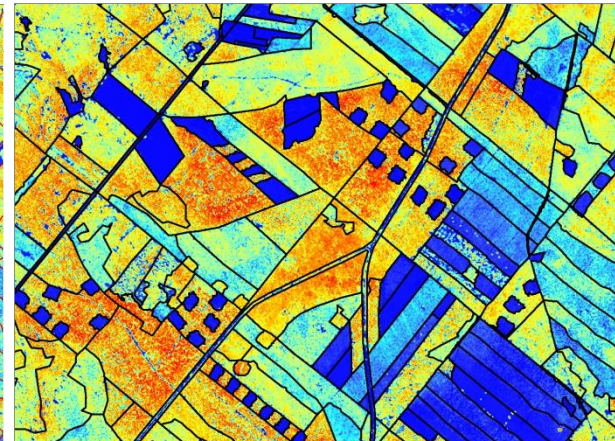
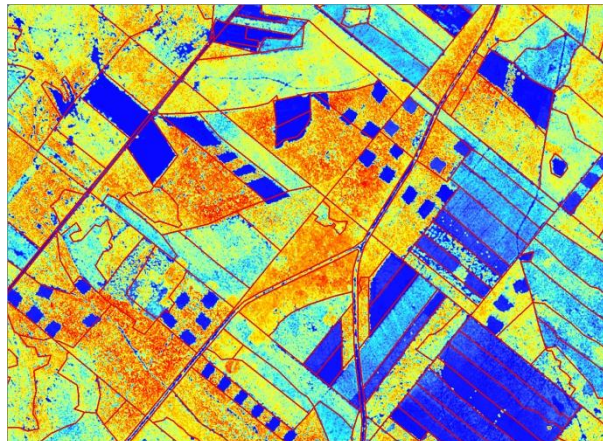
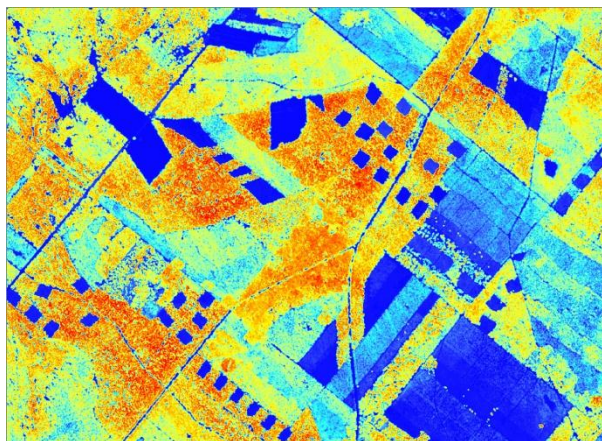


Swiss pine

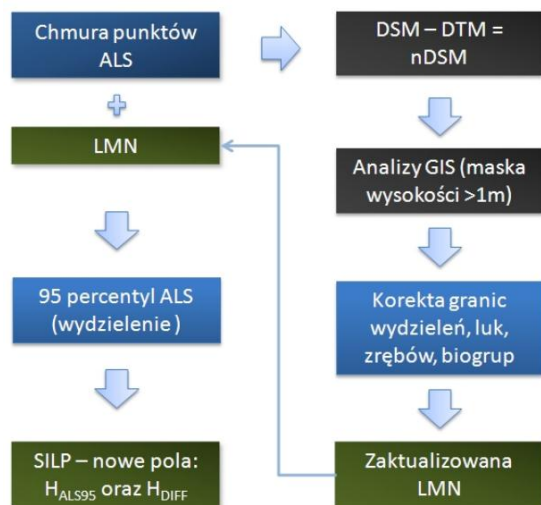


Mountain dwarf pine

ALS – aktualizacja SILP i LMN



Różnica H_{diff} pomiędzy ALS 95 oraz bazami danych SILP



Gatunek główny	Średnia H_{Diff} [m]		Średnia H_{Diff} moduł [m]		Średnia H_{Diff} ważona powierzchnią [m]		Średnia H_{Diff} ważona powierzchnią moduł [m]	
	Piasek	Milicz	Piasek	Milicz	Piasek	Milicz	Piasek	Milicz
Wszystkie	+0.90	+2.28	2.06	3.19	+0.60	+2.38	1.52	2.70
So	+0.57	+2.21	1.76	2.83	+0.41	+2.33	1.34	2.55
Bk	+1.63	+3.61	2.51	3.93	+1.37	+2.59	2.21	2.85
Db	+1.67	+2.28	2.89	4.96	+1.09	+2.84	2.10	3.86
Ol cz.	+1.00	+1.22	2.31	4.06	+1.43	+2.07	2.20	3.58

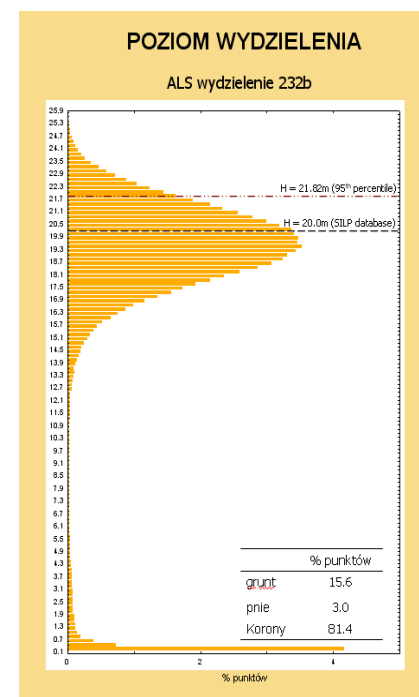
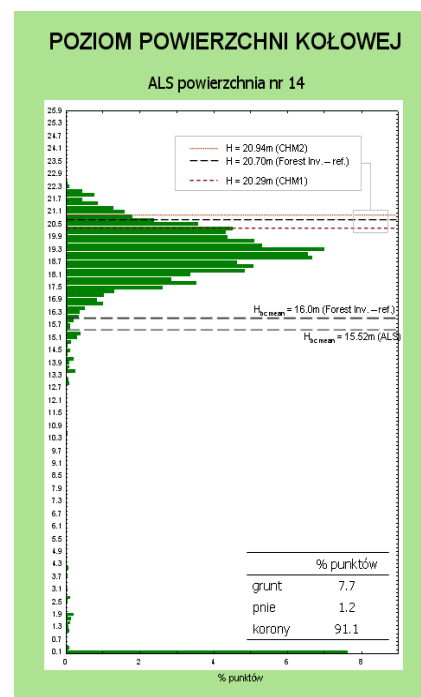
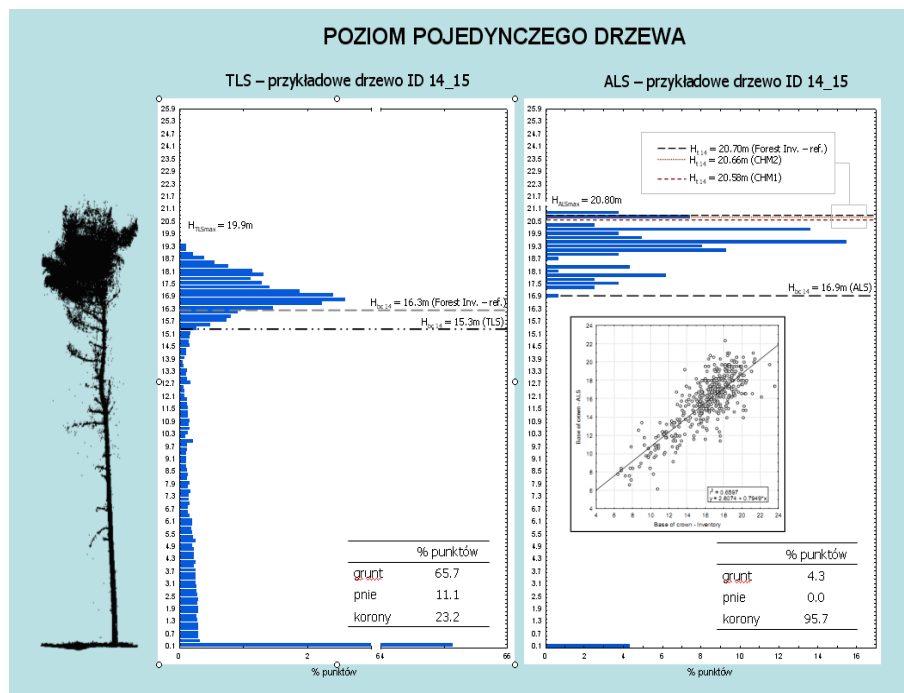
Wężyk P., Szostak M., Tompański P., 2010. Aktualizacja baz danych SILP oraz LMN w oparciu o dane lotniczego skaningu laserowego. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. XVII Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe „Nowoczesne metody pozyskiwania i modelowania danych w fotogrametrii i teledetekcji”. 80 Lat Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji. Wrocław, 21, 437-446.



ALS – modelowanie koron

Pomiar wysokości drzew i drzewostanów realizowany może być w oparciu o rastrowy MKD lub też tzw. 95 percentyl populacji chmury punktów. Stwierdzono zaniżanie MKD przez algorytm o 12cm lub 90 cm w stosunku do referencji.

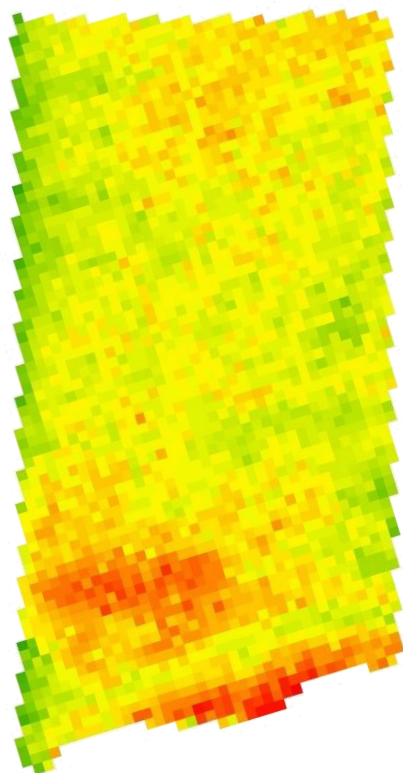
	F. INV	SILP	TLS	CHM1	CHM2
F. INV	średnia różnica [m]	-1.14 (**)	-0.98 (**)	-0.90 (**)	-0.12 (n)
	R ²	0.73	0.81	0.81	0.80
	odch. std. dla różnicy	2.15	2.18	1.77	1.81
SILP	średnia różnica [m]		0.02 (n)	0.13 (n)	0.85 (*)
	R ²		0.96	0.96	0.95
	odch. std. dla różnicy		1.01	0.94	1.02
TLS	średnia różnica [m]			0.08 (n)	0.83 (**)
	R ²			0.95	0.94
	odch. std. dla różnicy			0.86	0.94
CHM1	średnia różnica [m]				0.75 (**)
	R ²				0.98
	odch. std. od średniej				0.58



Wężyk P., 2008. Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze koron drzew. W: Geoinformacja obrazowa w świetle aktualnych potrzeb. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. ISBN 978-83-61576-08-2. 18 b, 685-695.

ALS – wysokość drzewostanu

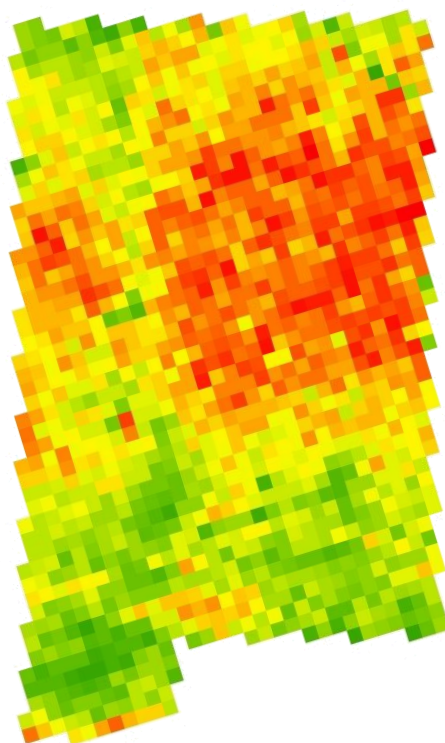
•236a (wiek: 105)



•ALS_{mean}=22.83m
(SD=2.75)

•SILP=23.0m (+0.17m)

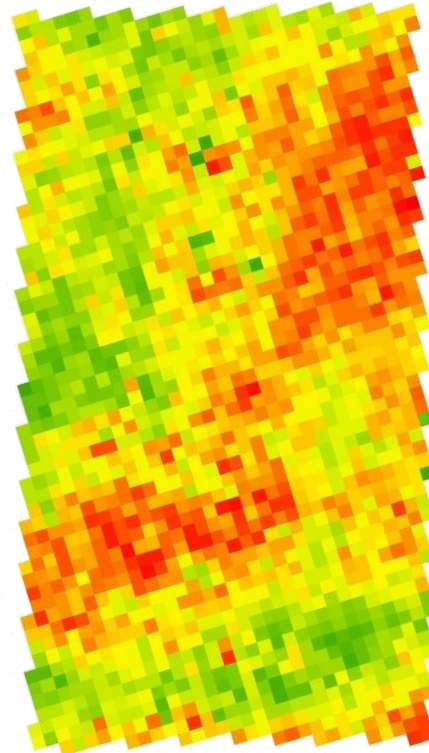
•232b (wiek: 67)



•ALS_{mean}=21.00m
(SD=1.23)

•SILP=20.0m (-1.0m)

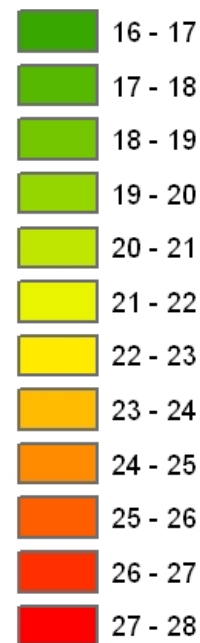
•233b (wiek: 57)



•ALS_{mean}=20.37m
(SD=1.15)

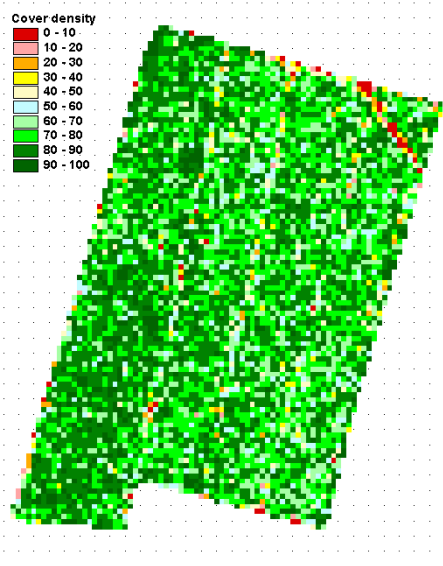
•SILP=19.0m (-1.37m)

•Wysokość [m]

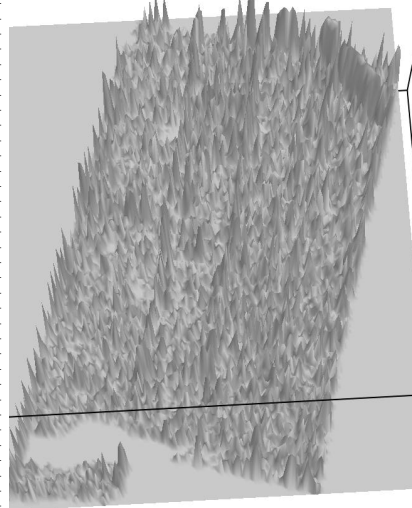


Wężyk P., 2008. Modelowanie chmury punktów ze skaningu laserowego w obszarze koron drzew. W: Geoinformacja obrazowa w świetle aktualnych potrzeb. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. ISBN 978-83-61576-08-2. 18 b, 685-695.

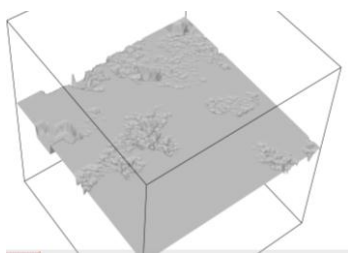
ALS – zwarcie koron drzew



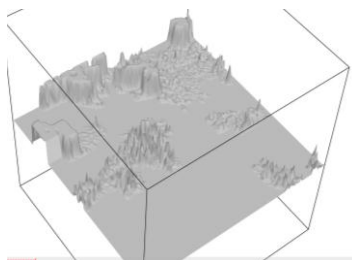
Zwarcie (0-100)



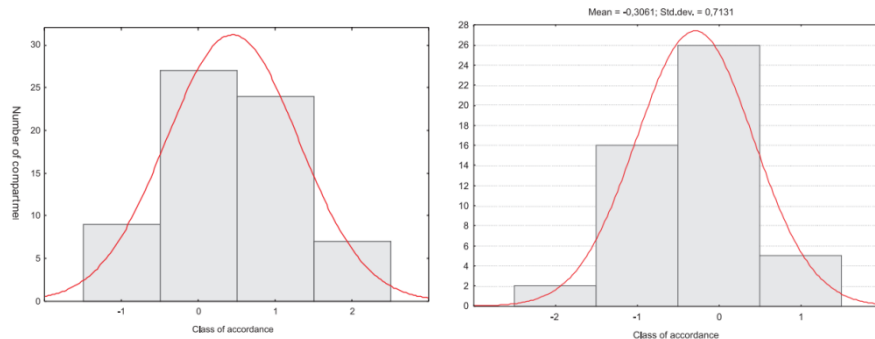
penetracja



zwarcie



penetracja

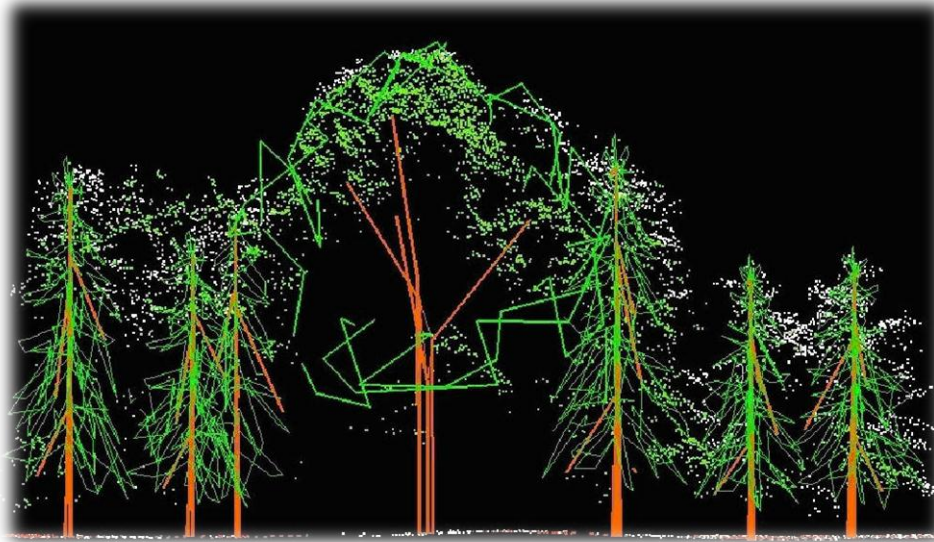


Wykres zgodności dla d-stanu iglastego (z lewej) i liściastego (z prawej)

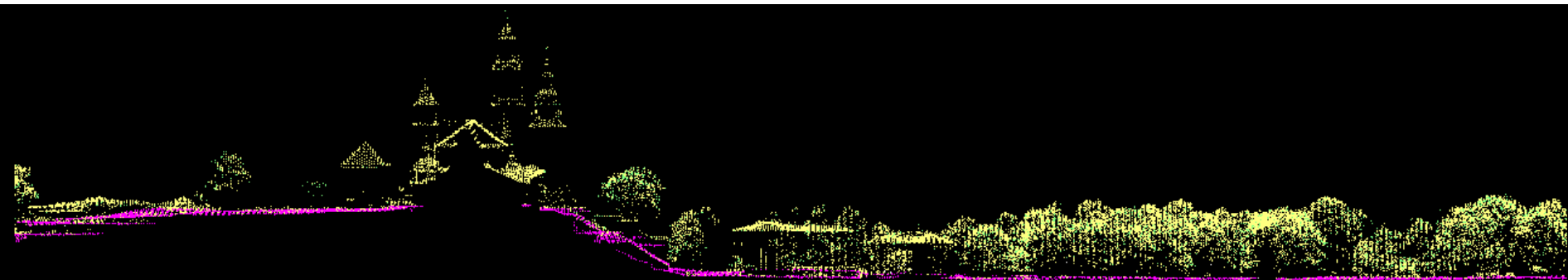
Zwarcie koron określone jest szacunkowo przez co istnieje duża trudność do porównania wyników z przetwarzania chmury punktów ALS. Pojawiają się jednak nowe możliwości monitorowania stanu aparatu asymilacyjnego dzięki określeniu struktury pionowej chmury punktów.

Wężyk P., Sieczka A., 2010. Describing the canopy closure of forest stands using the method based on the airborne laser scanning at the example of Chojna forest district. *Geoinformatica Polonica*. ISSN 1642-2511. 10, 75-84.

ALS – zieleń miejska



Rozwój algorytmów do analizy chmury punktów prowadzi do wykrywania pojedynczych drzew umożliwiając generowanie zasięgu korony, objętości czy powierzchni. W dalszej kolejności można określać wskaźniki udziału zieleni w przestrzeni 3D miejskiej – ranking dzielnic (jakość życia).

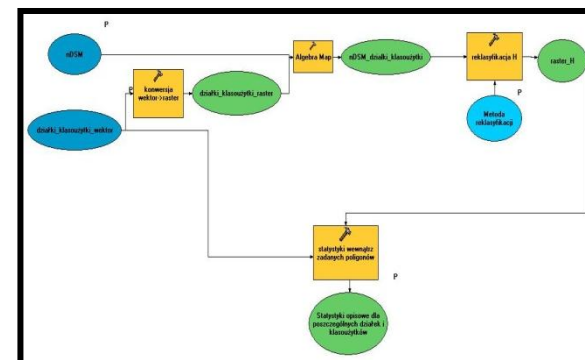


Wężyk P., Wawrzeczko E., 2009. Zastosowanie lotniczego skaningu laserowego w określaniu zwarenia koron drzew na Plantach krakowskich. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. ISBN 978-83-61576-10-5. 20, 457-467

ALS – sukcesja leśna

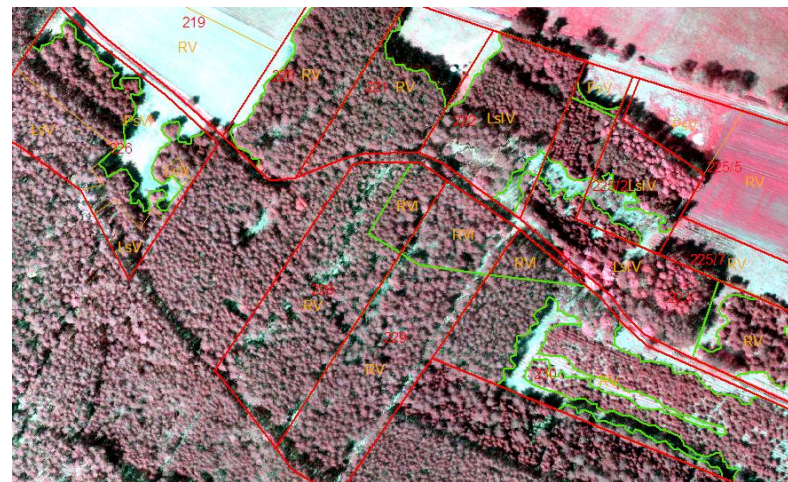
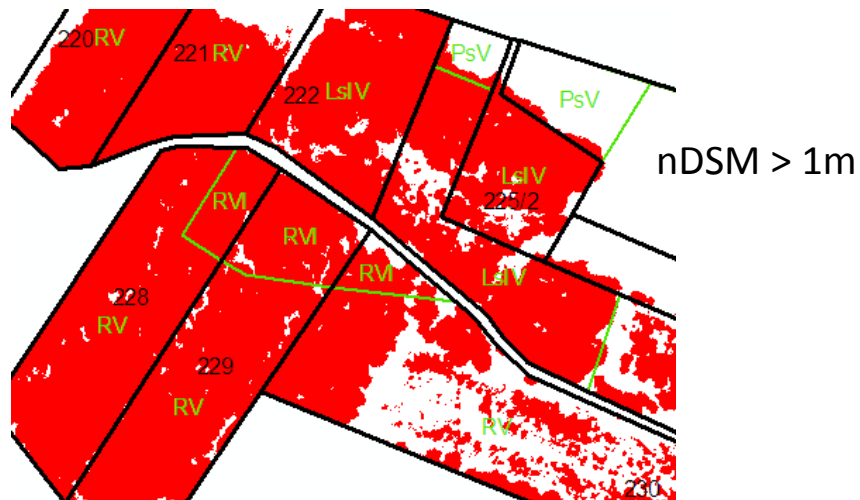


Dopłaty bezpośrednie kontrolowane są metodą FOTO, która ma ograniczenia w zakresie stosowania zdjęć lotniczych. Wsparcie technologii LiDAR polega na automatycznym generowaniu zNMPT >1m w celu weryfikacji klasy użytku (analizy GIS).



Wężyk P., Szostak M., Tompalski P., 2009. Porównanie dokładności metody „FOTO” z automatyczną analizą danych lotniczego skaningu laserowego dla celów kontroli dopłat bezpośrednich. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. 20, 445-456.

ALS – sukcesja leśna



True orthophoto

Użytek	Łączna powierzchnia [procent całości]					
	EGiB	ALS - 1m	ALS - 2m	ALS - 3m	ORTHO	TRUEORTHO
R	68.3%	41.3%	45.1%	48.7%	42.4%	40.8%
Ł	5.0%	3.2%	3.3%	3.4%	3.6%	3.5%
Ps	10.5%	6.0%	6.4%	6.8%	6.4%	6.6%
Ls, Lz	14.1%	48.5%	44.1%	40.0%	46.5%	48.1%
Bz	1.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
N	1.1%	0.9%	1.0%	1.0%	1.0%	0.9%
Wp	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
SUMA	100.0%					

Użytek	Różnica [%] ALS(1m) - ORTHO
R	-1.10%
Ł	-0.40%
Ps	-0.40%
Ls, Lz	2.00%
Bz	0.10%
N	-0.10%
Wp	-0.10%
SUMA	0.00%

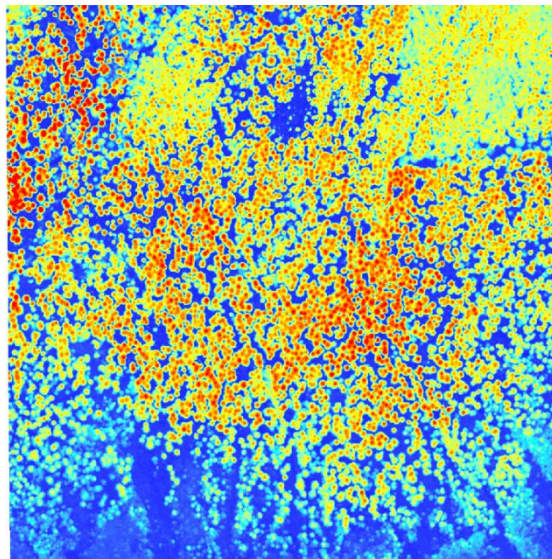
Wężyk P., Szostak M., Tompalski P., 2009. Porównanie dokładności metody „FOTO” z automatyczną analizą danych lotniczego skaningu laserowego dla celów kontroli dopłat bezpośrednich. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. 20, 445-456.



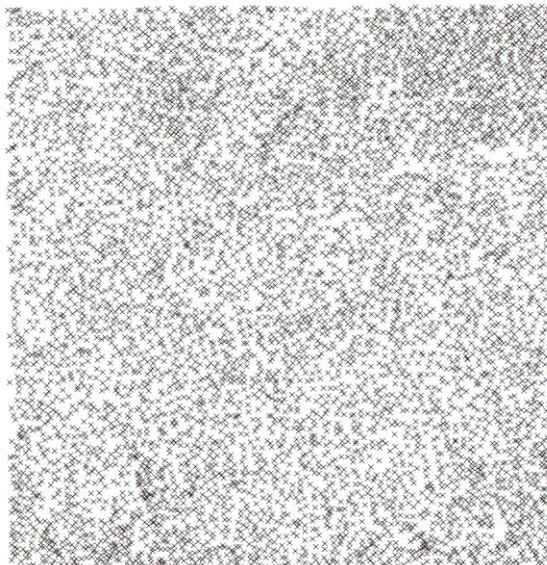
ALS Tatry



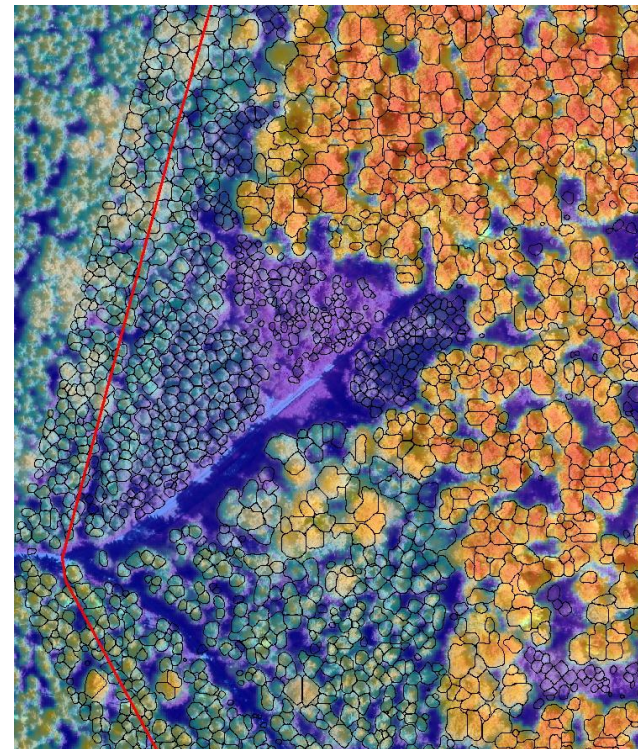
Number of trees (nDSM local maxima)



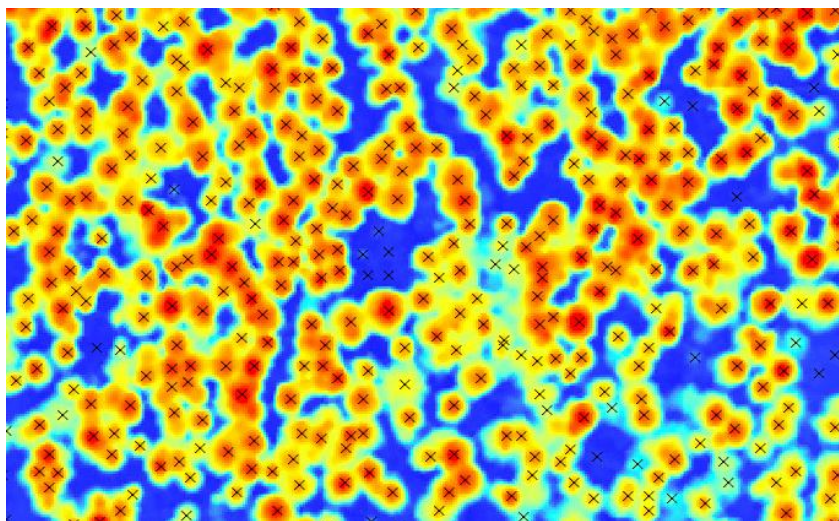
nDSM



Tree top positions

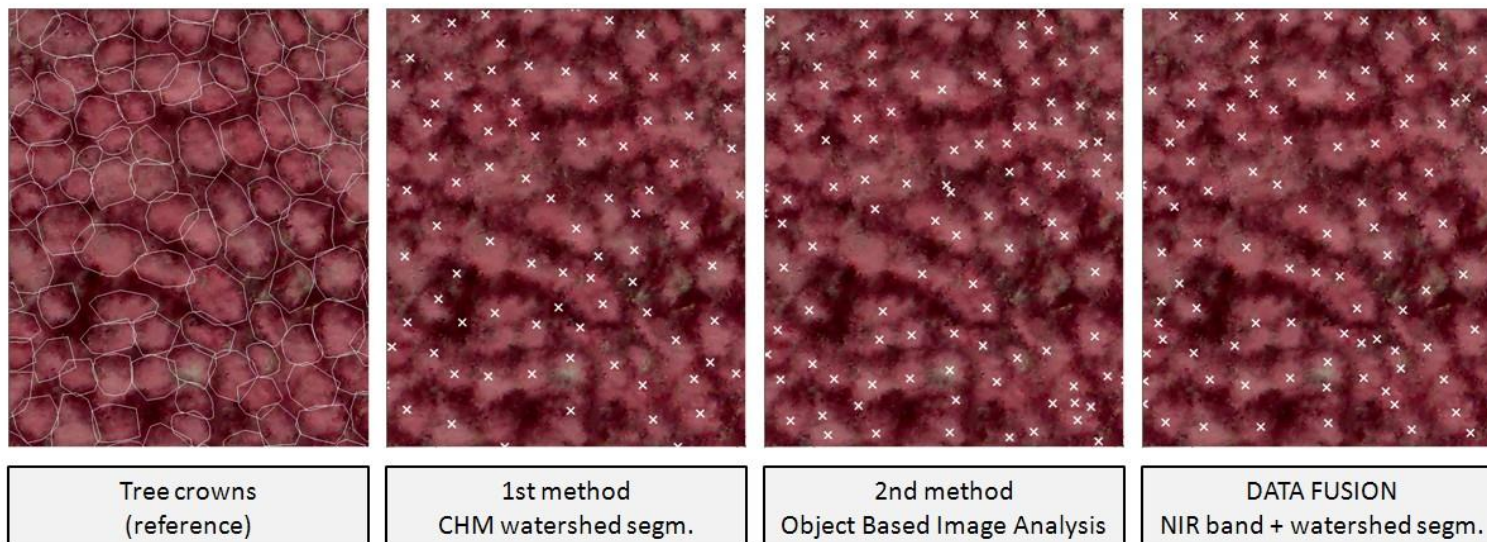


nDSM + ortho + tree crowns segmented



Number of all trees = 7003;
Trees > 25m = 2307

ALS + OBIA = precyzyjne leśnictwo

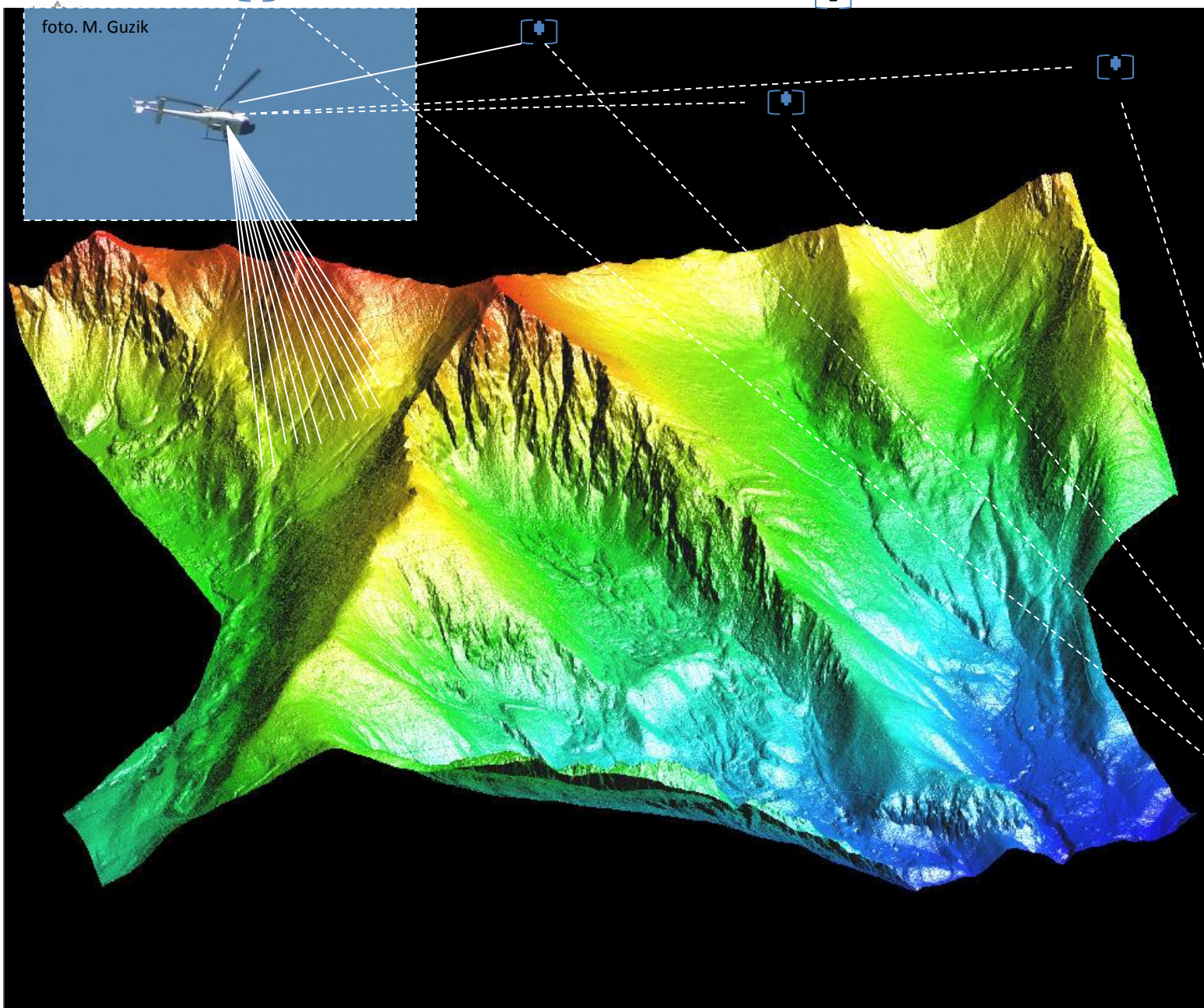


Zastosowanie klasyfikacji OBIA wspartej kanałem NIR oraz zNMPT poprawia wyniki szacowania liczby drzew w stosunku do algorytmu „GIS watershed” o kolejne ~12% (błędy pominięcia).

	ALS + segmentacja watershed		OBIA		Integracja danych NIR + CHM	
	szt.	%	szt.	%	szt.	%
Drzewa wykryte	1268	83,7	1487	98,2	1576	104,0
Drzewa wykryte poprawnie	1015	67,0	1129	74,5	1100	72,6
Błąd przeszacowania	65	4,3	122	8,1	135	8,9
Błąd pominięcia	430	28,4	265	17,5	249	16,4

Wężyk P., Tompalski P., de Kok R., Szostak M., Kukawski M., 2010. Metoda szacowania liczby drzew w drzewostanie sosnowym z wykorzystaniem danych ALS oraz ortoobrazów. Sylwan 154 (11): 773-782

foto. M. Guzik



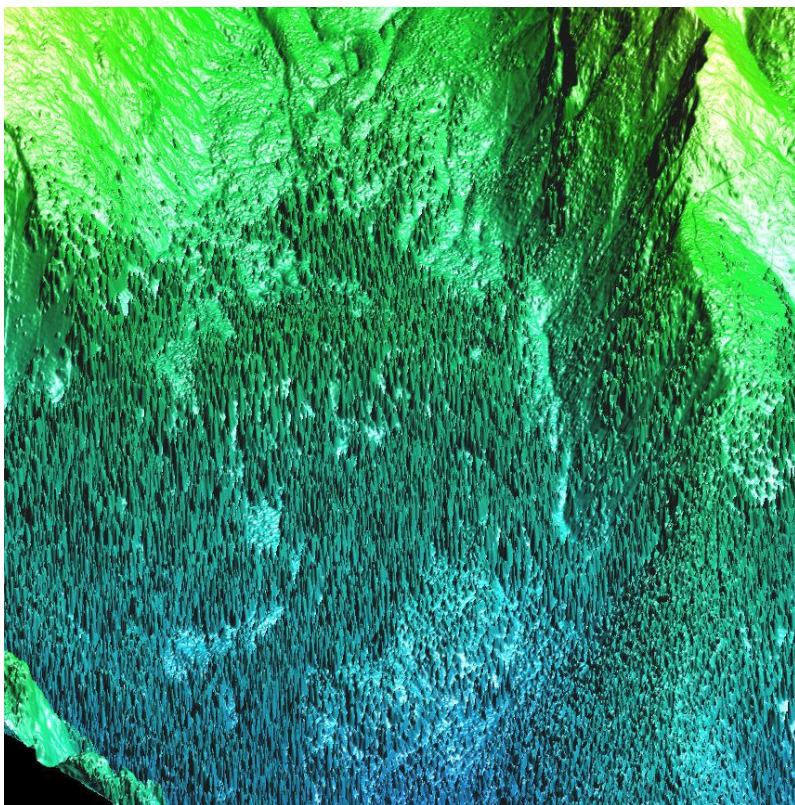
ALS

**DTM
Tatry
2006
4 pkt/ 1
sqm**

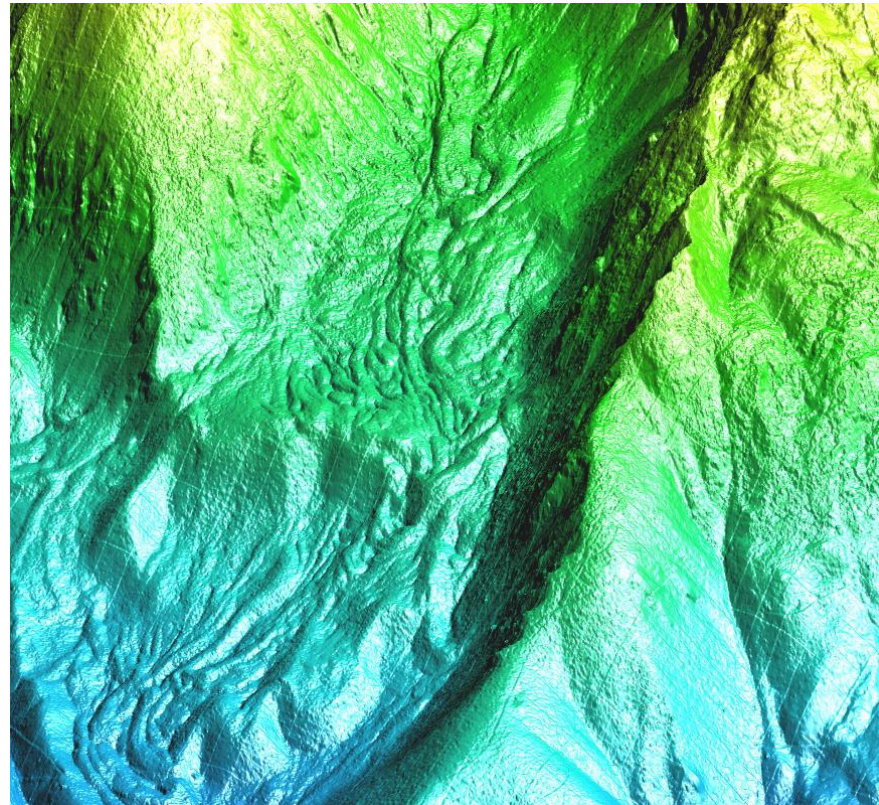
Baza GPS



ALS – Geomorfologia (Tatry)



Wizualizacja NMPT dla fragm. Doliny Suchej Kasprowej, widoczny drzewostan świerkowy i górna granica lasu.

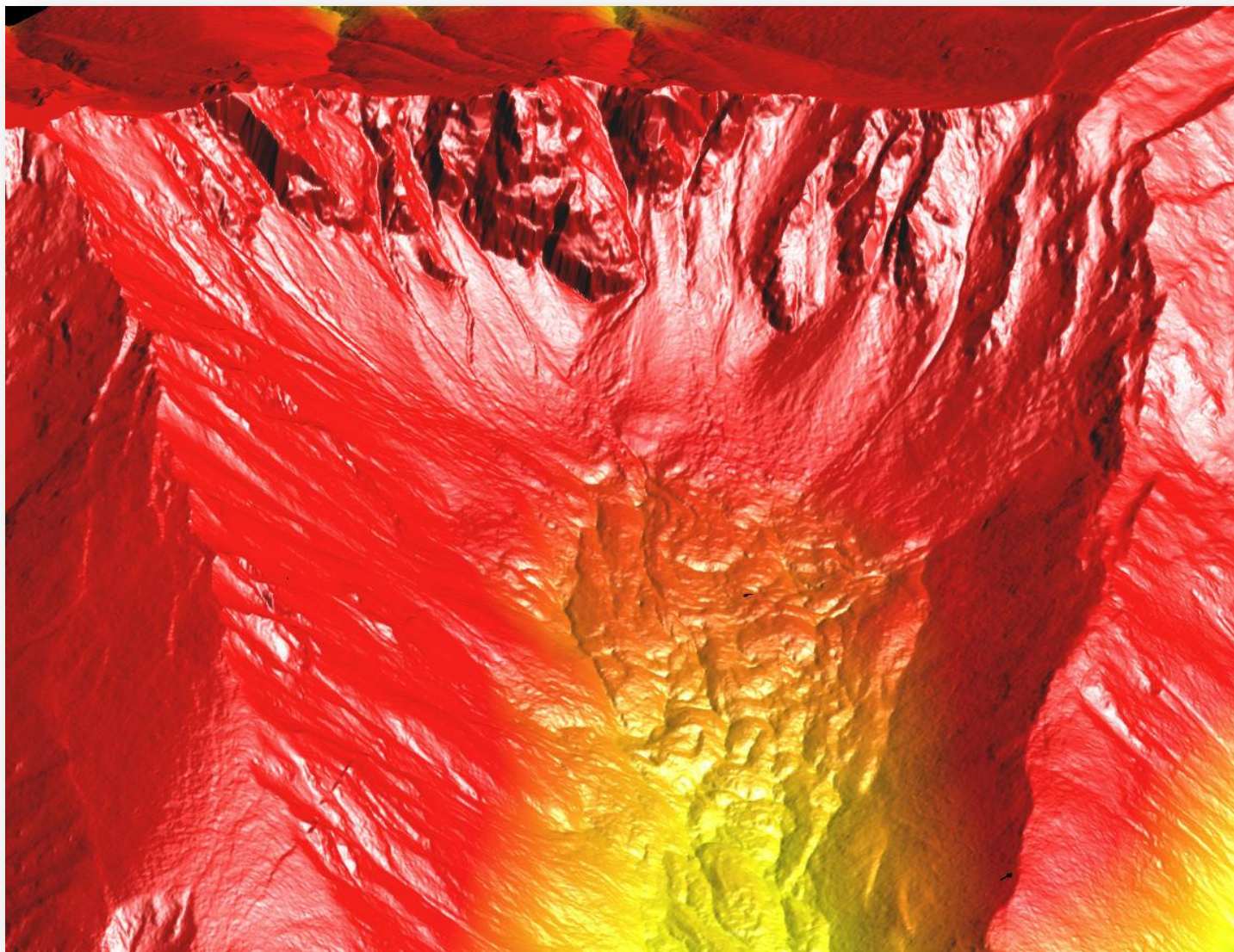


Wizualizacja NMT dol. Suchej Kasprowej po odfiltrowaniu punktów nie stanowiących klasy grunt. Wyraźne osady morenowe lodowca spływającego do Doliny Bystrej.



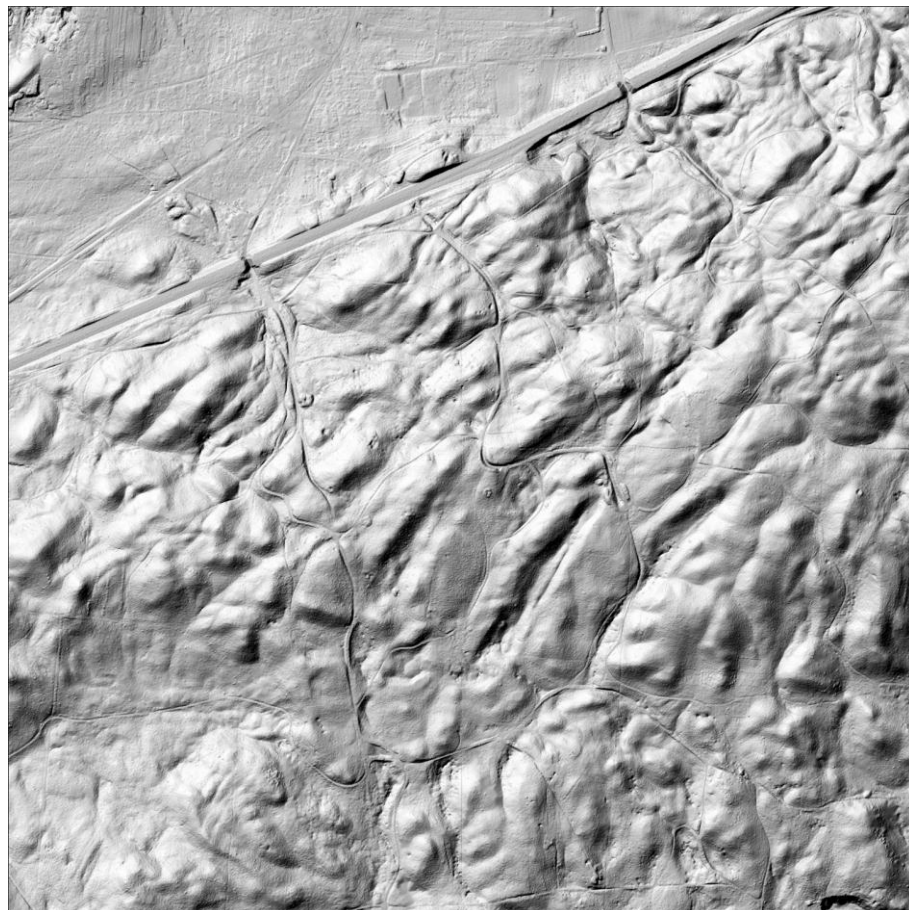
ALS – Geomorfologia

Dolina Świńska - 2007

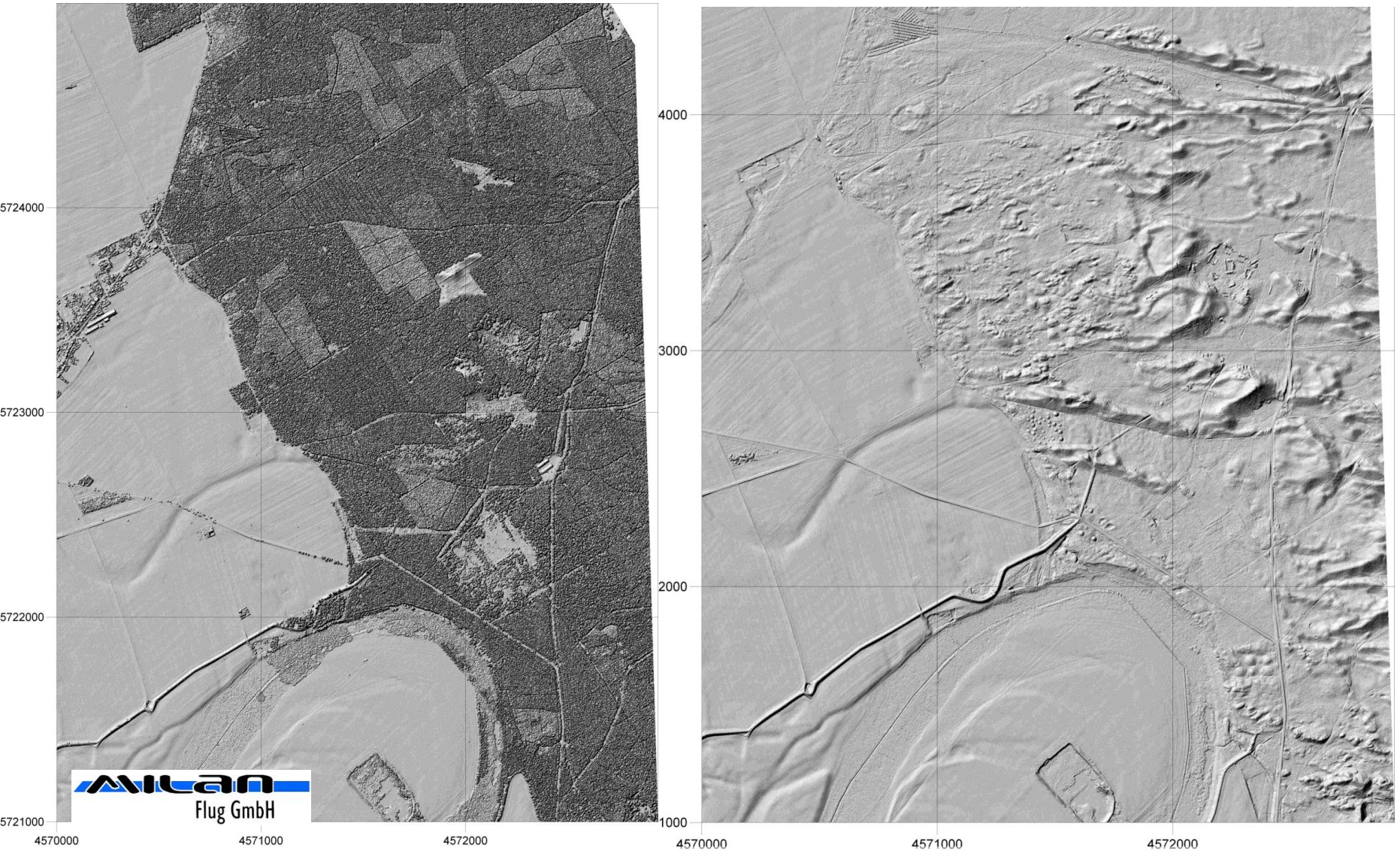




NMPT

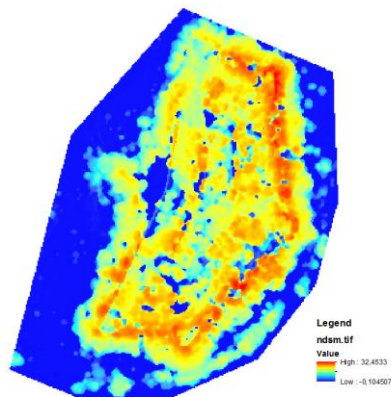


NMT

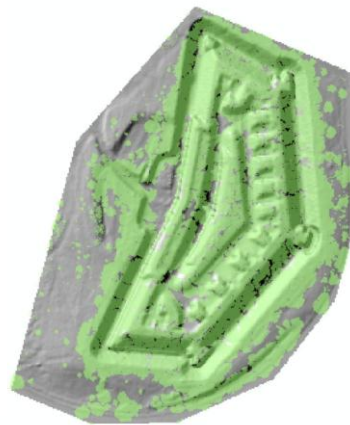


©Staatliches Amt für Umwelt & Natur sowie Landesvermessungsamt Mecklenburg Vorpommern

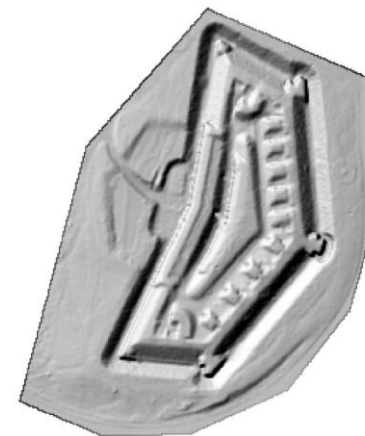
ALS – inwentaryzacja fortyfikacji



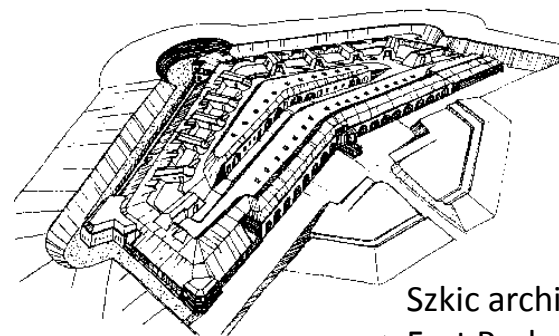
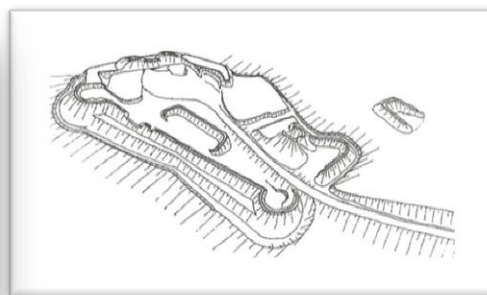
zNMPT „Prokocim”



zNMPT roślinności



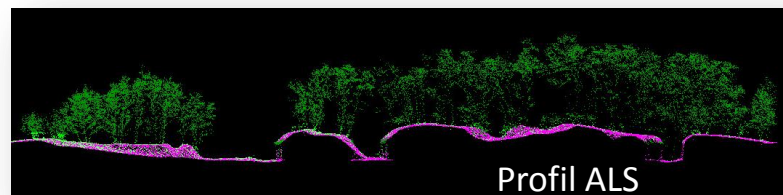
Cieniowany relief NMT



Szkic archiwalny
Fort Prokocim



cieniowany relief NMT



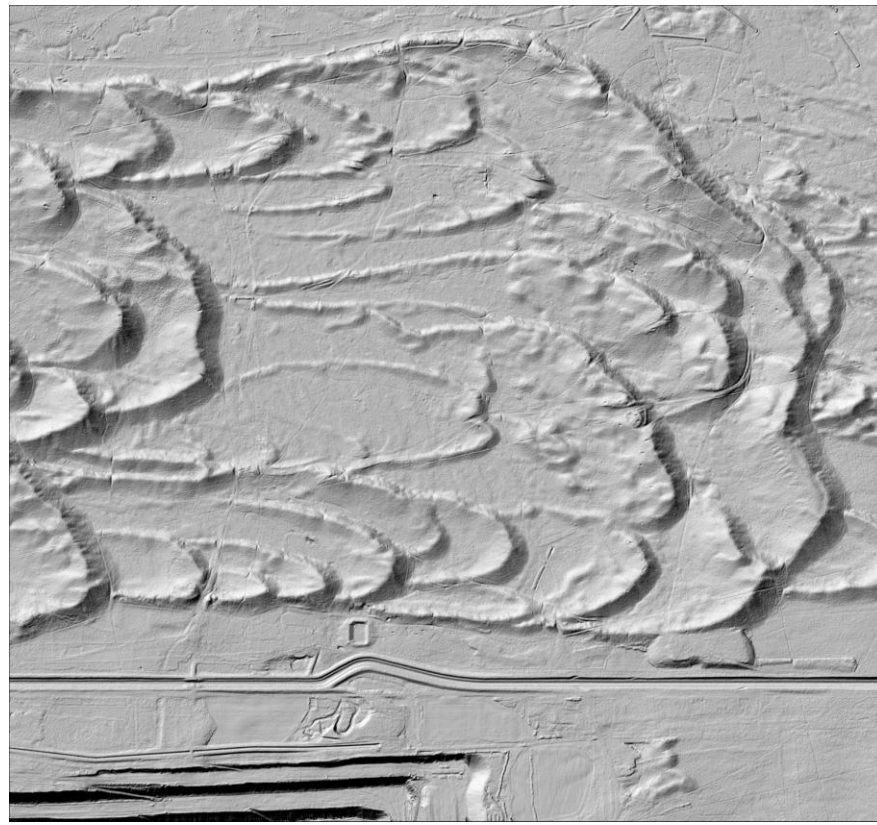
Profil ALS





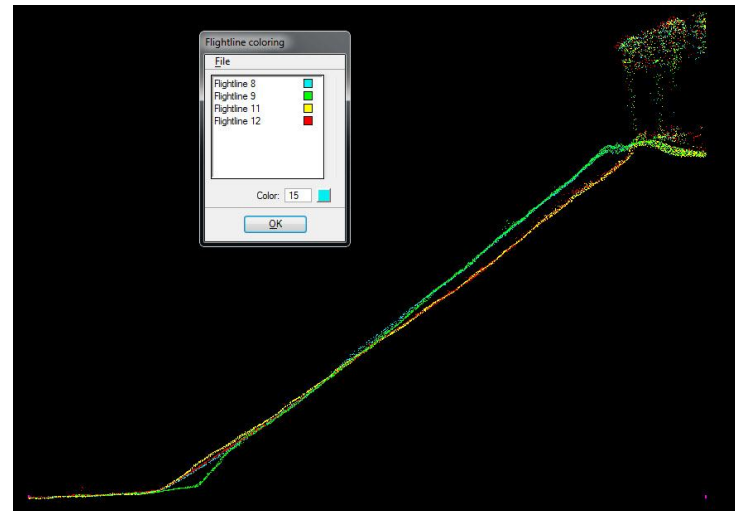
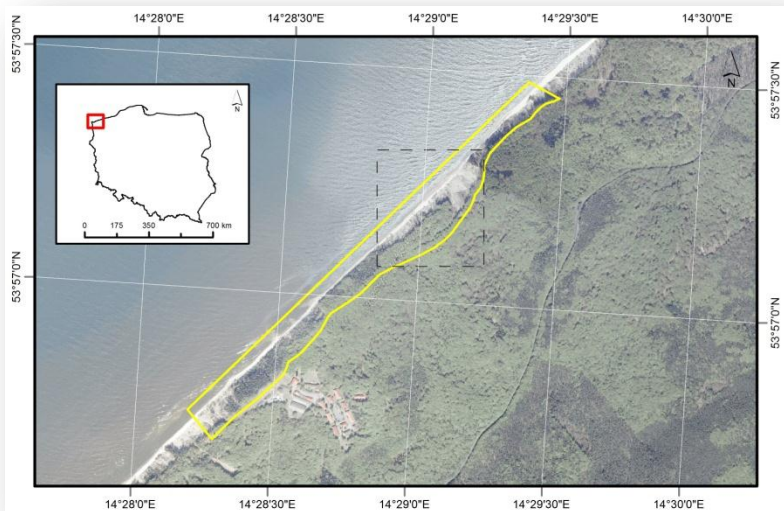


ALS - geomorfologia

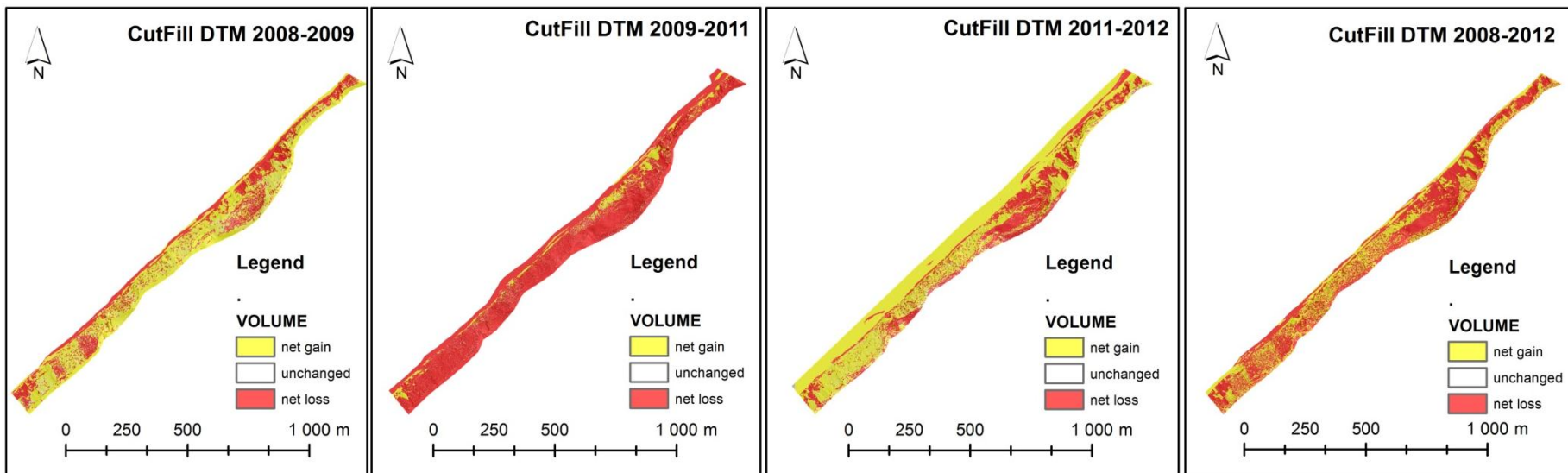


Milan
Flug GmbH

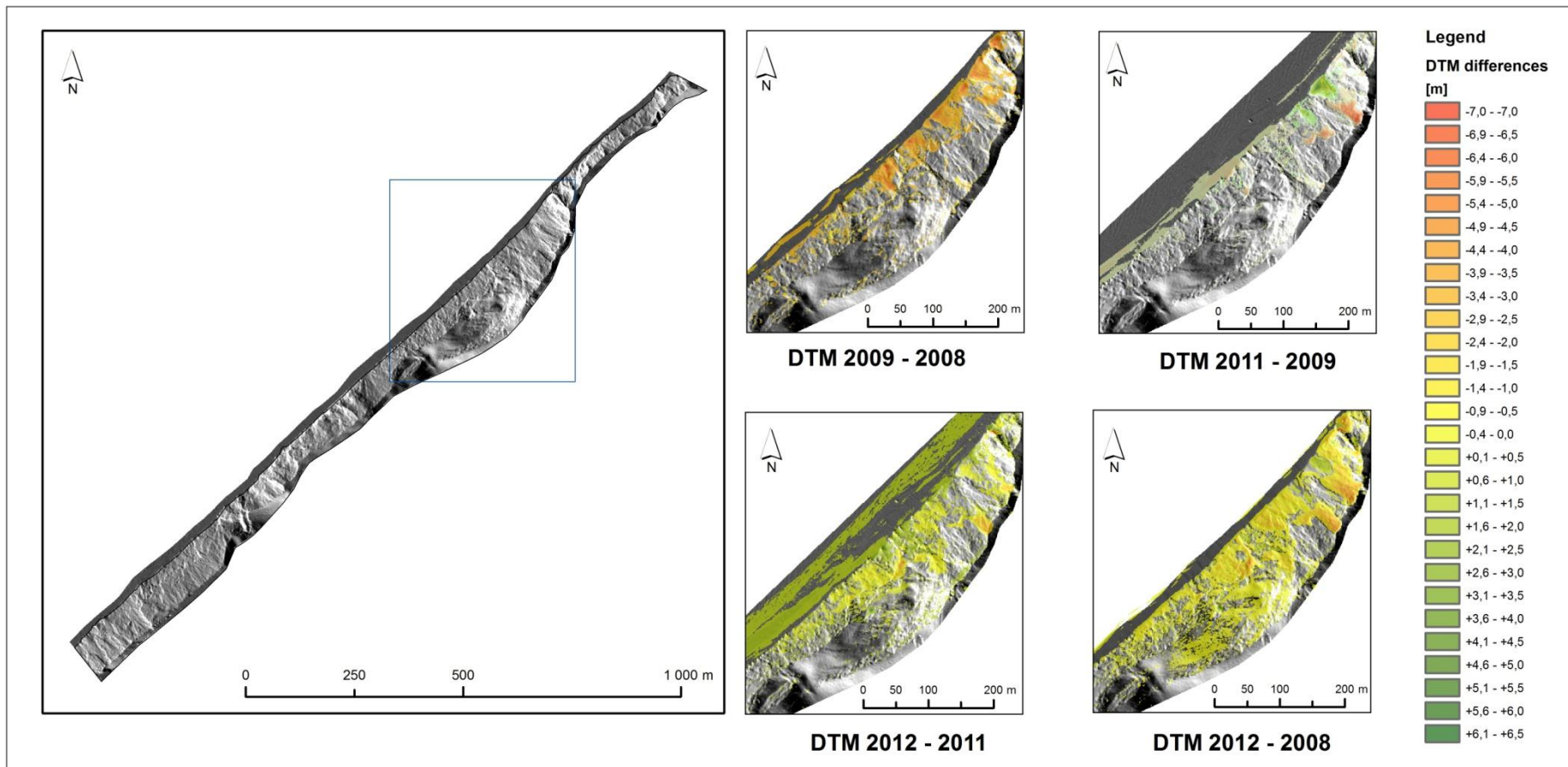
ALS – Brzeg morski



Dudzińska –Nowak J., Wężyk P. 2013

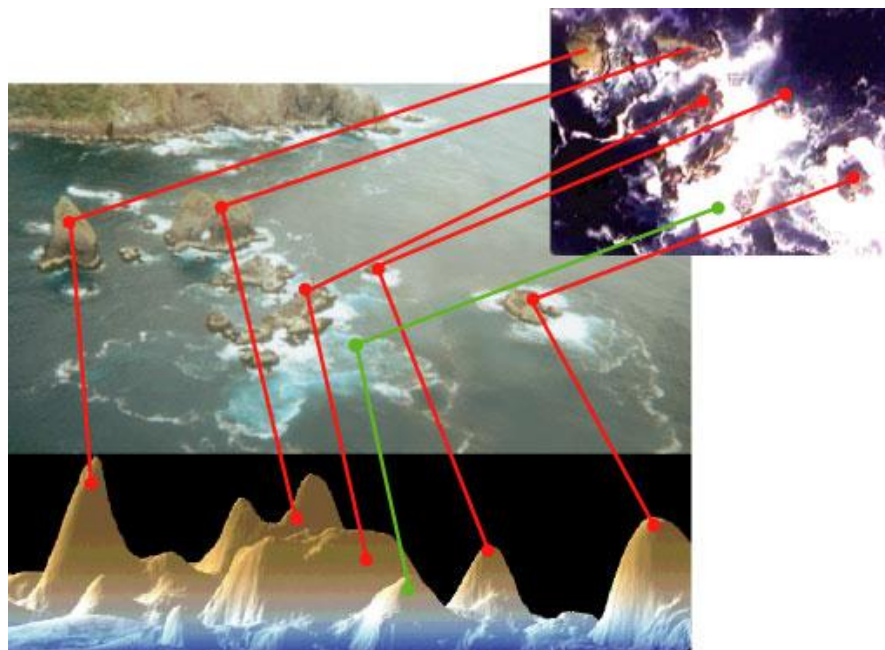


ALS – Brzeg morski

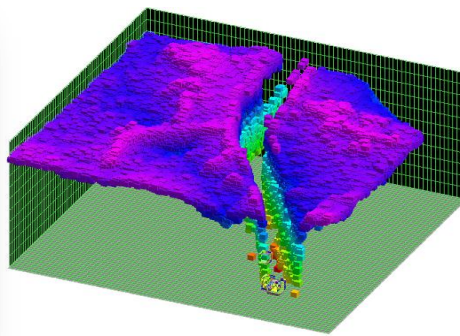
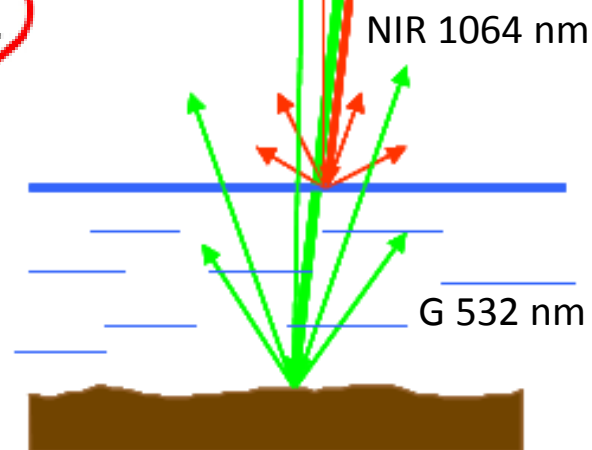
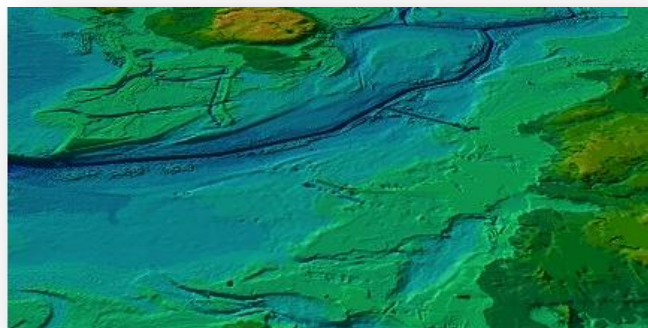


Dudzińska –Nowak J., Wężyk P. 2013

ALS – batymetria SHOALS

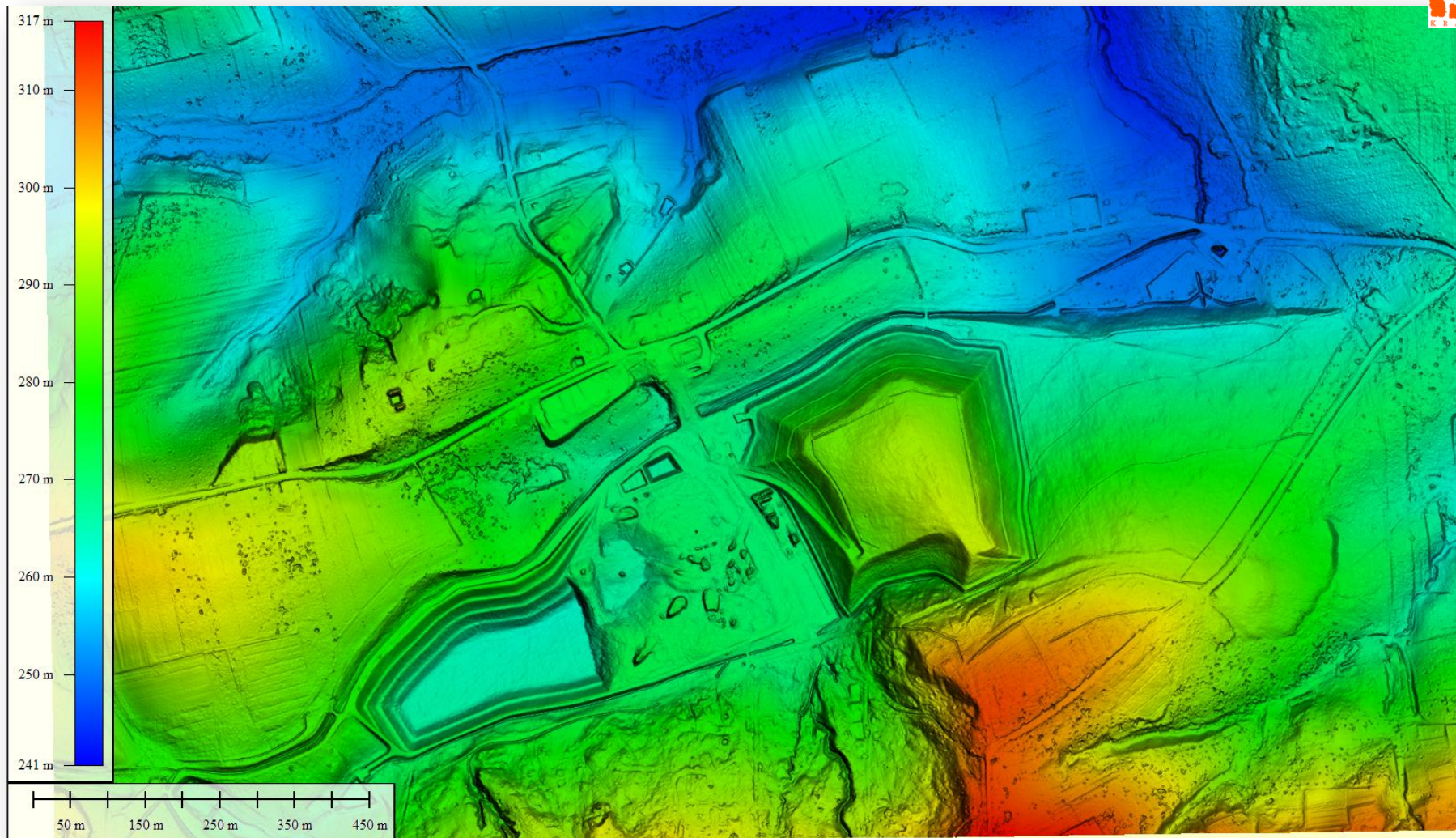


Batymetria dna morza



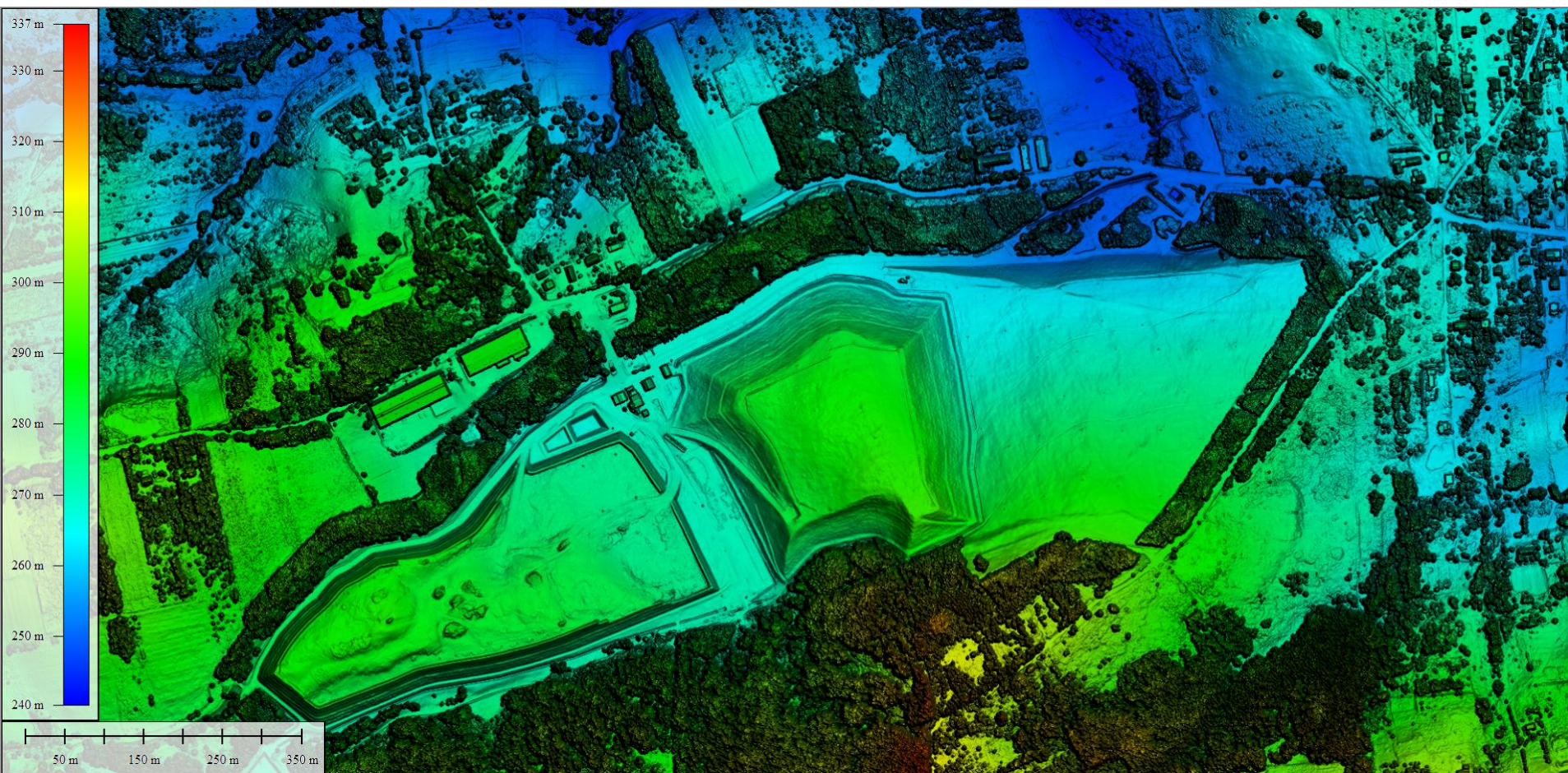


Monitoring składowania odpadów komunalnych – Numeryczny Model Terenu - ALS 2006 (BPP UM Krakowa)



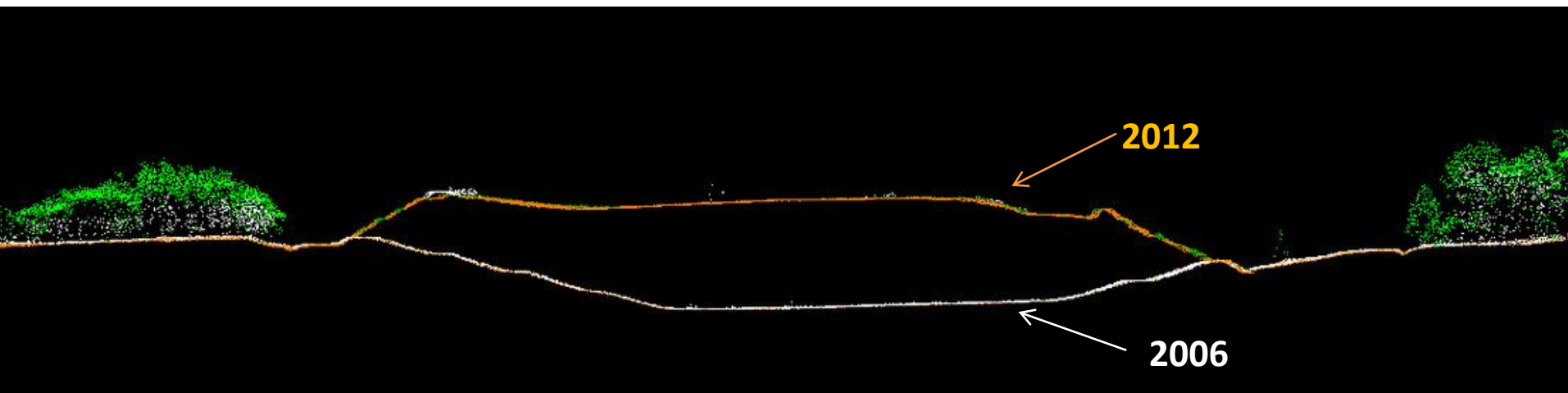


Monitoring składowania odpadów komunalnych – NMPT 2012 (ALS ISOK)

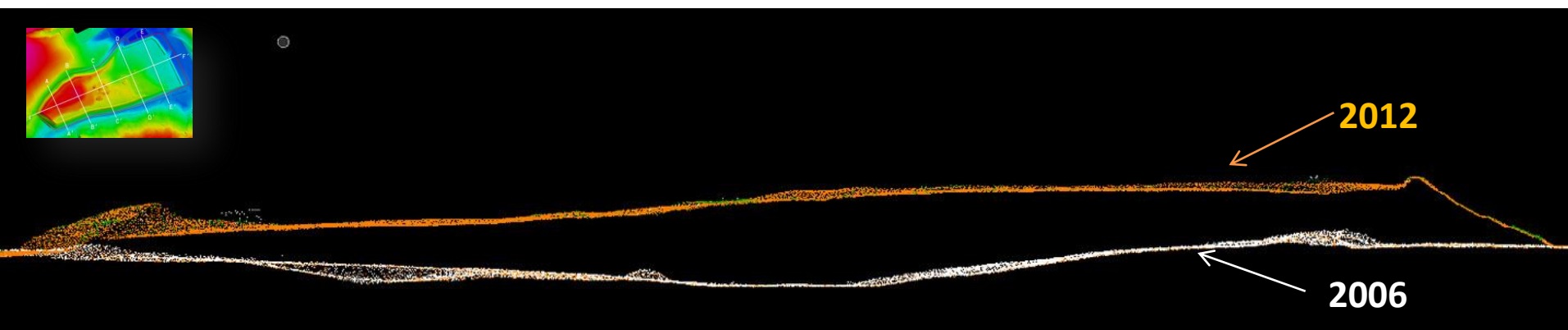




Monitoring składowania odpadów komunalnych – przekroje różnic NMT 2012 - 2006

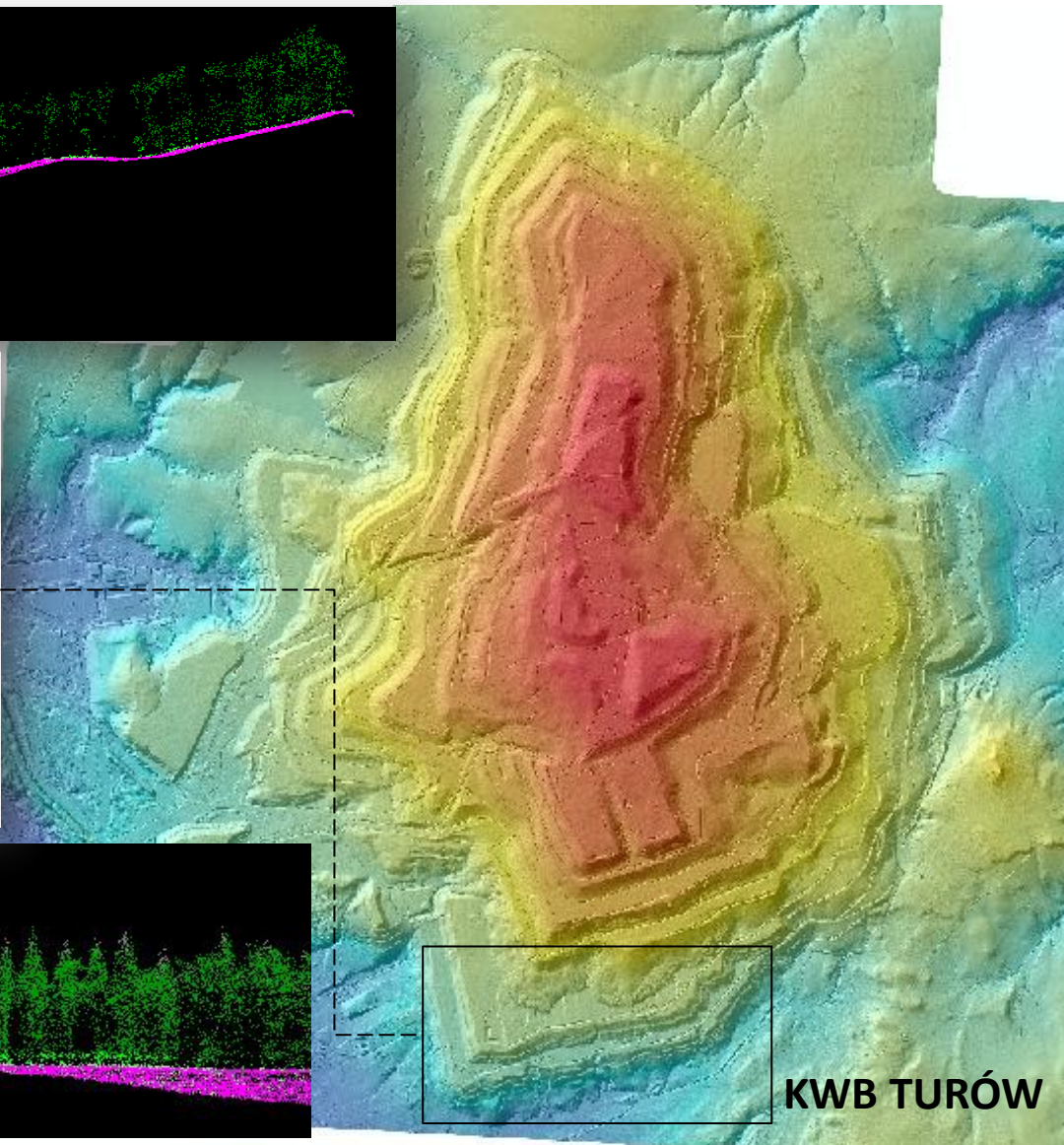
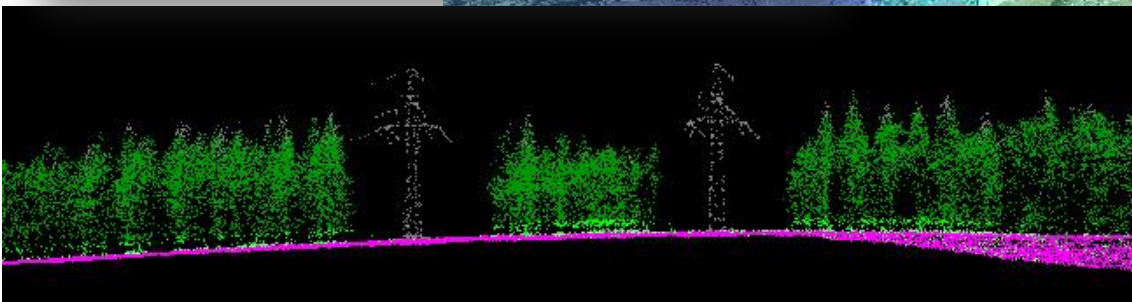
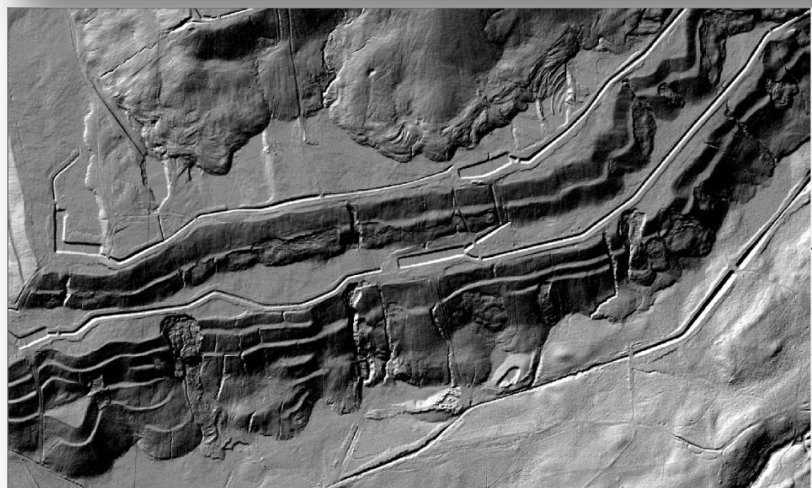
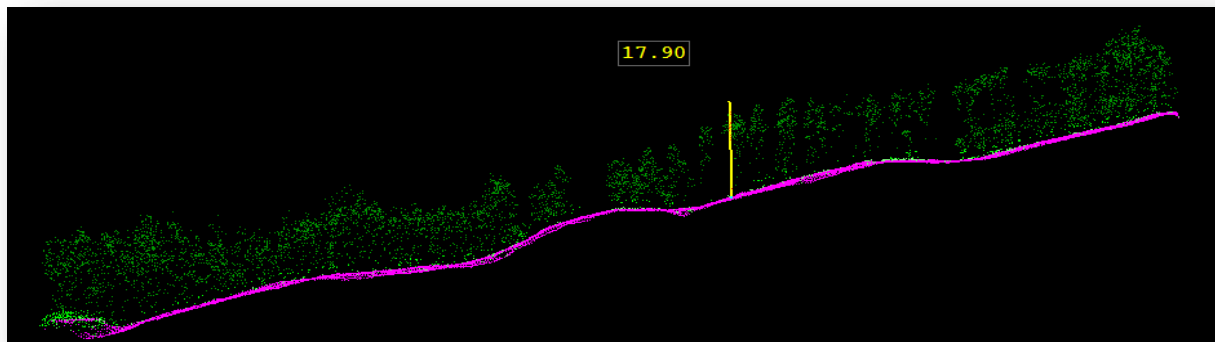


Różnica objętości NMT 2012 – NMT 2006 = 1,183 mln m³



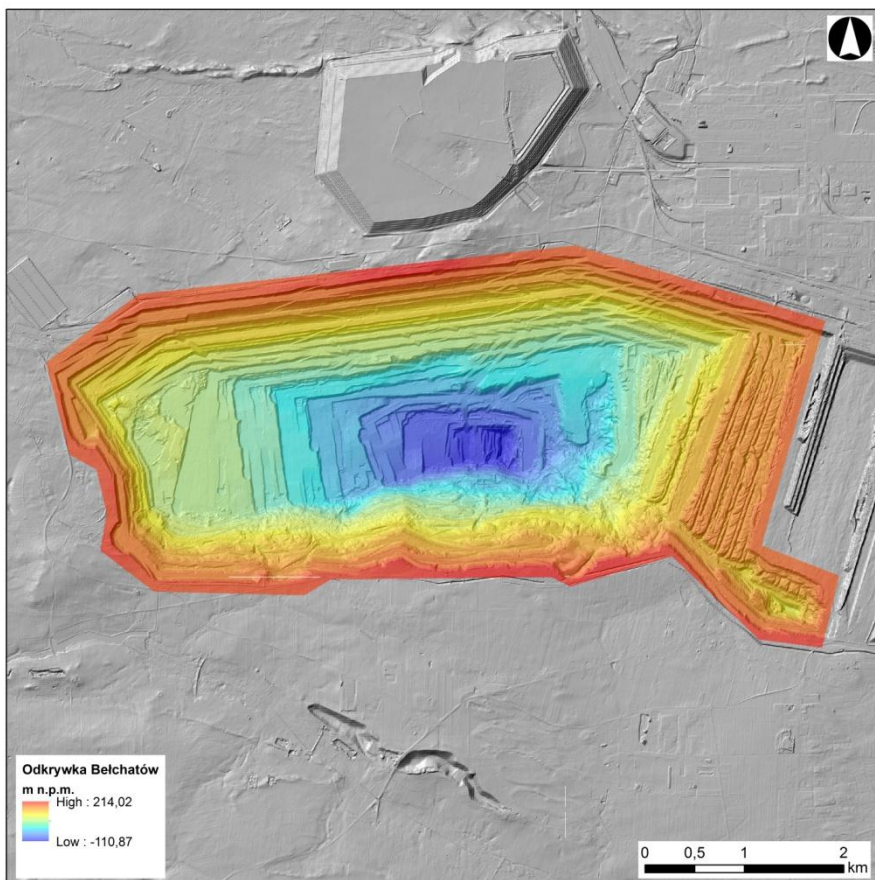


ALS – analizy terenów po rekultywacji

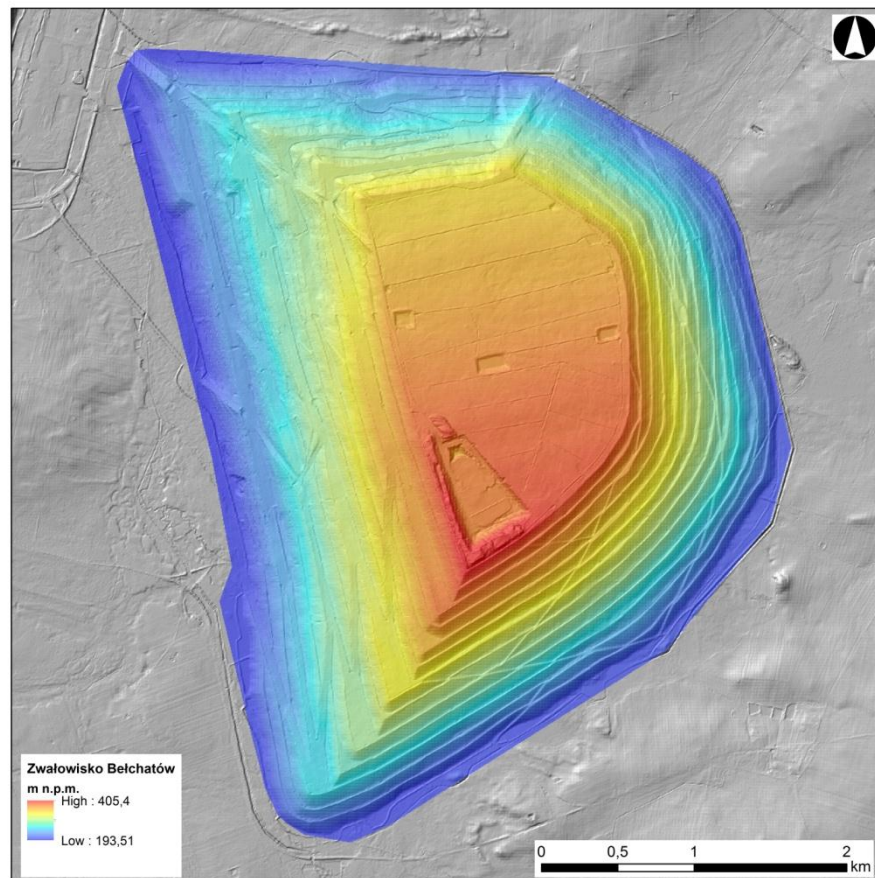




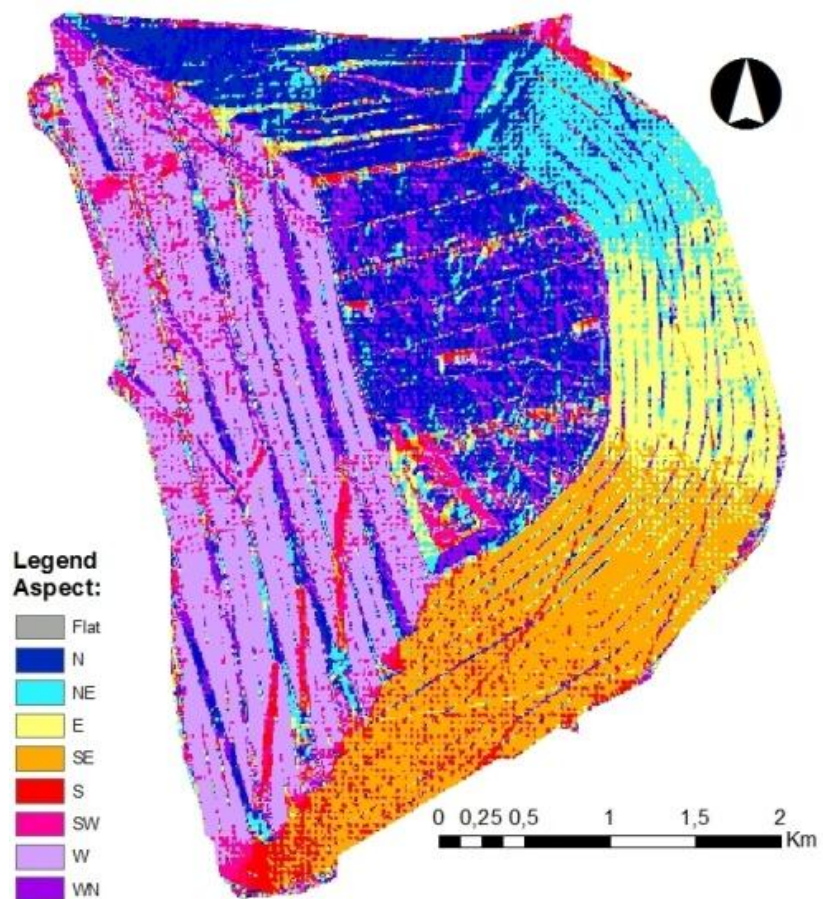
Wyniki – analizy NMT Góra Kamieński



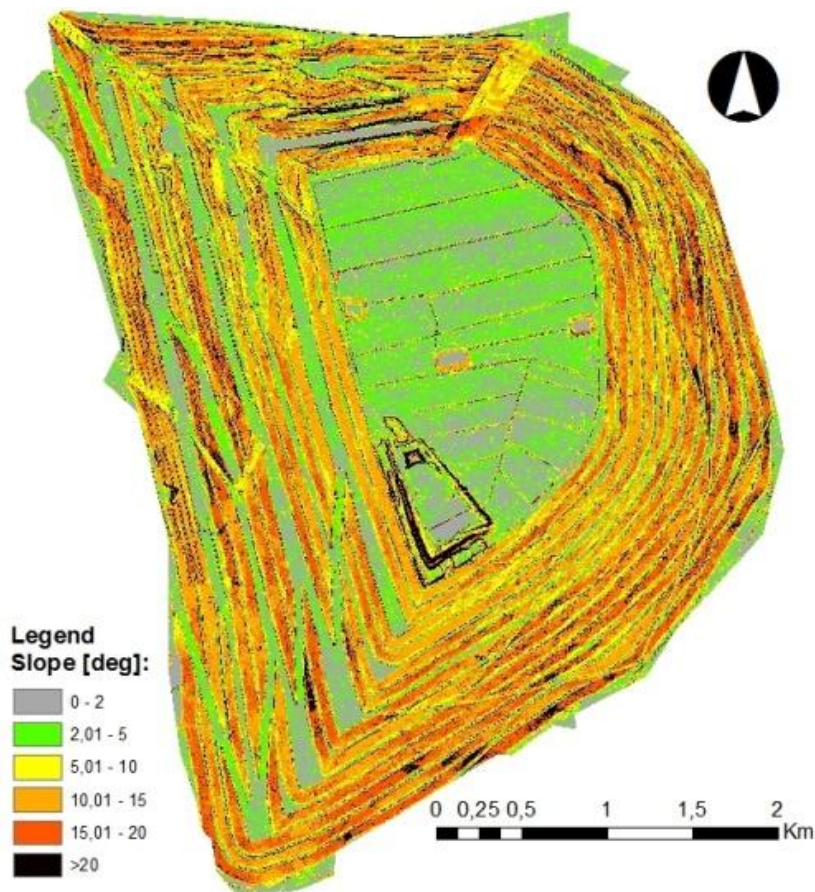
min. / maks. H = -110,87/ 214,02 m n.p.m. min. / maks. H = 193,51 / 405,40 m n.p.m.
objętość = 2.556.330.457 m³ objętość = 1.366.000.178 m³
Powierzchnia 2D = 2.258,56 ha Powierzchnia 2D = 1.583,36 ha
Powierzchnia 3D = 2. 375,71 ha Powierzchnia 3D = 1.616,77 ha



Wyniki NMT



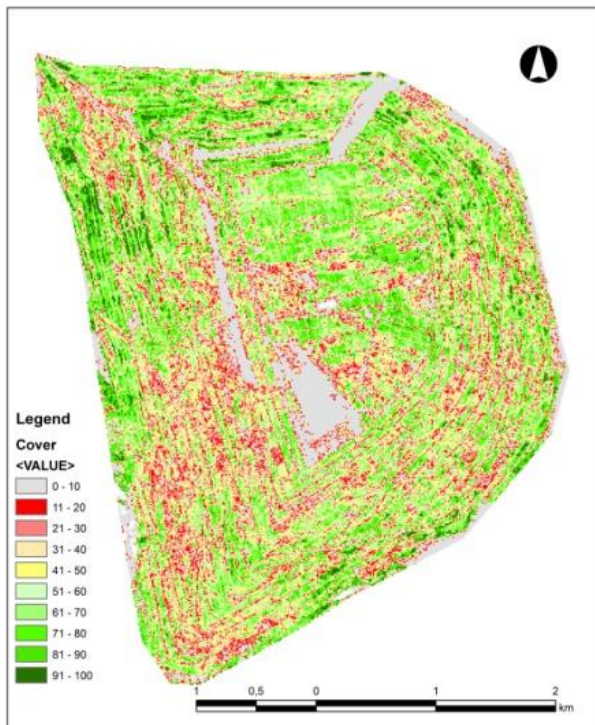
Ekspozycja



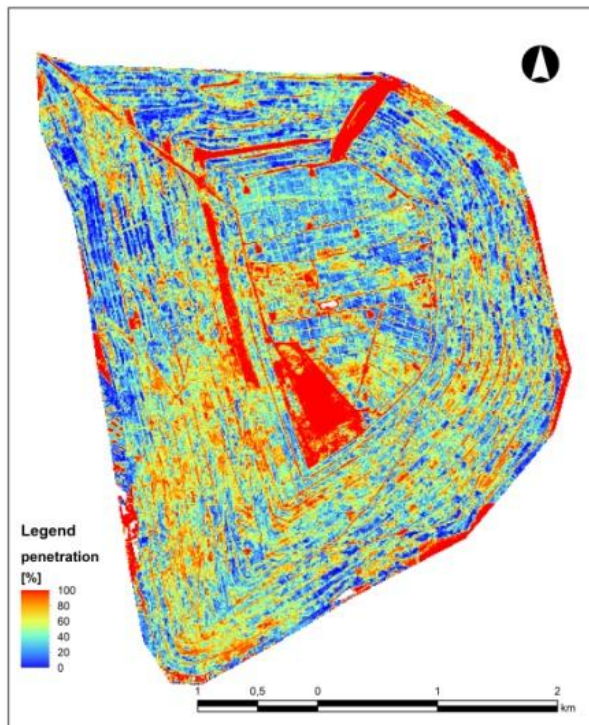
Spadki

Wyniki Kierunek leśnej rekultywacji

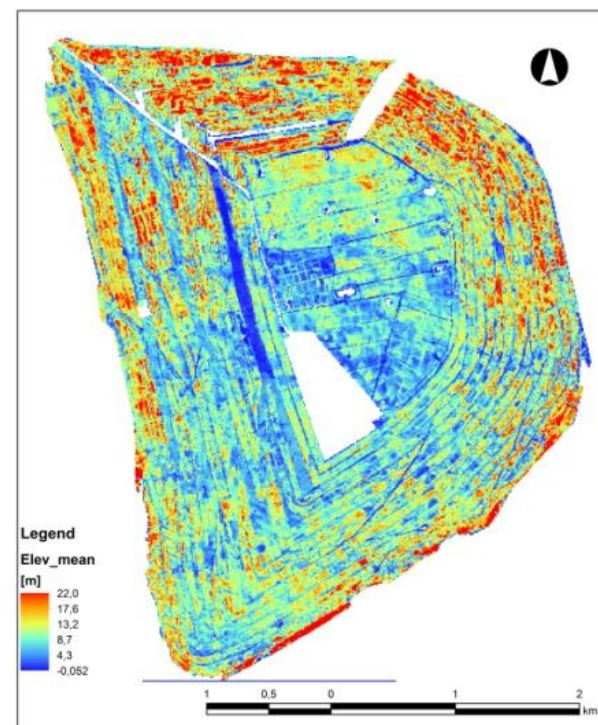
Cechy drzewostanów określone w oparciu o analizę chmury punktów ALS



Zwarcie (cover)



Penetration

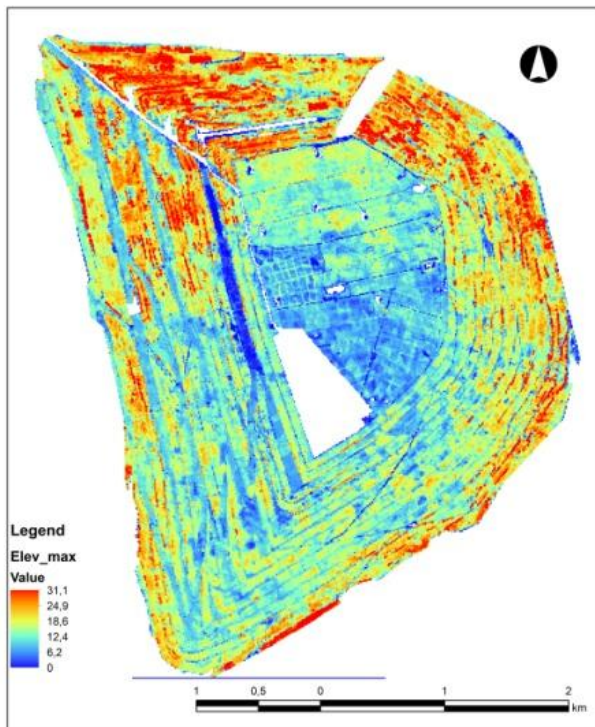


Wysokość roślinności
(elevation)

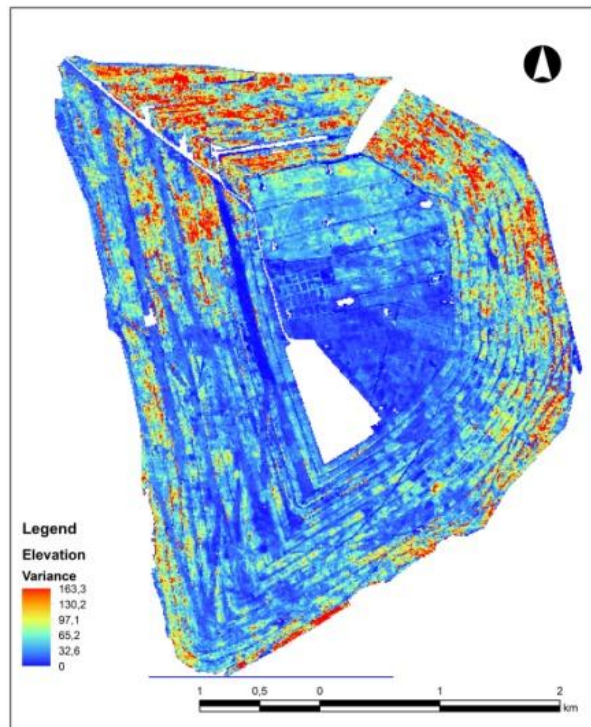
Wyniki

Kierunek leśnej rekultywacji

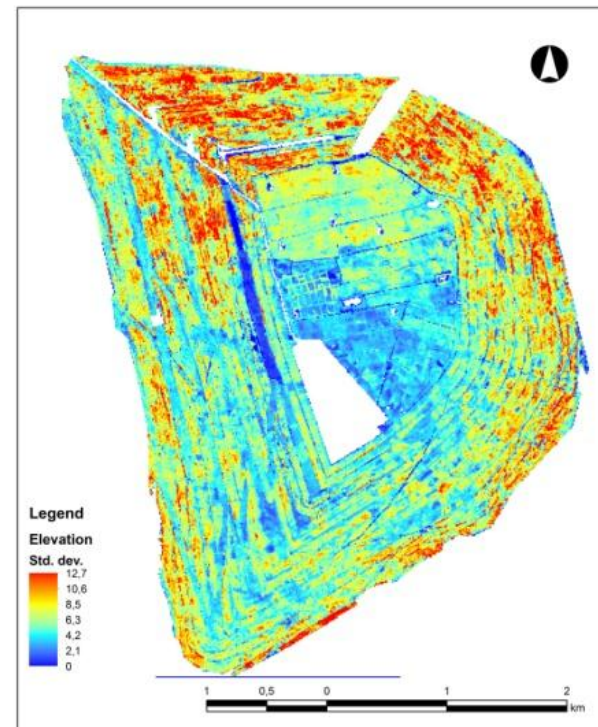
Cechy drzewostanów określone w oparciu o analizę chmury punktów ALS



Wysokość maksymalna
roślinności (H max. Veget.)



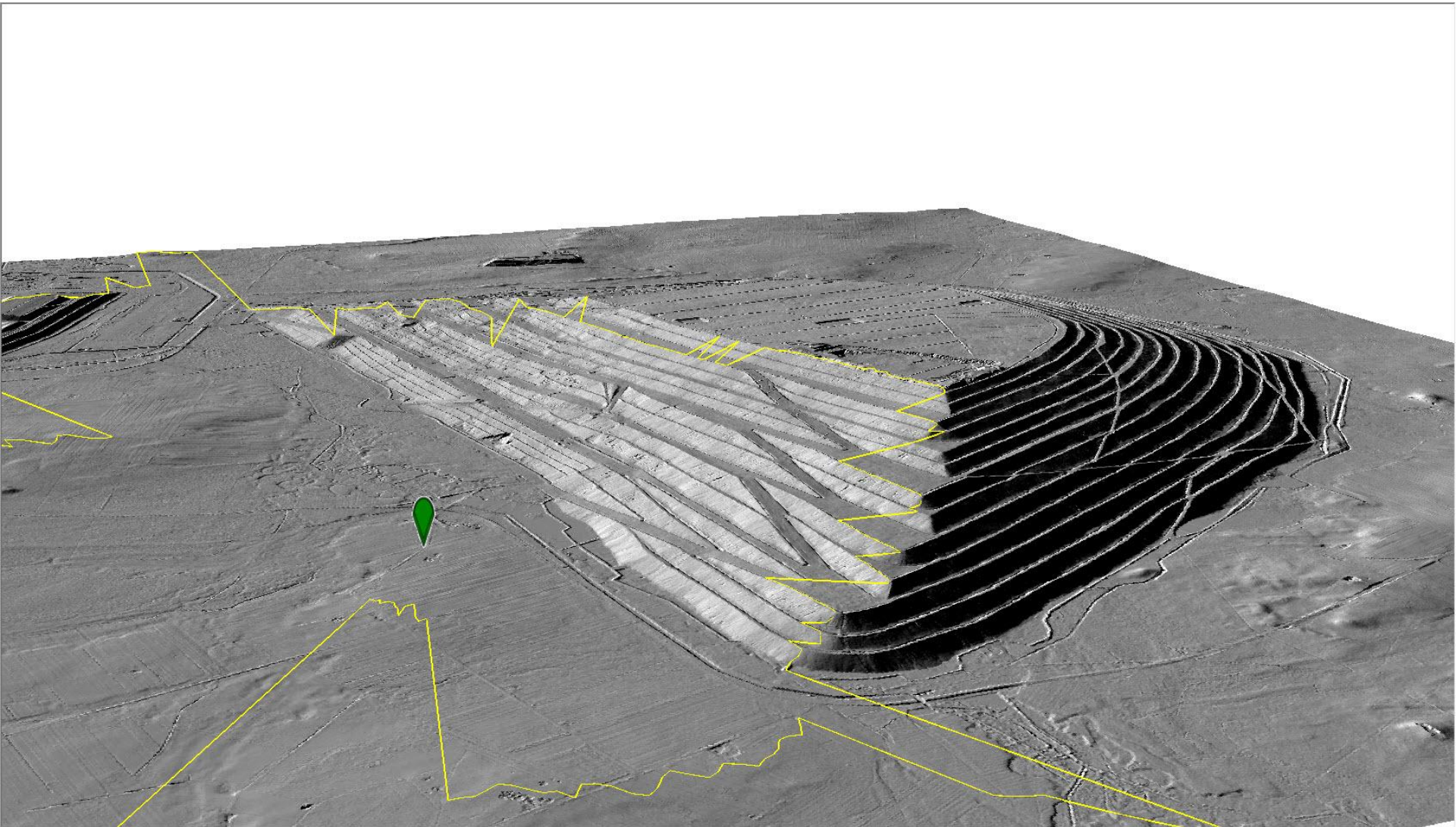
Wysokość – współczynnik
zmienności (H Variance)



Wysokość – Odch. Std.
(H Std. Dev.)



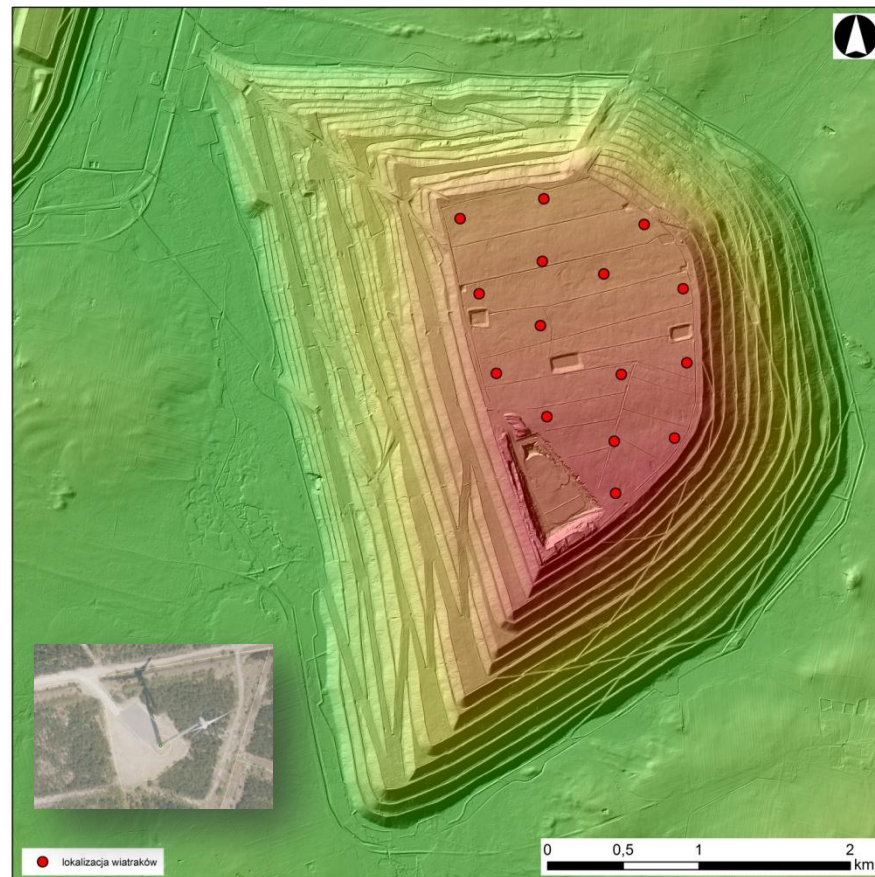
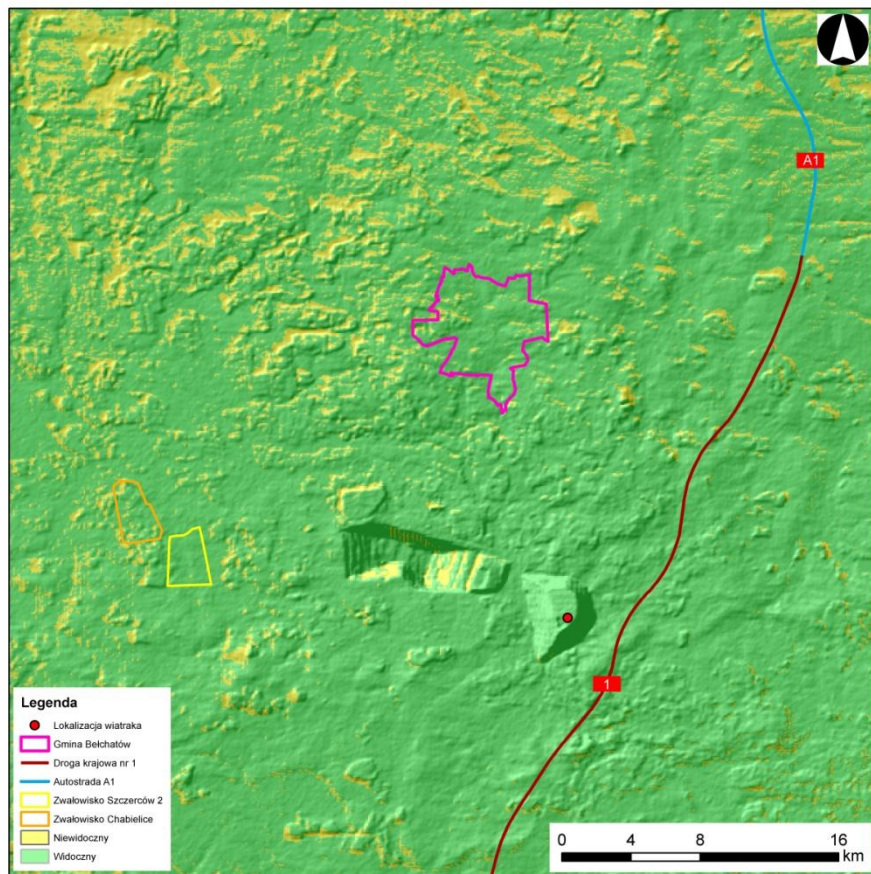
Wyniki Analizy widoczności





Wyniki

Analizy widoczności - wiatraki





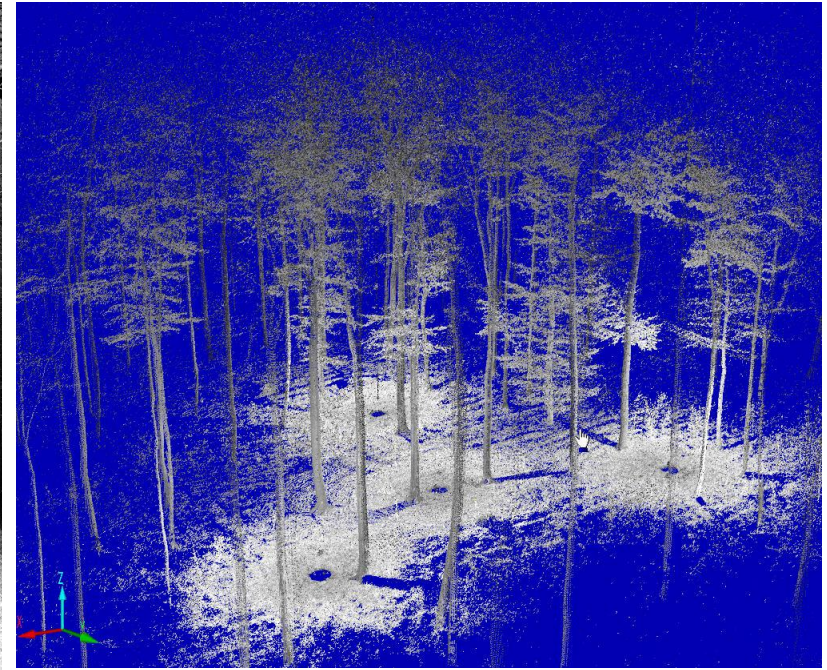
Nowy model FARO FOCUS 3D



TLS – 2D Planar View / 3D



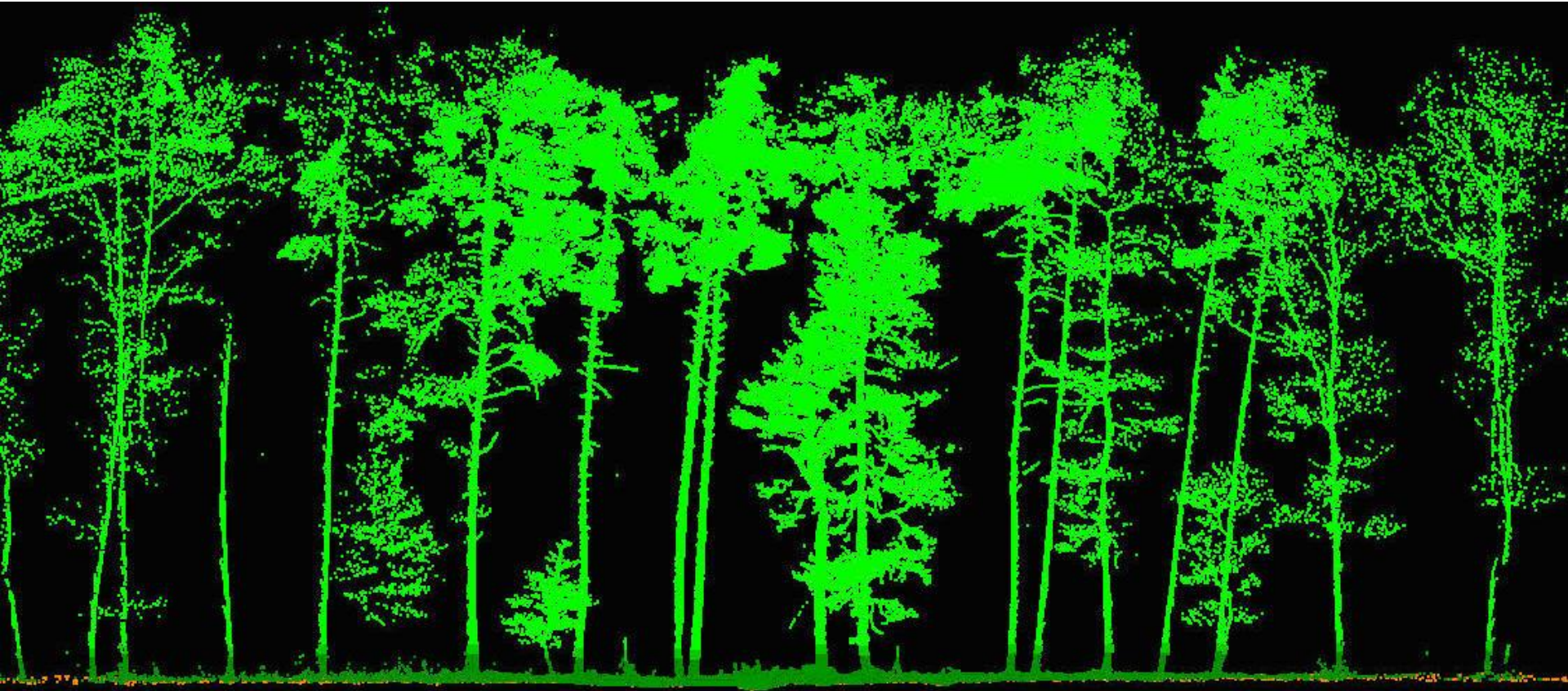
Obraz planarny 2-D (intensywność) uzyskany z jednego stanowiska pomiarowego skanera FARO LS 880



Obraz tzw. 3-D (rzut izometryczny) połączonych ze sobą (matching) 4 chmur punktów TLS

Wężyk P., Koziół K., Glista M., Pierzchalski M., 2007. Terrestrial laser scanning versus traditional forest inventory. First results From the Polish forests. IAPRS Volume XXXVI, Part 3/W52. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14 2007, Finland. 424-429.

TLS – profil przez drzewostan



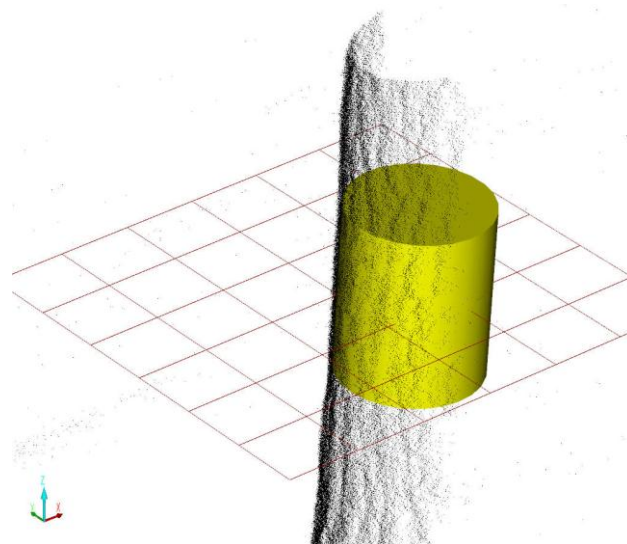
Sklasyfikowana chmura punktów TLS po normalizacji (grunt $Z = 0.0$; kolor pomarańczowy). Klasa roślinności niskiej ciemno zielona; jaśniejsze odcienie zieleni wegetacja średnia i wysoka (*medium / high vegetation*).

Wężyk P., Kozioł K., Glista M., Pierzchalski M., 2007. *Terrestrial laser scanning versus traditional forest inventory. First results From the Polish forests. IAPRS Volume XXXVI, Part 3/W52. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14 2007, Finland. 424-429.*

TLS – pomiary manualne pierśnicy ($d_{1.3}$)



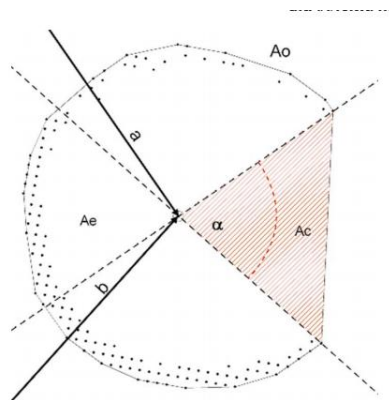
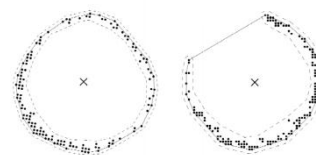
Pomiary manualne drzew w programie Faro Scene wykonywane mogą być w trybie tzw. „Pixel” (w pełni manualne; wskazanie skrajnych pikseli = punktów TLS) oraz „Pipe” (metodą półautomatyczna, selekcja obiektu).



Wężyk P., Koziół K., Glista M., Pierzchalski M., 2007. Terrestrial laser scanning versus traditional forest inventory. First results From the Polish forests. IAPRS Volume XXXVI, Part 3/W52. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14 2007, Finland. 424-429.

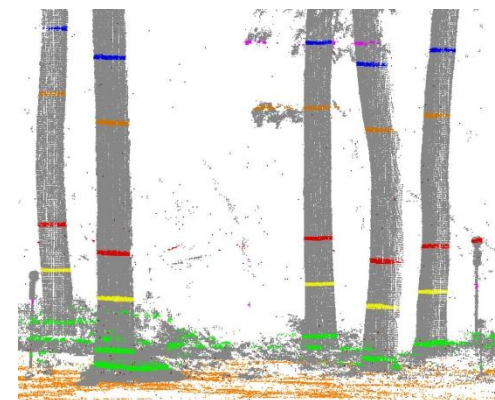
TLS – automatyzacja pomiaru pierśnicy ($d_{1.3}$)

Po etapie generowania NMT (na drodze klasyfikacji gruntu; *keypoints*, TIN) następuje wyselekcjonowanie 4 cm grubości wycinka chmury punktów TLS w przedziale wysokości 1.28 – 1.32m. Odpowiada to poszukiwaniu wartości średnicy drzewa (tzw. pierśnicy) na standardowej wysokości 1.3m.



$$A_o = A_e + A_c$$

$$A_{cor} = A_e * \frac{2\pi}{\alpha}$$

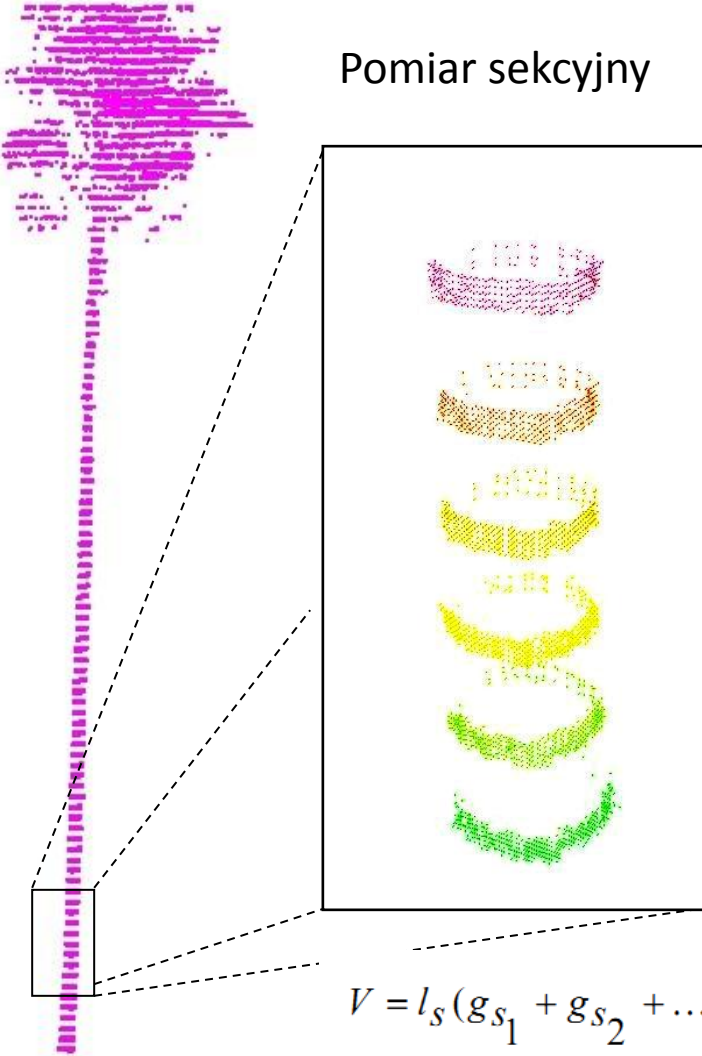


A_e – powierzchnia pnia bazującego na chmurze punktów,
 A_c – powierzchnia brakującego wycinka pnia (o zaniżonej powierzchni).

Wężyk P., Koziół K., Glista M., Pierzchalski M., 2007. Terrestrial laser scanning versus traditional forest inventory. First results From the Polish forests. IAPRS Volume XXXVI, Part 3/W52. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14 2007, Finland. 424-429.

TLS – miąższość drzew - inne podejście (1)

Pomiar sekcyjny



Wzór empiryczny

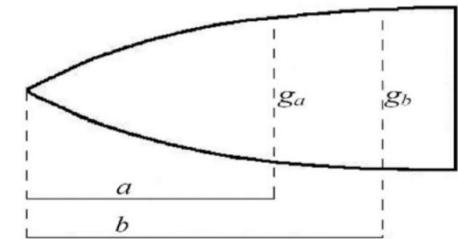
$$v_q = \frac{\Pi}{4000} d^2 \times h \times f_q$$

- v_q - miąższość grubizny drzewa [m³],
 d - pierśnica drzewa [cm],
 h - wysokość drzewa [m],
 f_q - pierśnicowa liczba kształtu grubizny drzewa.

Wzór na bryły obrotowe

$$\frac{g_a}{g_b} = \left(\frac{a}{b} \right)^r$$

$$r = \log_{\frac{a}{b}} g_a - \log_{\frac{a}{b}} g_b$$

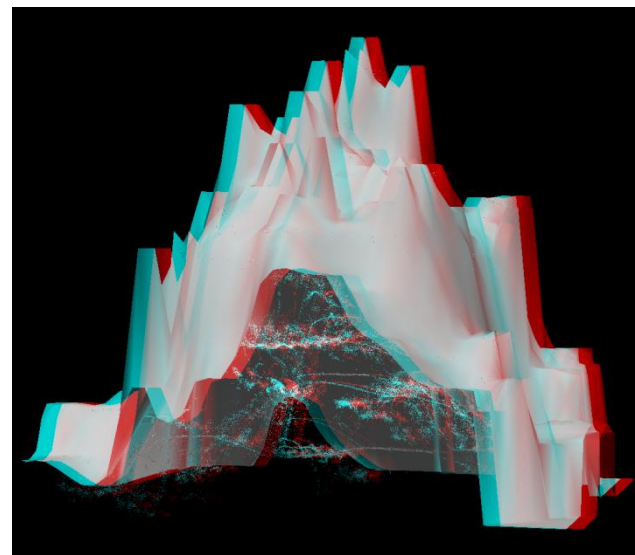
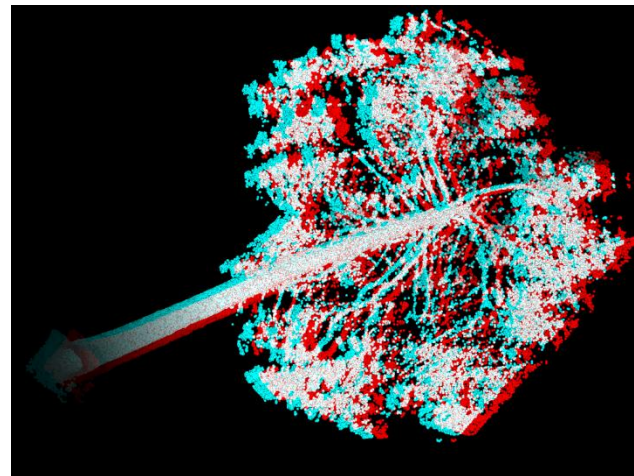
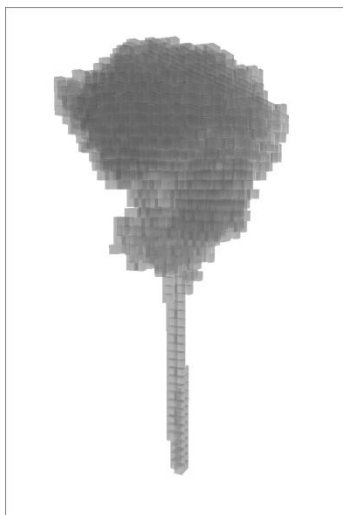
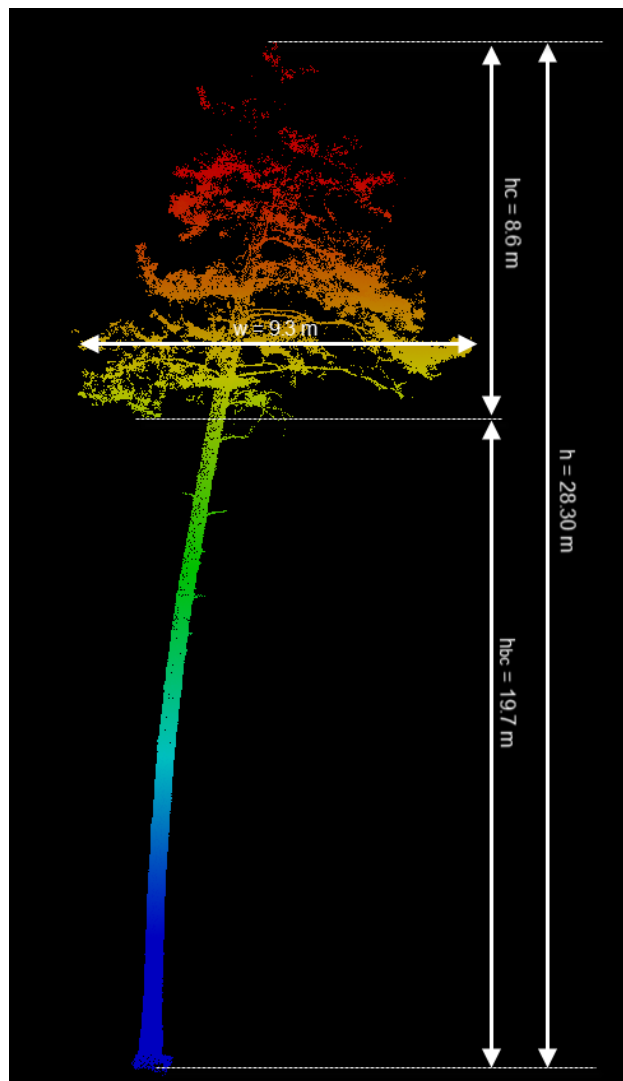


$$V = \frac{1}{1+r} * g_a * \left(\frac{h}{a} \right)^r * h$$

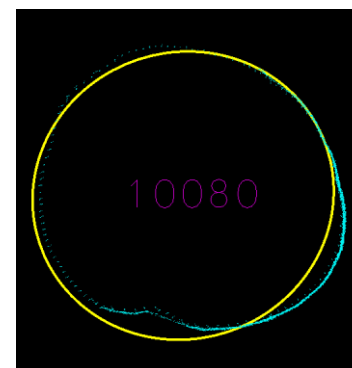
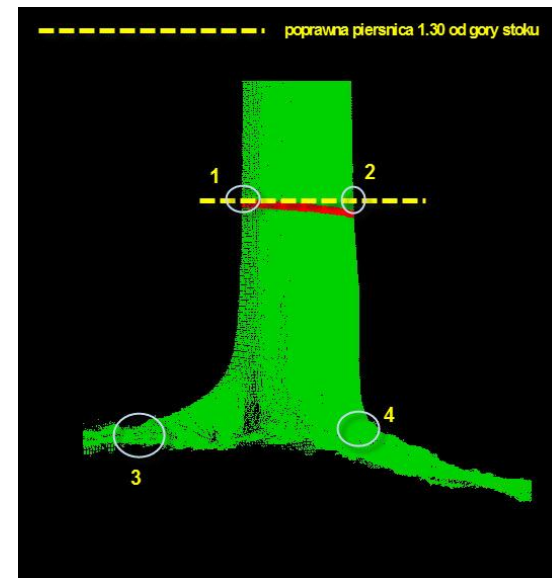
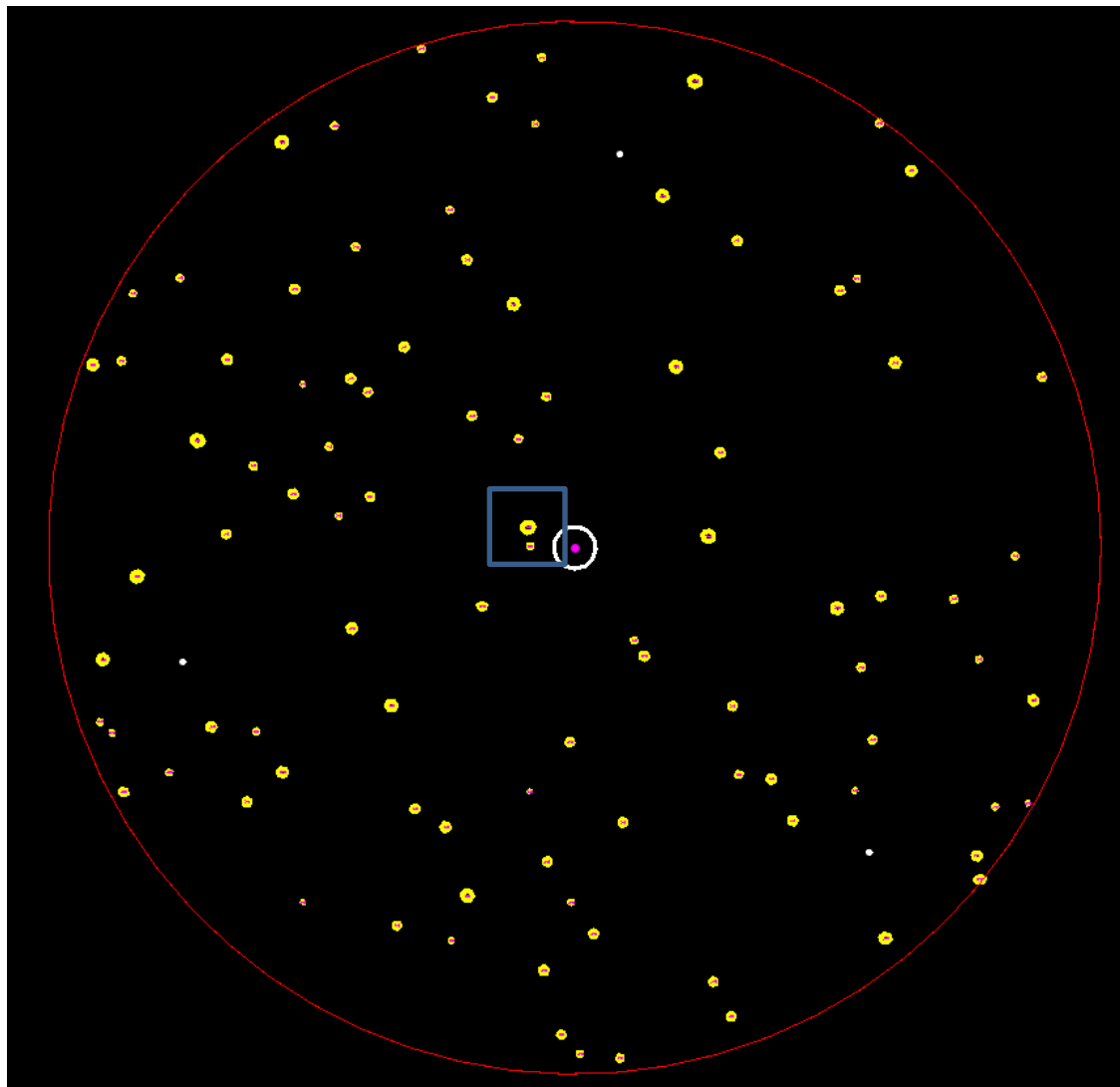
$$V = l_s (g_{s_1} + g_{s_2} + \dots + g_{s_{n-1}} + g_{s_n}) + V_a$$

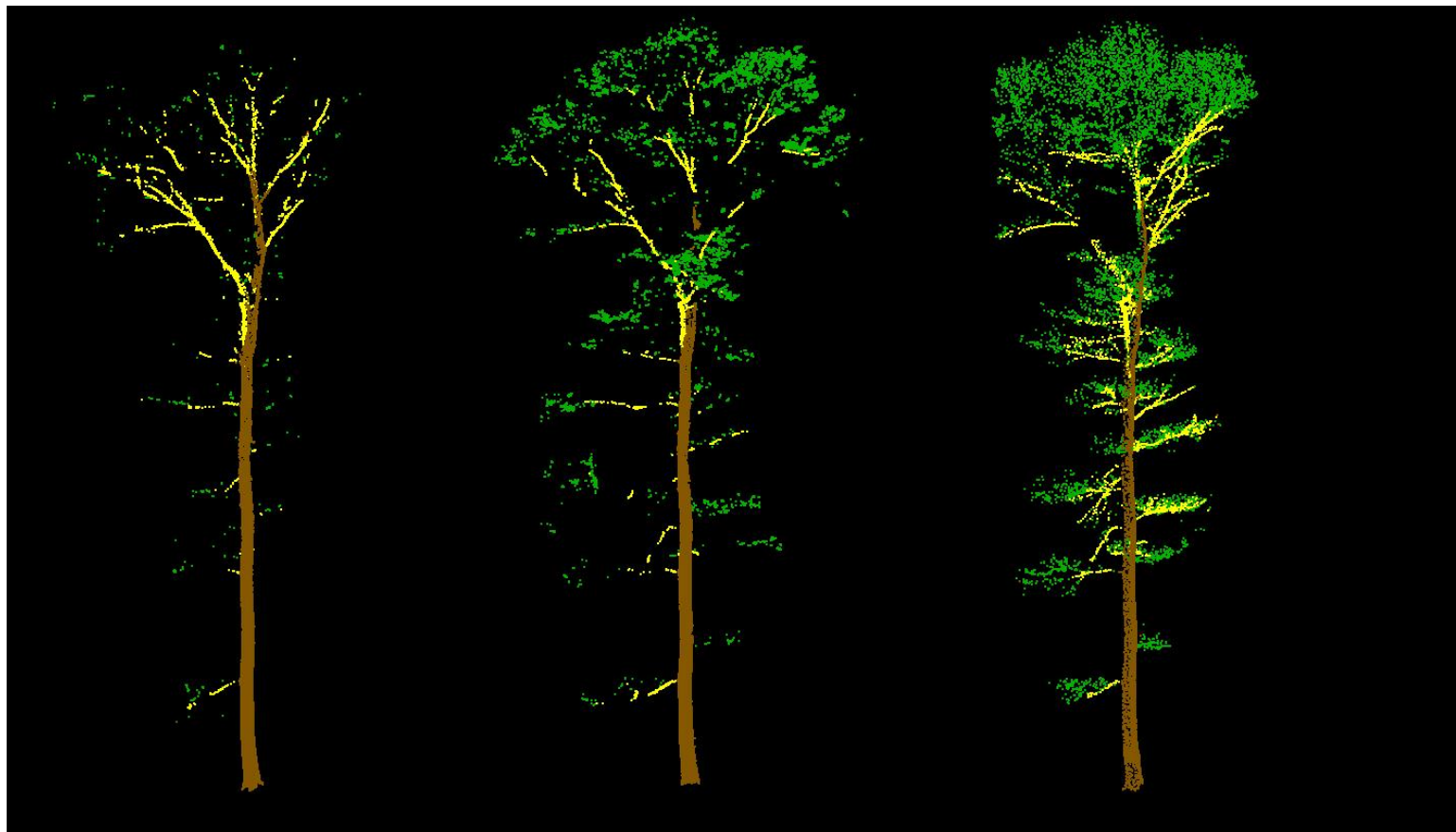
Wężyk P., Sroga R., Szwed P., Szostak M., Tompalski P., Kozioł K., 2009. Wykorzystanie technologii naziemnego skaningu laserowego w określaniu wybranych cech drzew i drzewostanów. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. 19, 447-457.

Określanie biomasy sosny zwyczajnej (pnia, korony)



TLS – inwentaryzacja zieleni





FARO (Nov. 2006)

FARO (April 2009)

LEICA (April 2009)

Korona [%]	1,9	26,3	8,7
Gałęzie [%]	10,9	8,3	3,2
Pień [%]	87,2	65,3	88,1

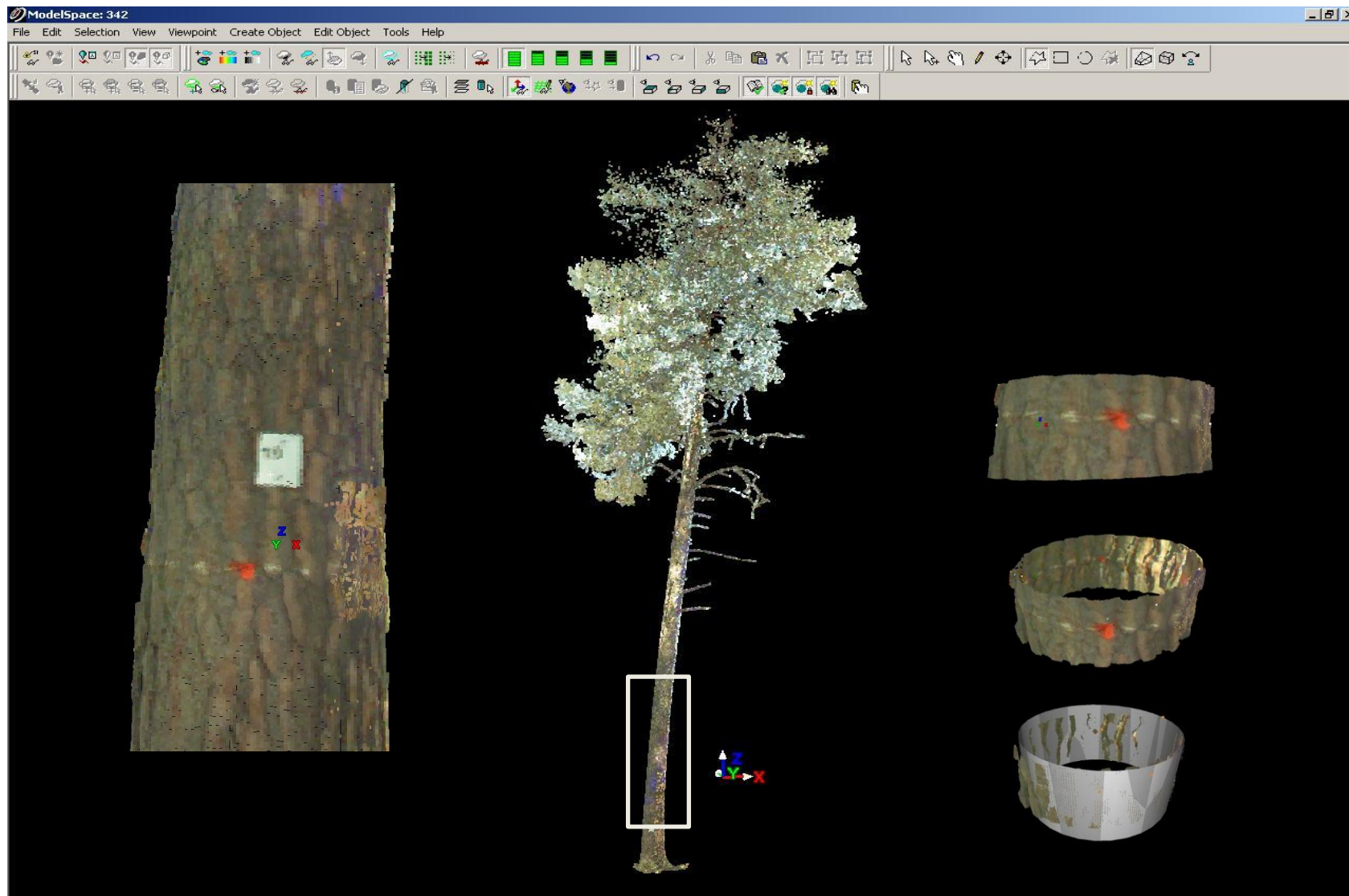
TLS – testy skanerów



Leica ScanStation 2

zasięg 300m
zintegrowana kamera cyfrowa
50.000 pps
dokładność 2mm

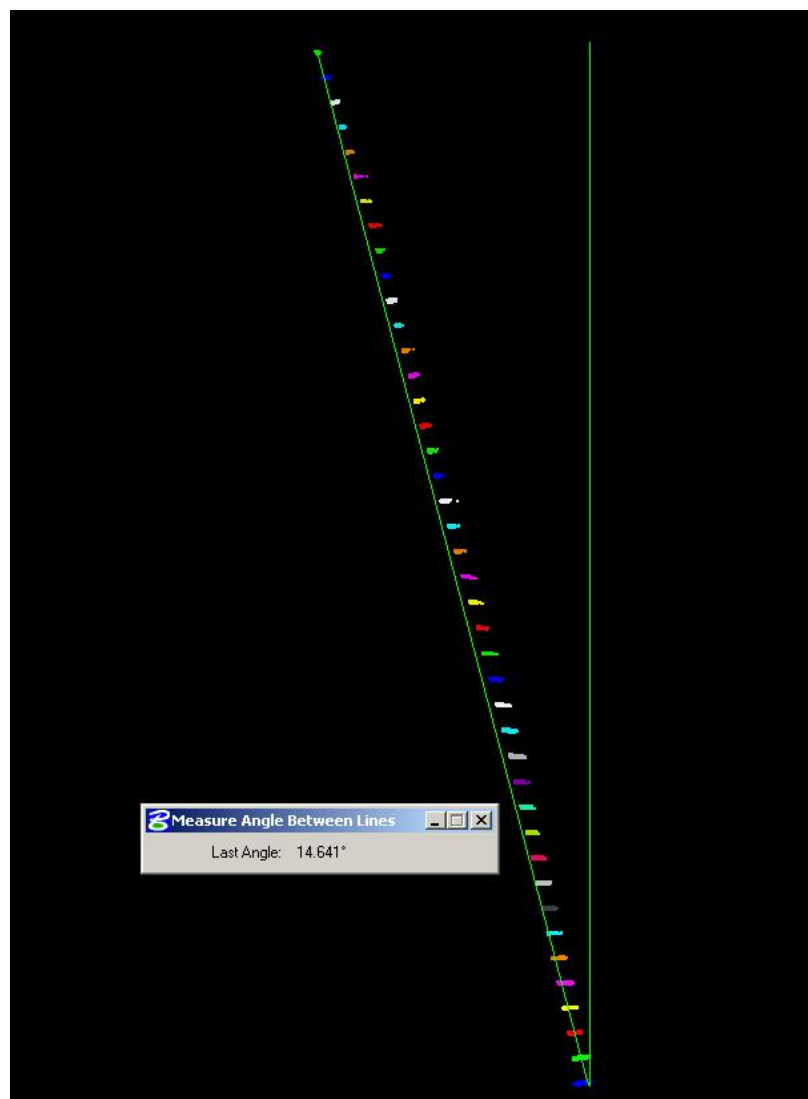






Określanie jakości drewna

Kąt pochylenia drzewa



FARO FOCUS 3D

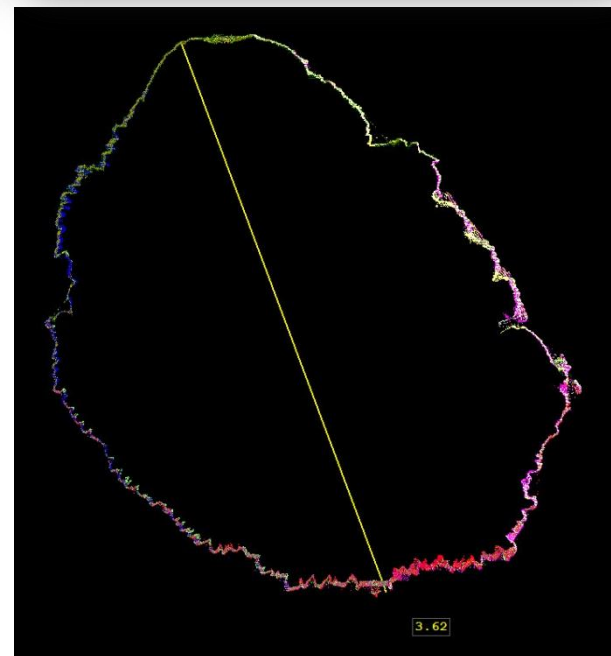
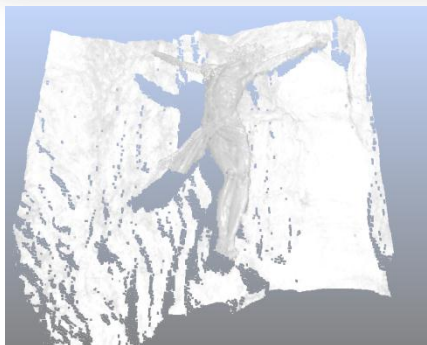
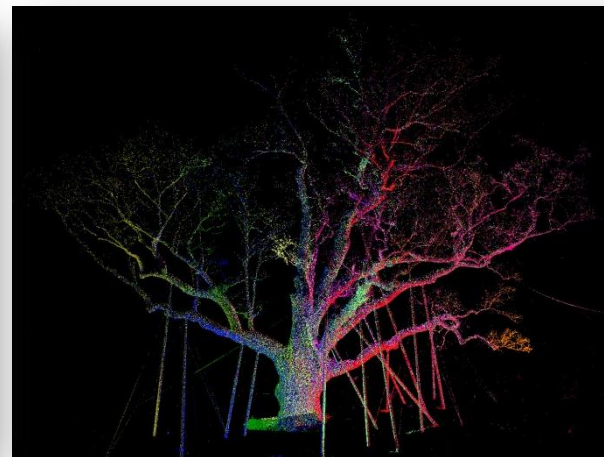
Dąb Bartek 3D



Wykorzystano skanery AGH:
FARO Focus 3D oraz Leica
C10. Rozdzielczość
skanowania $\sim 1/4$ maks.
Łącznie pozyskano 15
skanów FARO oraz 7 Leica

FARO FOCUS 3D

Dąb Bartek 3D



Zastosowanie sfer do pasowania chmur punktów z pojedynczych skanów



Bartek 3D



Projekt BARTEK 3D



<http://geo.ur.krakow.pl>

PDF download



3DSYSTEMS

Bartek 3D



Model Bartka „Bartek” LEAF-OFF (z lewej) oraz LEAF-ON (z prawej)

Profiler LPM 321 RIEGL w Tatrach



- Ranges up to 6000 m @ Laser Class 1M
- Echo digitization and online waveform analysis
- Measurement accuracy typ. 25 mm
- Measurement rates up to 1000 points/sec
- Field of view up to 150° x 360°

Zakres kąta poziomego : 360° ;
pionowego : -20° do +130°



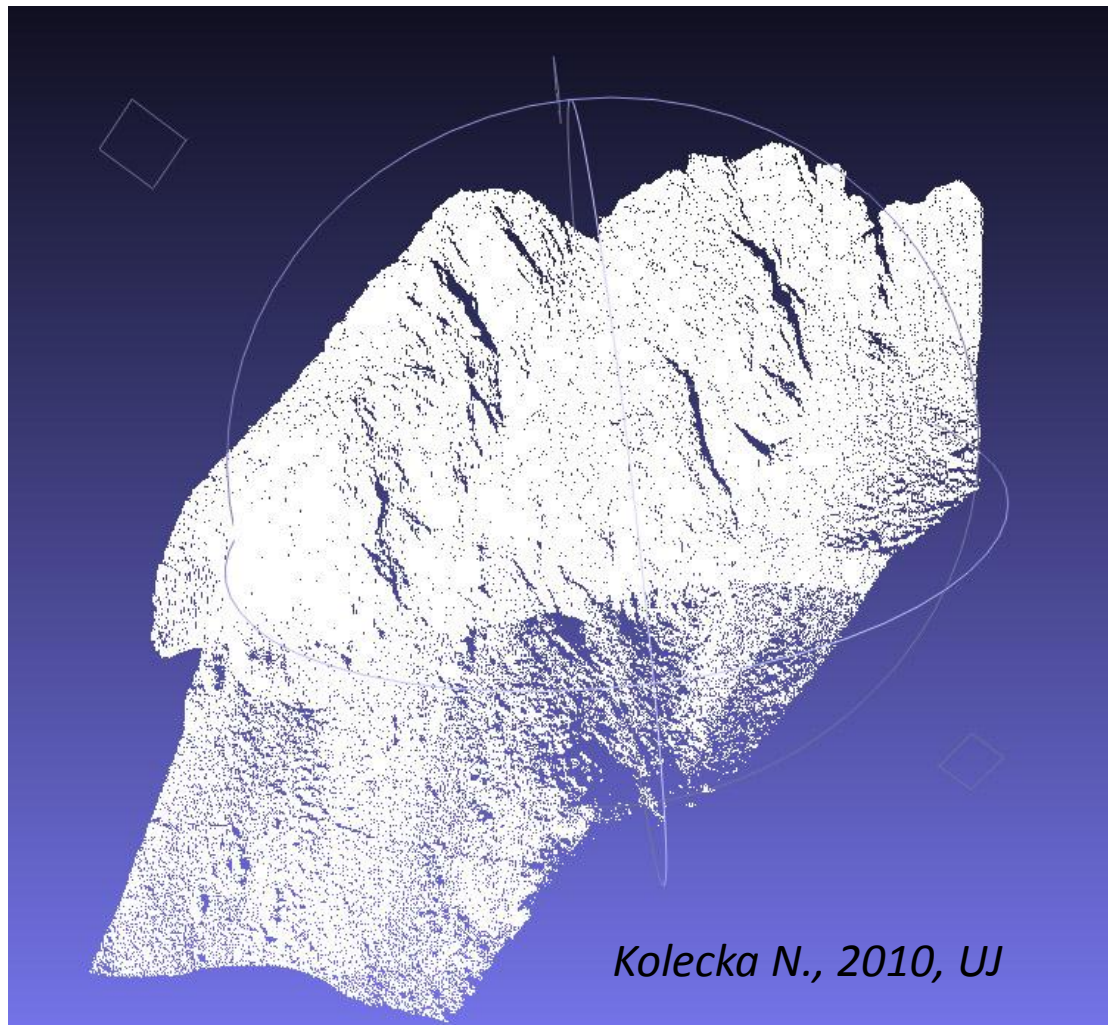
@ measurement rate	1000 Hz	100 Hz	10 Hz
for natural targets, $p \geq 80 \% ^{3)}$	$\geq 1500 \text{ m}$	$\geq 2500 \text{ m}$	6000 m
for natural targets, $p \geq 10 \% ^{3)}$	$\geq 500 \text{ m}$	$\geq 850 \text{ m}$	$\geq 1500 \text{ m}$

Numeryczny Model Terenu (10)

Metody / techniki pozyskiwania danych dla generowania modeli 3D (5) - Naziemny skanowanie laserowy (TLS) - aplikacje



skanowanie ścian Kościelca:
Profiler LPM -321 RIEGL



TLS monitoring of the secondary forest succession



FARO FOCUS 3D TLS point cloud collections on the Gorce meadows and pastures.

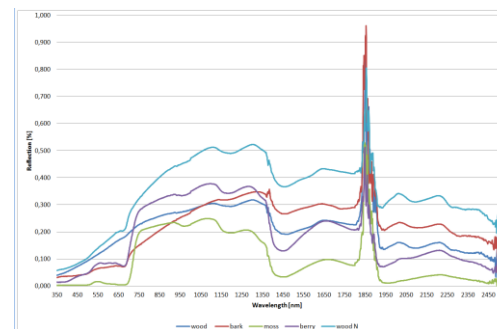
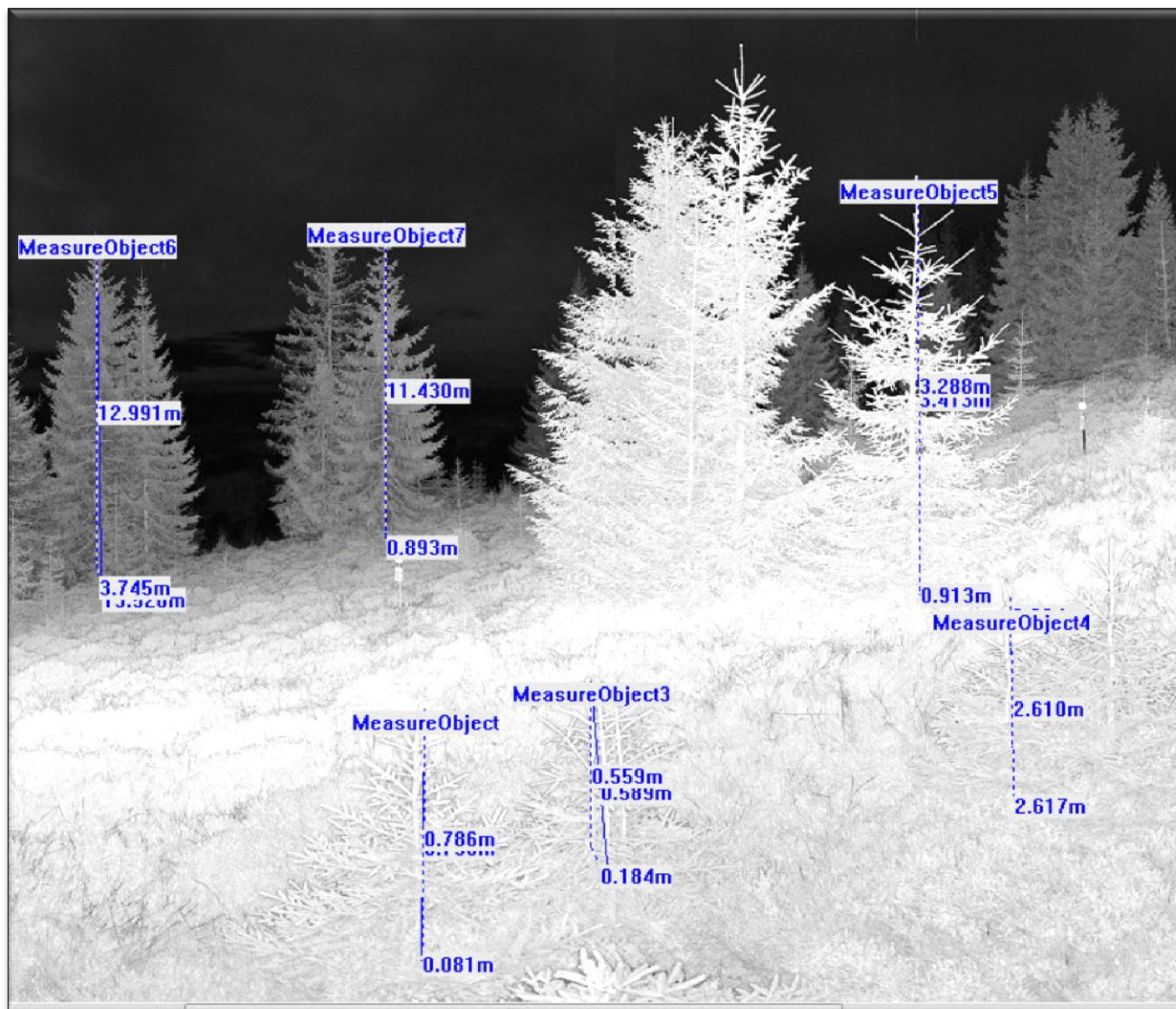


Norway spruce
succession in initial phase



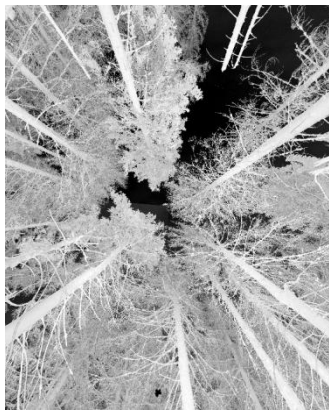
Point cloud as planar view (2D). Intensity image. „Polana Zielenica” meadows in Gorce National Park.

TLS monitoring of the secondary forest succession



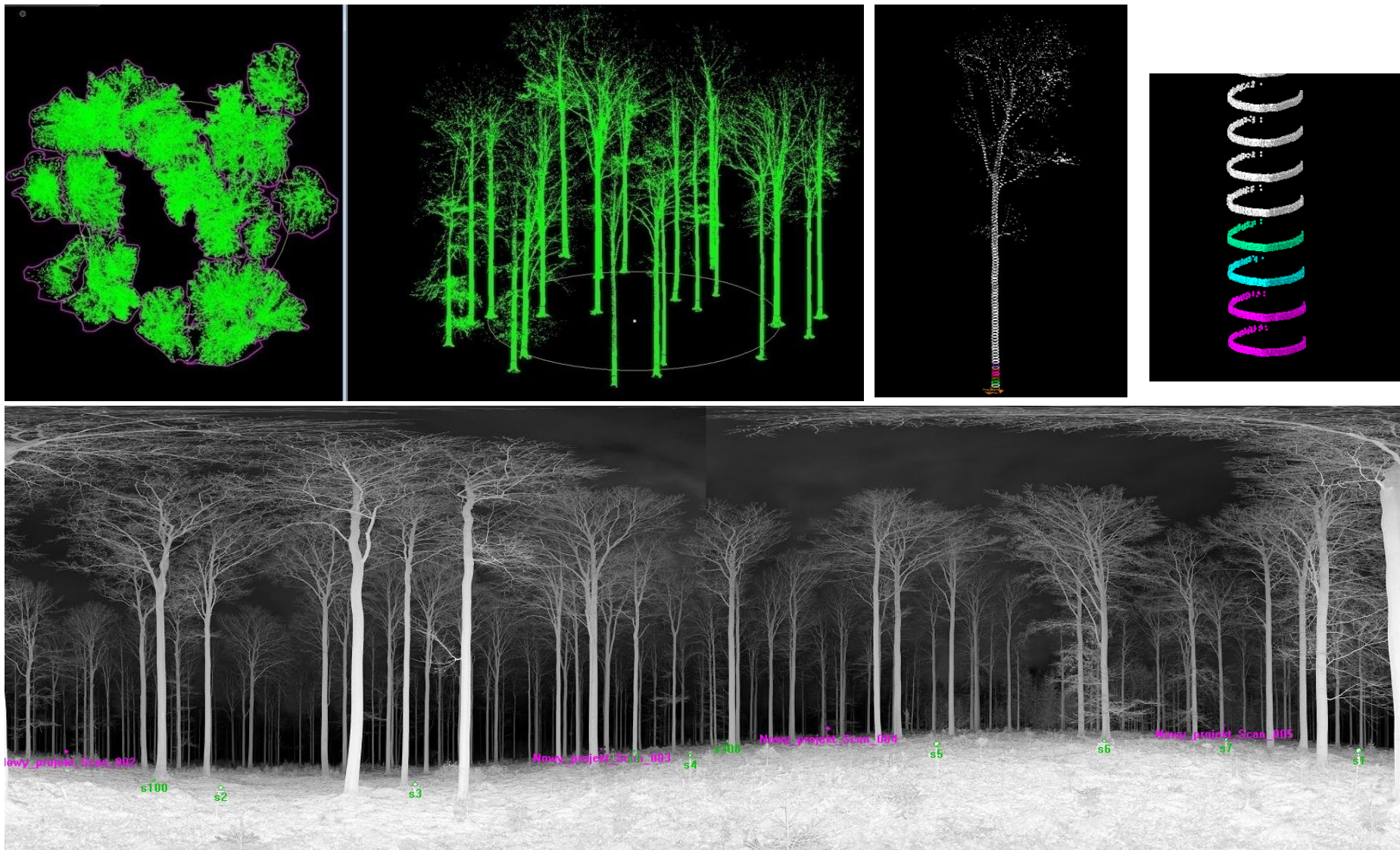


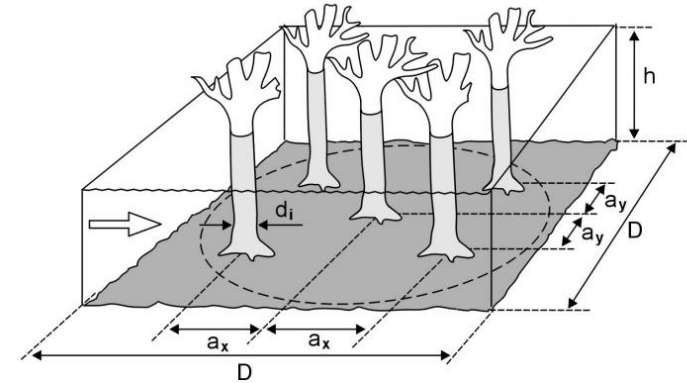
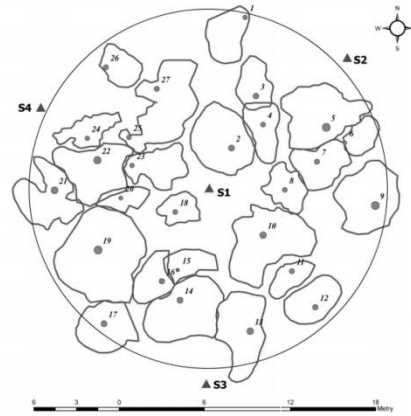
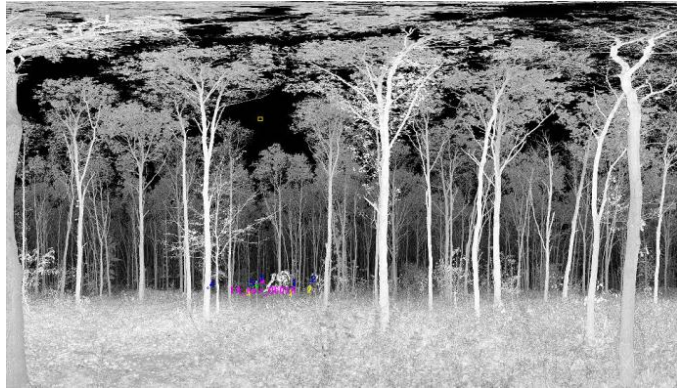
TLS inventory of „bark beetle nest”





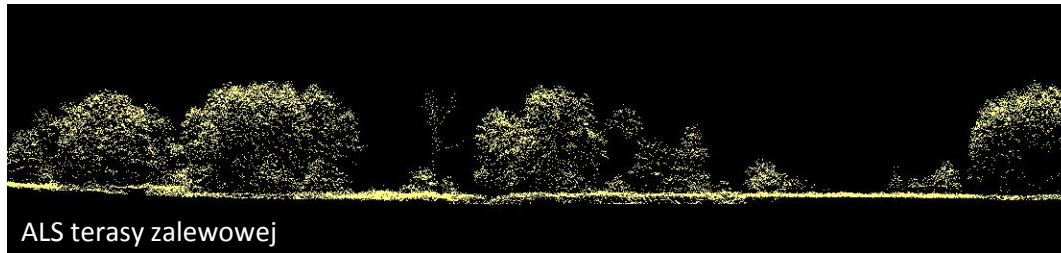
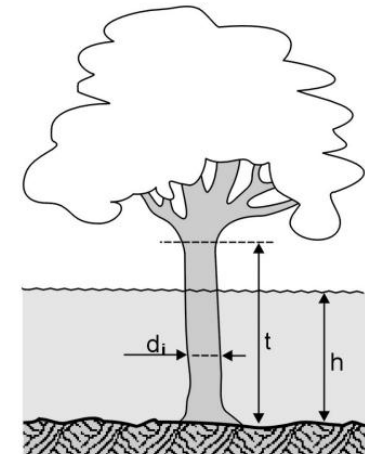
TLS inwentaryzacja d-stanów bukowych





Pomiar lokalizacji drzew i średnicy pnia drzew (50cm, 100cm oraz 130 cm) na terasie zalewowej - na podstawie chmury punktów TLS (FARO LS 880; metoda Pixel; program Farco Scene).

$$\lambda_r = C_{WR} \frac{4 \cdot d_p \cdot h \cos \alpha}{a_x \cdot a_y}$$



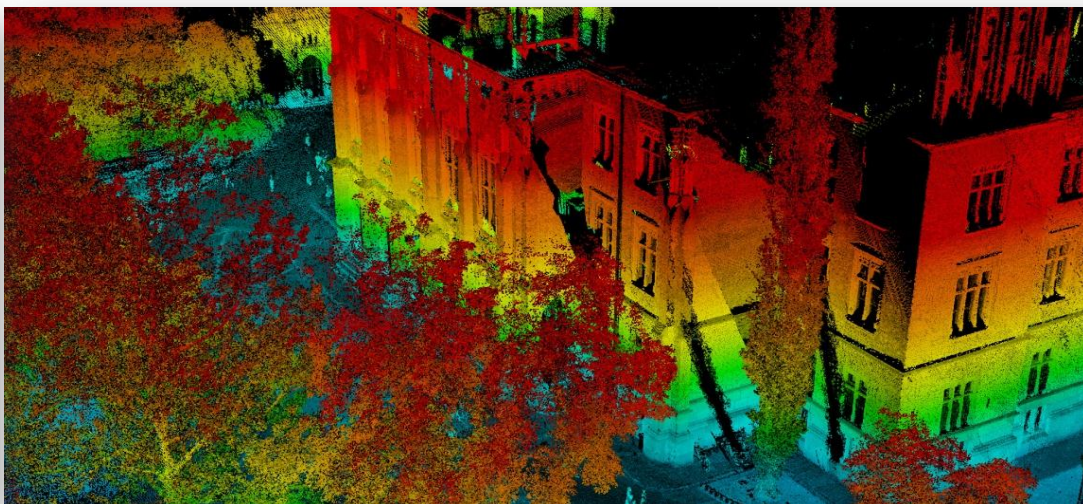
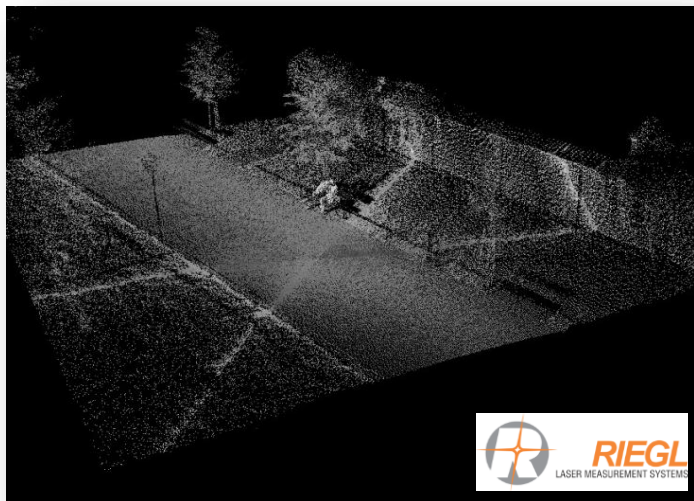
ALS terasy zalewowej

Mokwa M., Tymków P., Wężyk P., 2009. Identification of flow resistance coefficients in floodplain forest. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 31(1), 39-50.



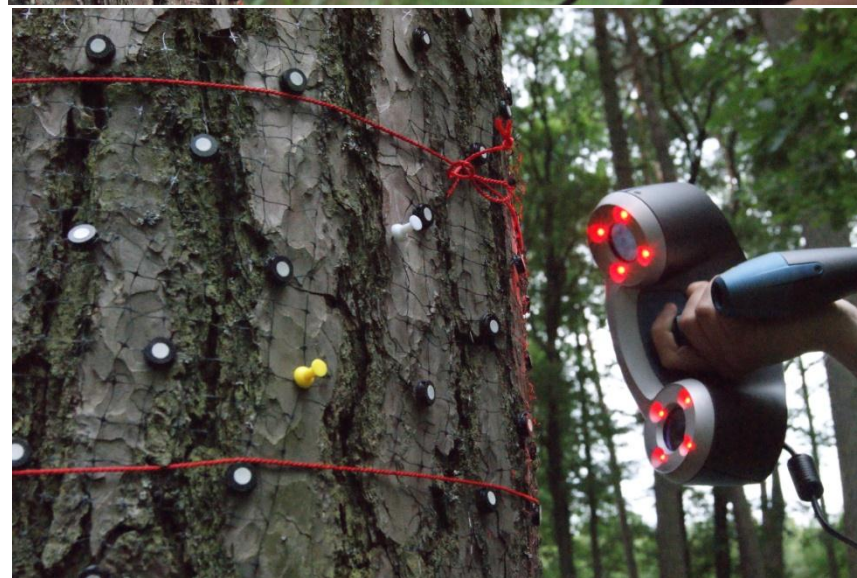
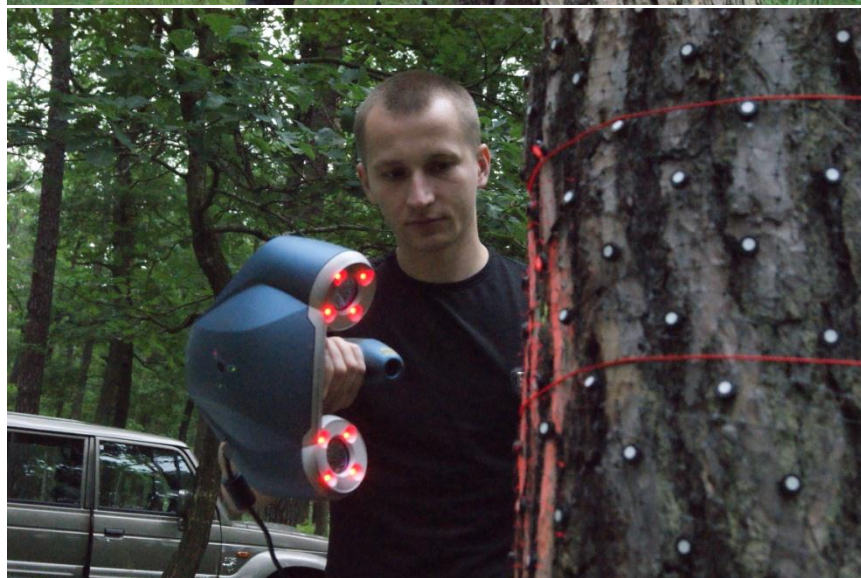
LiDAR / MLS

Planty krakowskie



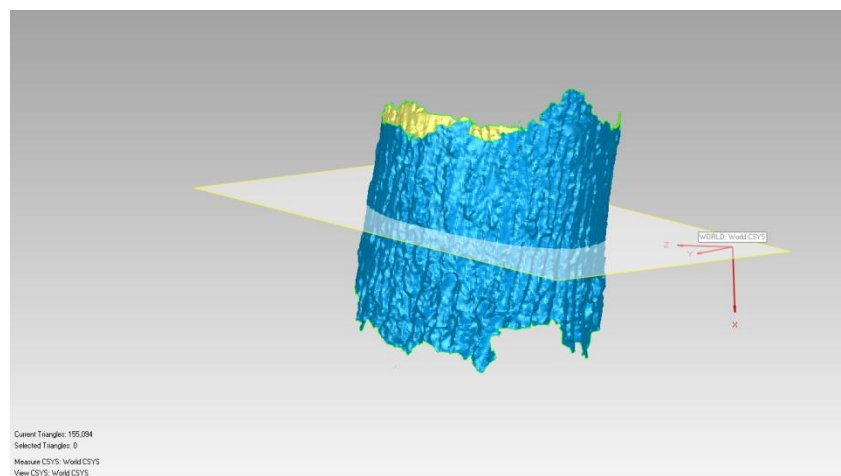
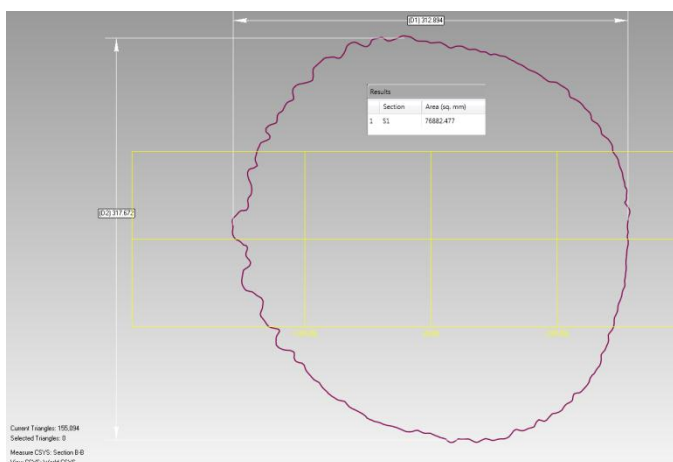
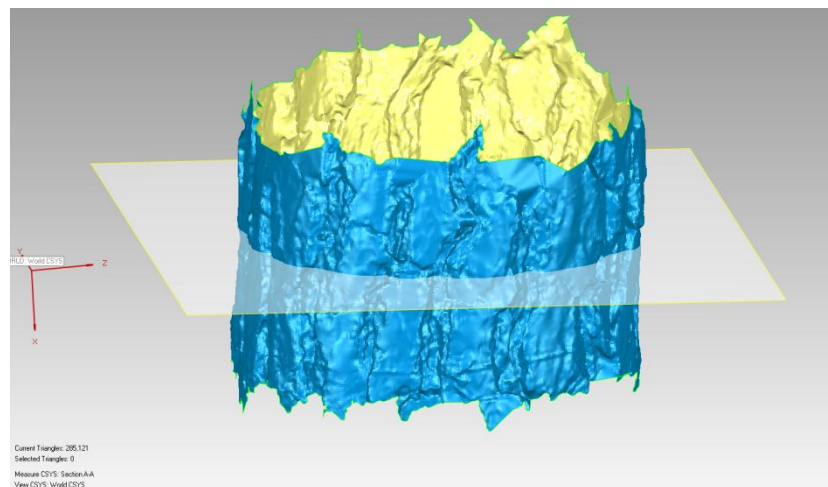
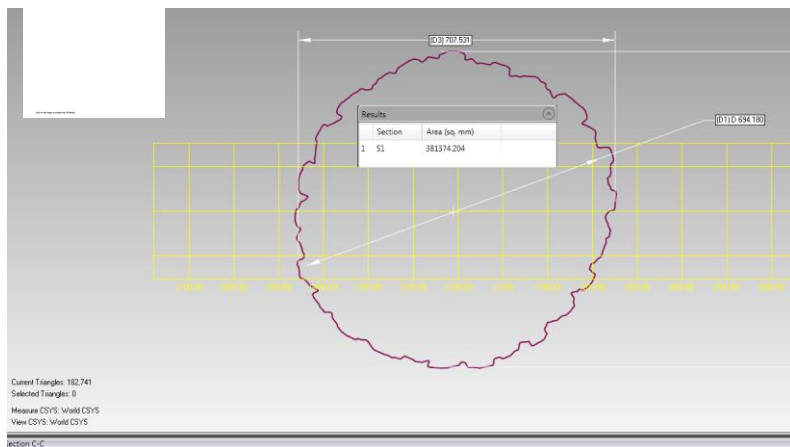
Handy Scan

Skandowanie drzew – Niepołomice 2012



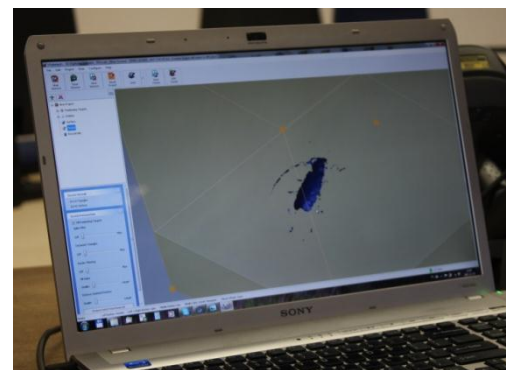
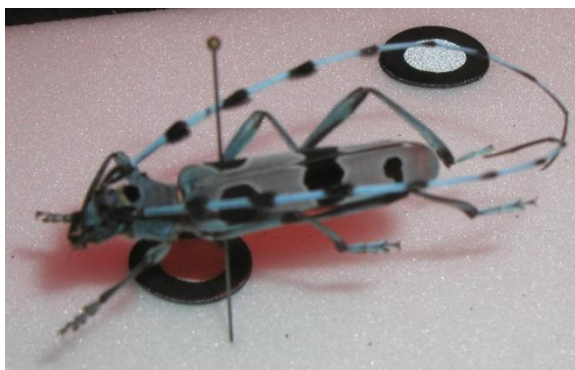
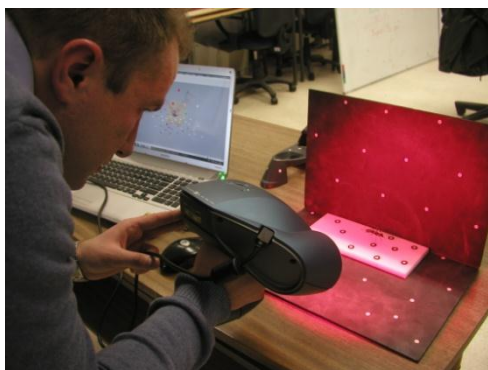
Handy Scan

Skanowanie pni drzew



Handy Scan

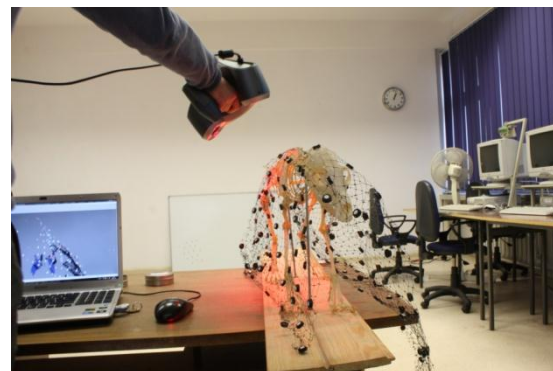
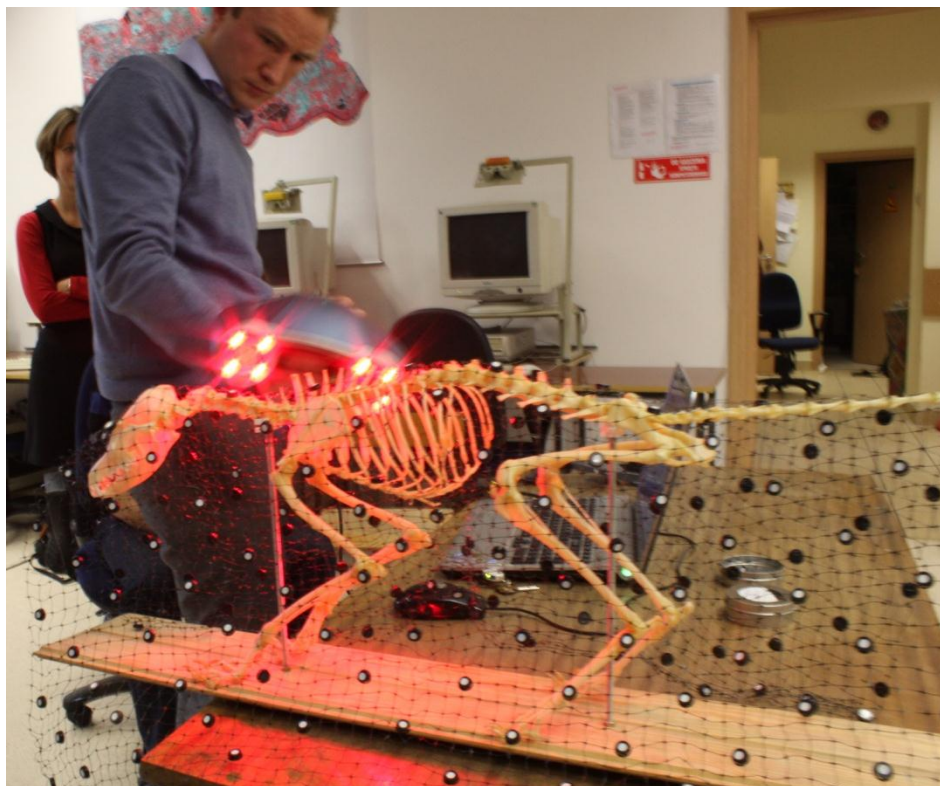
Skanywanie Nadobniczy alpejskiej



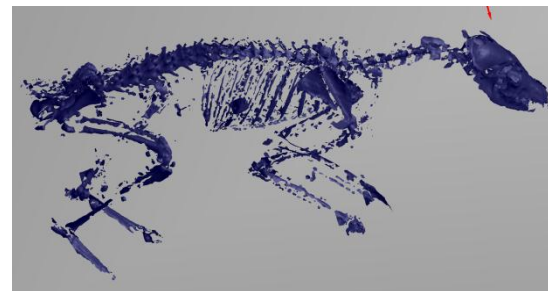
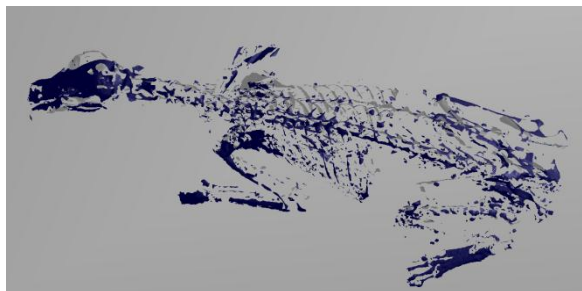
Współpraca: Casp System

Handy Scan

Skanowanie szkieletu lisa

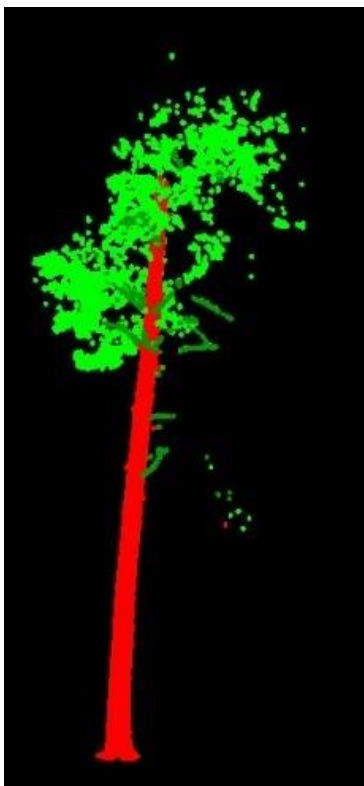


Współpraca: Casp System





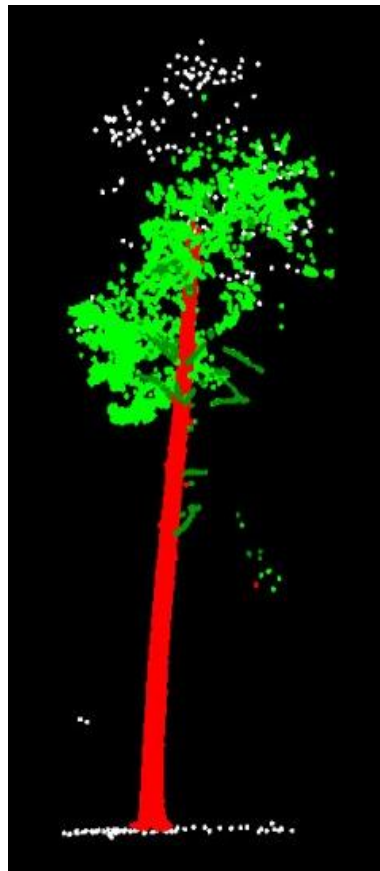
Integracja TLS + ALS



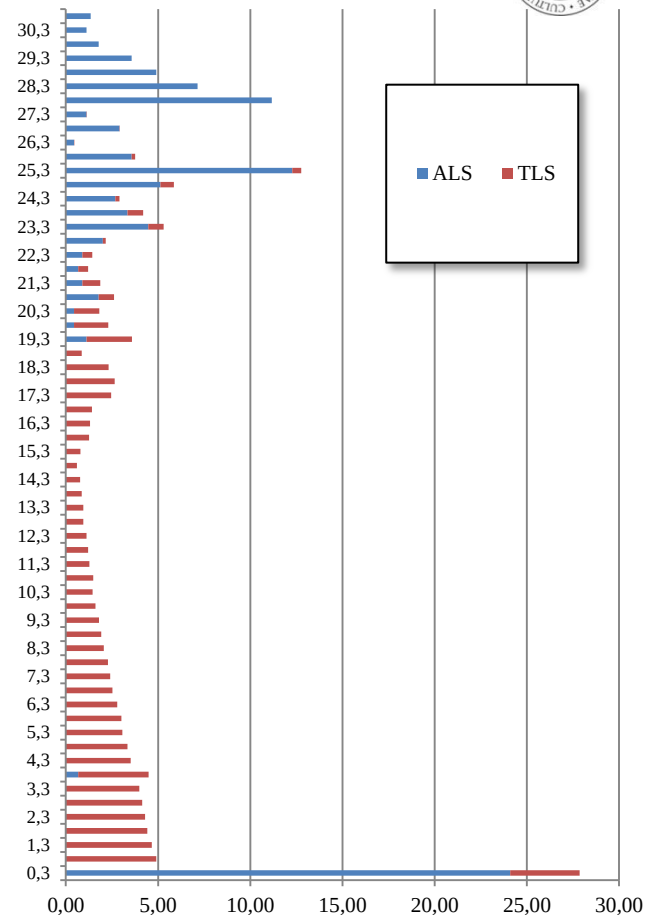
TLS - Pine



ALS - Pine



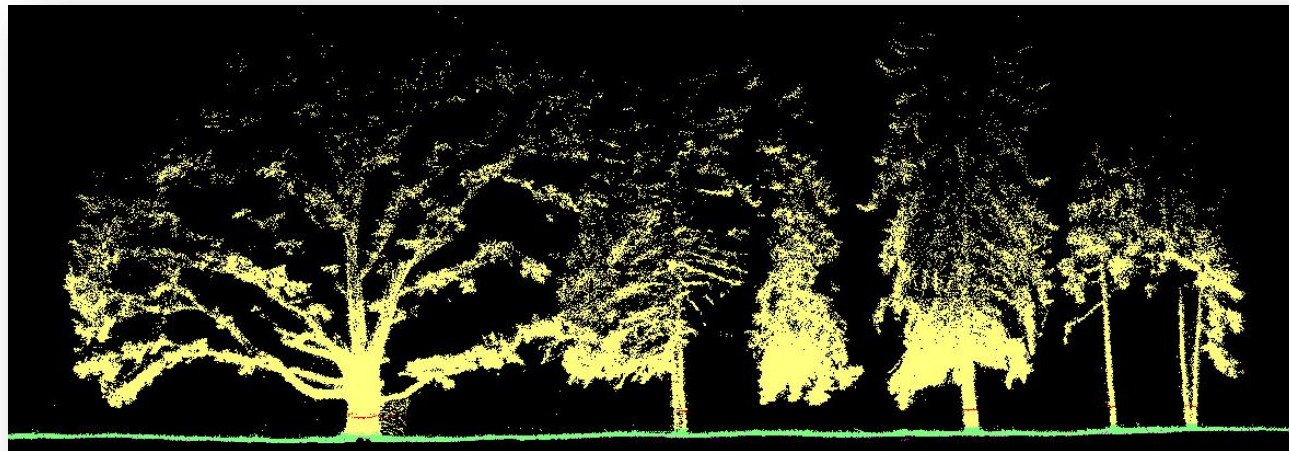
TLS&ALS - Pine



***ALS & TLS are
complementary source of the
information !***



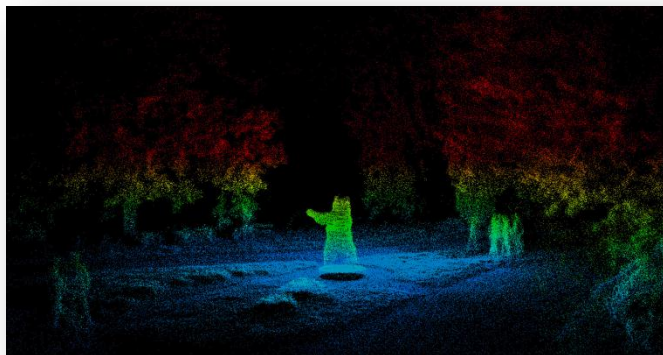
Skaner ZEB1



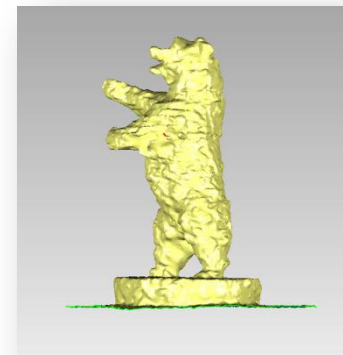
Przekrój przez chmurę punktów (*Fugro Viewer 2.0*) – Park Jordana, Kraków



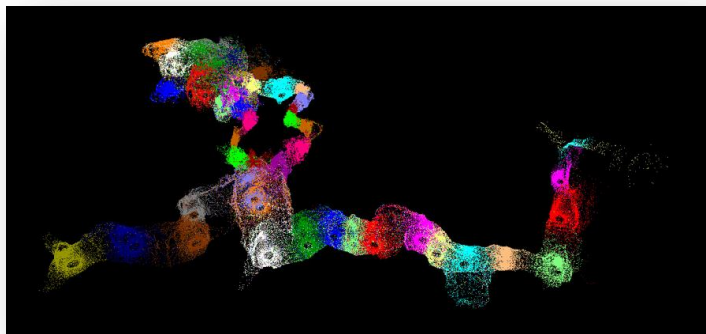
Skaner ZEB1 – Park Jordana, Kraków



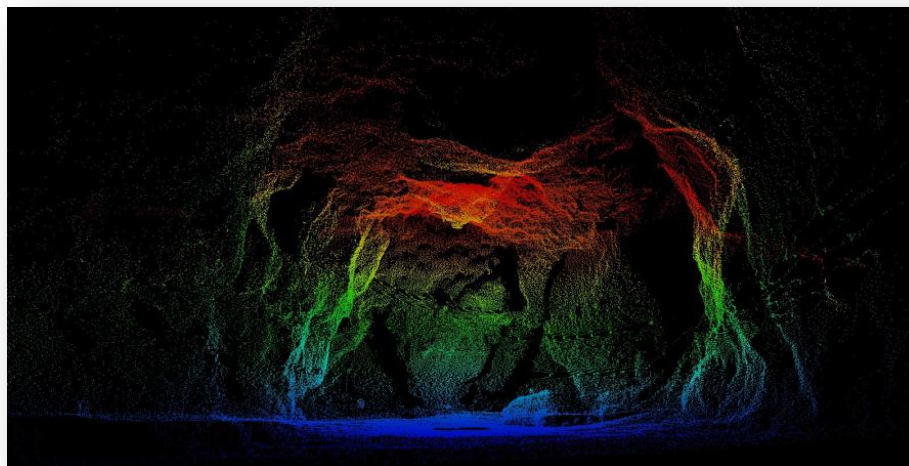
Chmura punktów (*Fugro Viewer 2.0*) - pomnik Niedźwiedź Wojtek w Parku Jordana



Model 3d (*Geomagic Studio*)



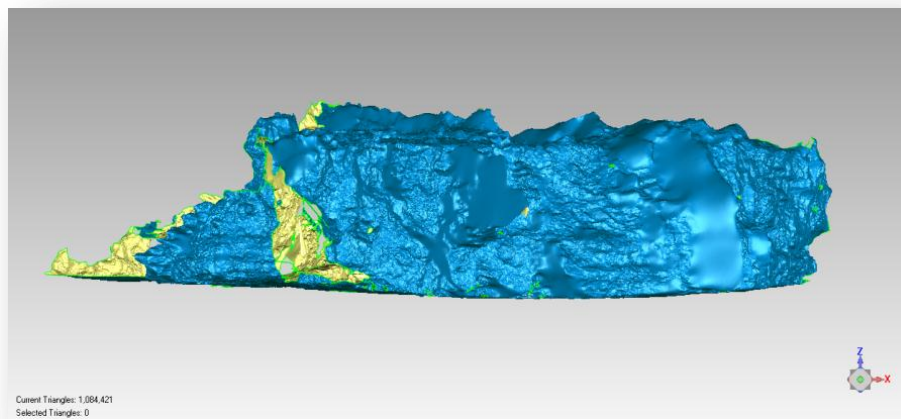
Chmura punktów TLS – 48 stanowisk



Rzut izometryczny z pierwszego stanowiska w Sali Rycerskiej



Skaner Faro Focus 3D, Jaskinia Łokietka



Model 3D Sali Rycerskiej (Geomagic Studio)

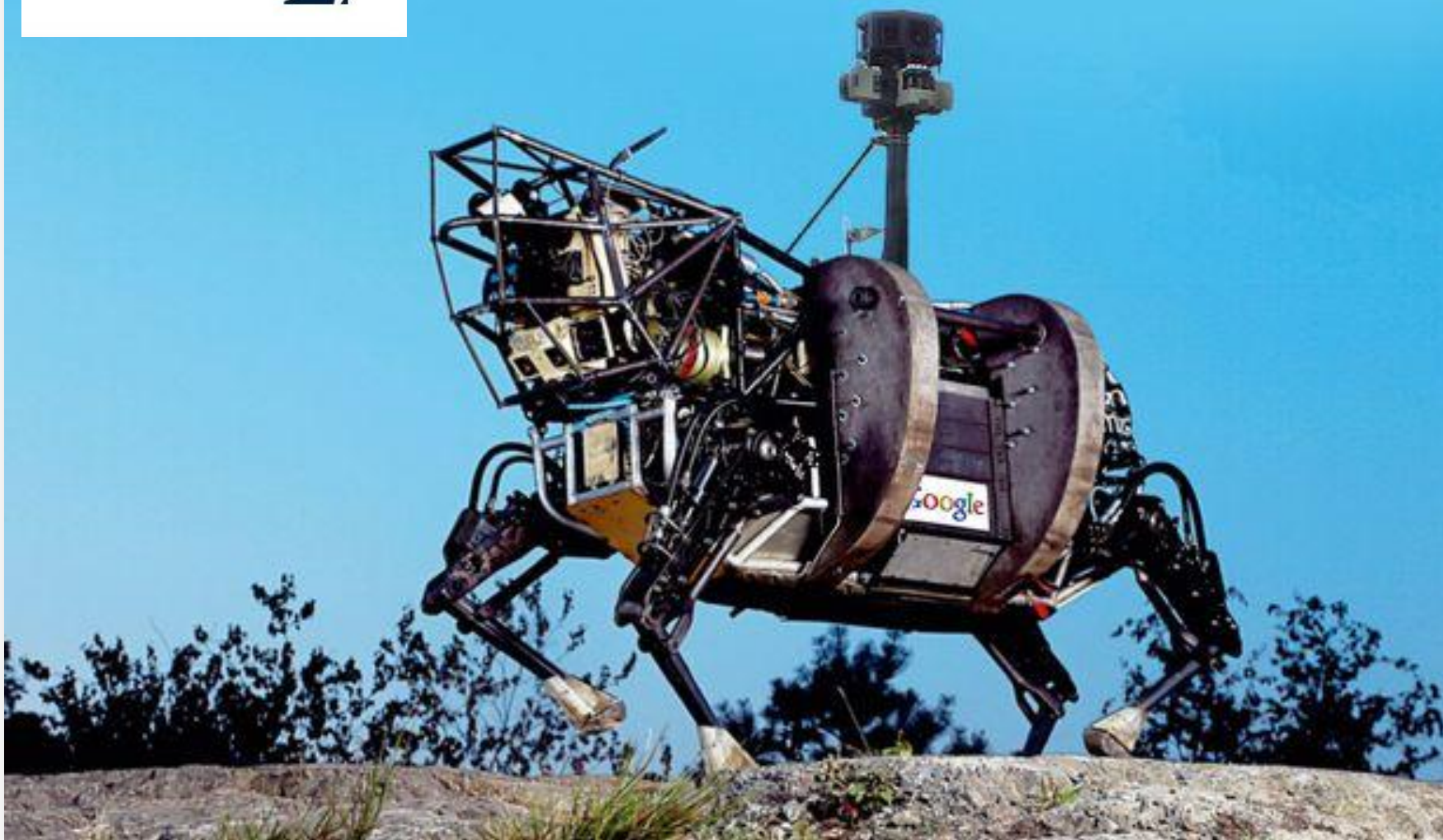
Uwaga: Roboty w lesie !



Zaawansowane rozwiązania technologiczne z autonomiczną nawigacją, zdalne rozpoznanie terenu, kamery cyfrowe, skanery, INS (akcelerometry i żyroskopy), czujniki magnetyczne i inne. Możliwość przenoszenia ładunku.

Google już tu jest ...

BostonDynamics



Dziękuję za uwagę

