



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki
Odnawialnej

Kierunek studiów:
Geodezja i Kartografia

Artur Warchoł

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

Zastosowania geoprzestrzennych baz danych

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2025



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Projekt „Dostosowanie kształcenia w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb współczesnej gospodarki”
nr FERS.01.05-IP.08-0234/23



Spis treści

1. Pozyskanie informacji geometrycznych do zarządzania zielenią	3
2. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR ALS.....	11
3. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR MLS	14
4. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR TLS.....	15
5. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR ULS	17
6. Inne dane i ich integracja	23
7. Literatura	25



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Pozyskanie informacji geometrycznych do zarządzania zielenią

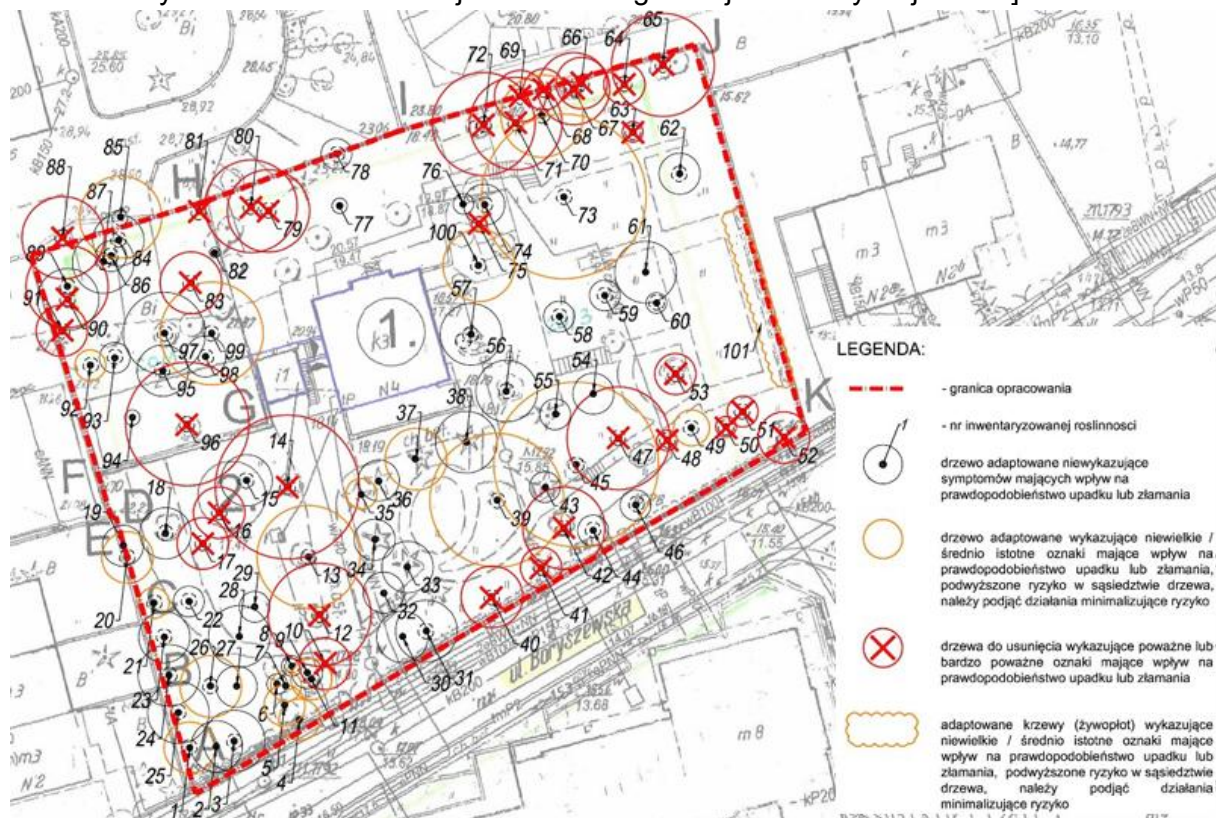
Inwentaryzacja zieleni miejskiej to proces, który polega na zbieraniu, danych dotyczących roślin na obszarach miejskich. Inwentaryzację można podzielić na kilka kluczowych elementów:

- Zbieranie danych – pozyskanie danych dotyczących rodzaju drzew, zasięgu korony, wysokości drzew oraz ich położenia.
- Klasyfikacja roślin – pod względem gatunku, stanu zdrowia, wieku.
- Analiza i raporty – pozwolą na wyciągnięcie wniosków dotyczących stanu roślinności oraz podjęciu dalszych działań.
- Sporządzenie mapy – zobrazuje stan roślinności.
- Planowanie przyszłych działań – wyniki inwentaryzacji pozwolą na działania ochronne istniejącej roślinności oraz poprawę infrastruktury zieleni miejskiej.

Można zauważyć, że inwentaryzacja zieleni miejskiej jest niezbędnym narzędziem dla zrównoważonego rozwoju miasta oraz lepszego wykorzystania przestrzeni miejskiej. Najlepszym rozwiązaniem do gromadzenia tego typu danych jest geoprzestrzenna baza danych, która łączy w sobie informacje opisowe o obiektach z ich lokalizacją [1].

Uproszczoną formą prezentacji jest mapa z naniesioną informacją dotyczącą inwentaryzacji drzew. W wersji papierowej jest to praktyczne i sprawdzone rozwiązanie, które jednak nie jest w stanie zmieścić tyle informacji do pliki w cyfrowej bazie danych.

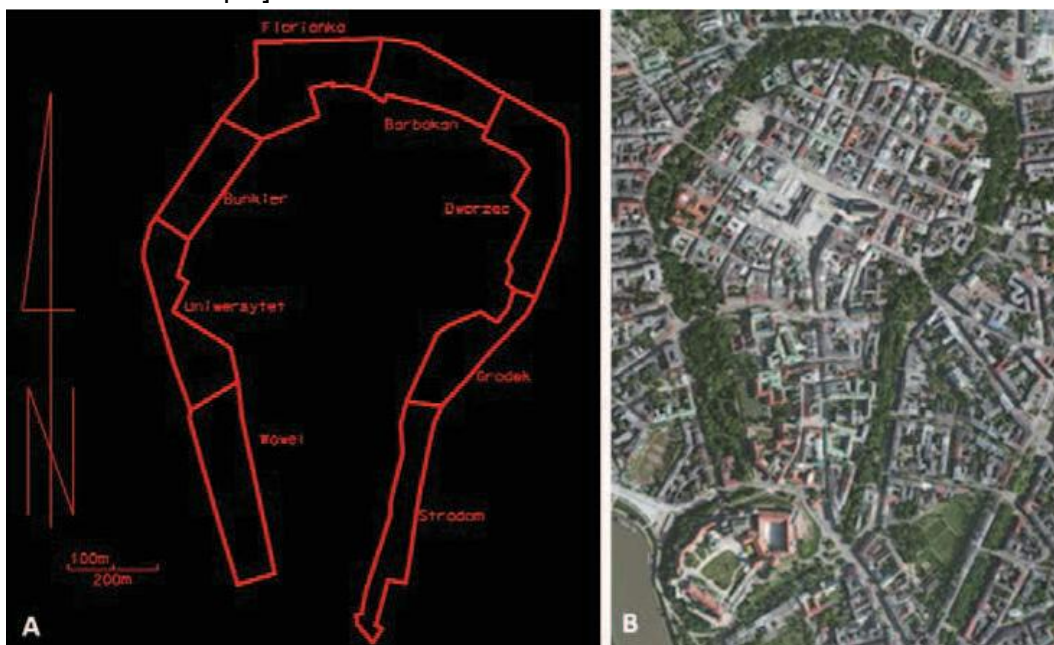
[Tekst alternatywny. Fragment mapy zasadniczej jako podkład w kolorze szarym wraz z naniesionymi w kolorze informacjami ze szczegółowej inwentaryzacji drzew]



Rys. 1. Mapa Zasadnicza wykorzystana do szczegółowej inwentaryzacji drzew
Źródło: <http://igreen.com.pl/warszawa-mokotow-ul-boryszewska/>

W literaturze można znaleźć opisy wykonanych inwentaryzacji zarówno w postaci klasycznej, jak i przy użyciu nowoczesnych technologii pomiarowych. Jednym z przykładów jest praca [2] pod tytułem „Integracja technologii lotniczego mobilnego i naziemnego skanowania laserowego w procesie inwentaryzacji zieleni miejskiej wybranych fragmentów Krakowa”. W przytoczonym opracowaniu autorzy prezentują proces inwentaryzacji zieleni miejskiej w tym wypadku na Plantach w Krakowie oraz Parku Jordana – rys. 2.

[Tekst alternatywny. Obszar przeprowadzonej inwentaryzacji – rys. A granica obszaru, rys. B podkład na ortofotomapie]



Rys. 2. Obszar, na którym przeprowadzono badania [2]

Inwentaryzacja zieleni miejskiej została zrealizowana w projekcie MONIT-AIR dla obszaru około 100 ha. W opisywanym artykule przedstawiono wyniki dla części fragmentów z całego pomiaru. Najpierw wykonano pomiar MLS przy wykorzystaniu sprzętu VMX-450 (RIEGL), który został zamontowany na dachu samochodu (Rys.3). System skanujący składał się z dwóch skanerów laserowych, czterech kamer fotogrametrycznych, jednostki inercyjnej (IMU) oraz odbiornika GNSS i odometru.

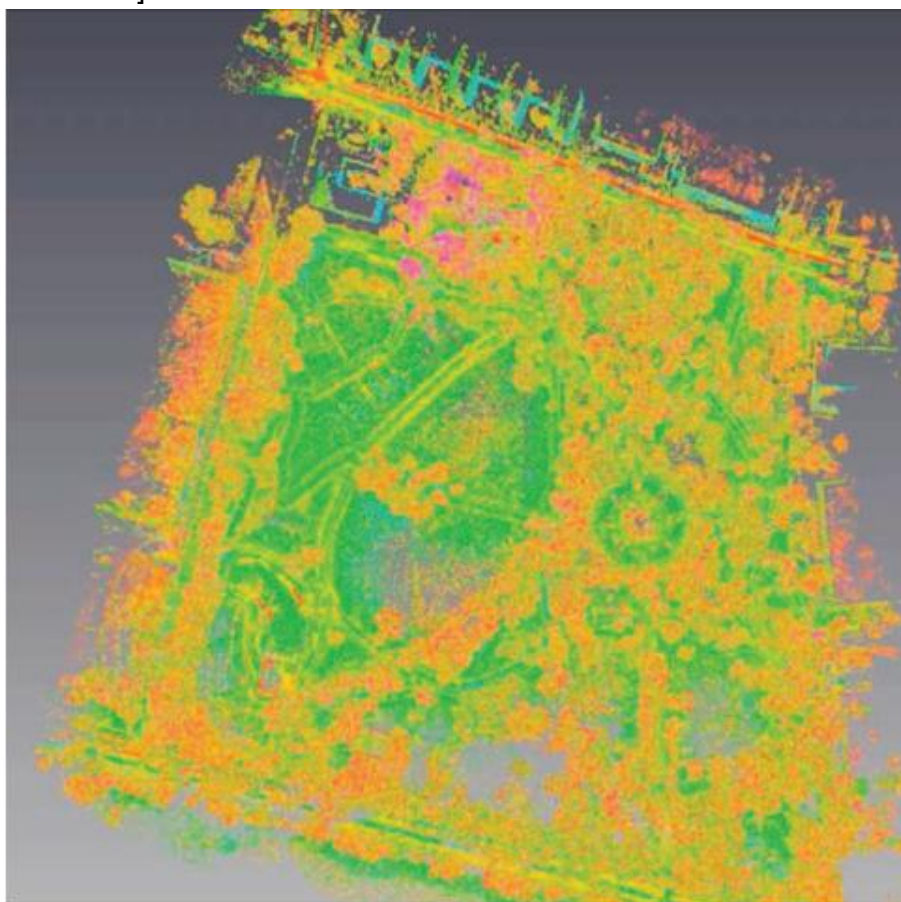
[Tekst alternatywny. System skanowania laserowego MLS firmy Riegl]



Rys. 3. System skanowania mobilnego zamontowany na dachu samochodu [2]

Mobilne skanowanie laserowe wykonano jesienią, co pozwala na lepszą penetrację roślinności i pozyskanie bardziej kompletnej informacji geometrycznej o szczególnych drzewach. Zarejestrowano chmurę punktów (atrybuty XYZ, czas GPS, RGB, echo, intensywność odbitego sygnału) oraz kontrolnie pomierzono 31 punktów rozmieszczonych równomiernie na całym obszarze. Wynik skanowania został przedstawiony, jako widok izometryczny na chmurę punktów (kolor po wartościach intensywności – rys. 4).

[Tekst alternatywny. Chmura punktów ze skanowania mobilnego kolorowana wg intensywności odbicia]



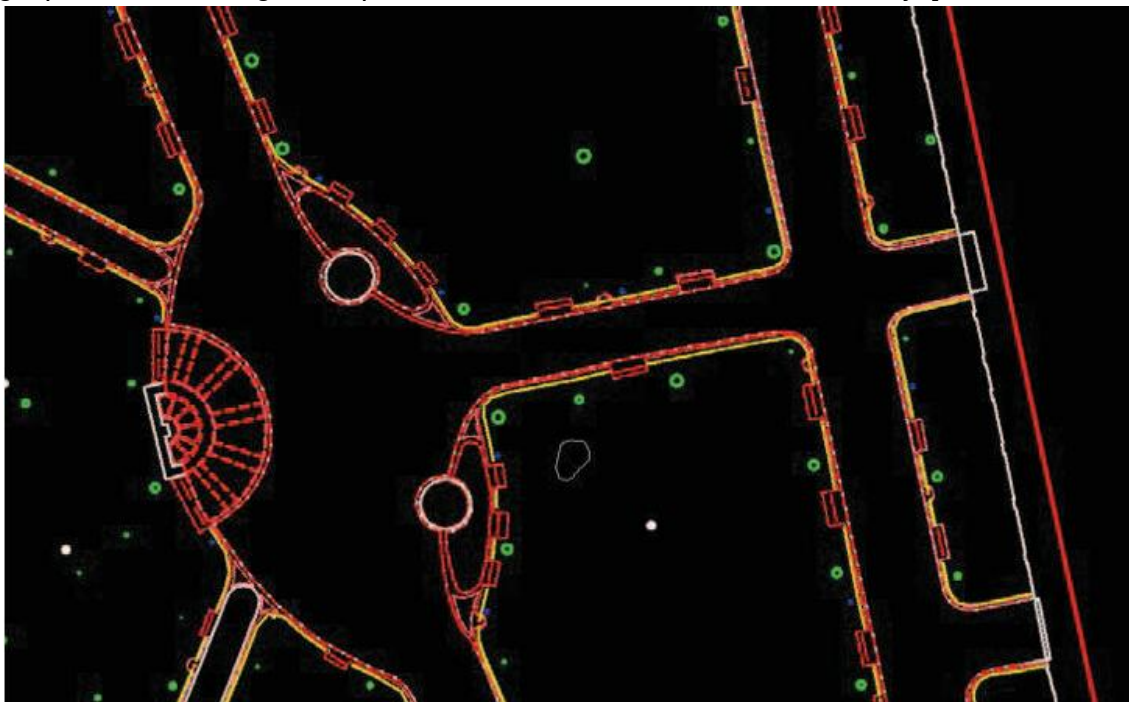
Rys. 4. Chmura punktów pozyskana z mobilnego skanowania laserowego [2]

Miejsca niedostępne dla samochodu doskanowano przy pomocy naziemnego skanera laserowego (TLS), z wykorzystaniem skanera Faro Focus 3D 130.

Uzyskane dane poddano procesowi wyrównania poszczególnych przejazdów oraz manualnym korektom. Następnie dzięki pomiarowi punktów kontrolnych w terenie nadano chmurze współrzędne płaskie (X, Y) oraz wysokościowe w układzie PL-KRON86-NH. Średni błąd końcowy nie przekraczał 8 cm (X,Y,Z). Taka chmura

punktów nadają się do precyzyjnego pozyskiwania danych jak środki drzew, zasięg korony, wysokości drzew czy zasięg kostki brukowej. W ramach opracowania kameralnego chmury punktów zwektoryzowano wszystkie potrzebne obiekty, w tempie ok. 50 sek. Na jeden obiekt. Był to łączny czas pozyskania danych w terenie, ich przeliczania oraz wektoryzacji.

[Tekst alternatywny. Efekt wektoryzacji obiektów z chmury punktów – elementy zagospodarowania fragmentu parku – ławki, kosze, drzewa, latarnie, alejki]



Rys. 5. Efekt wektoryzacji chmury punktów [2]

Inwentaryzację zieleni miejskiej na terenach mocno zurbanizowanych można wykonać przy pomocy danych fotogrametrycznych. Przykładem jest „Wykorzystanie danych fotogrametrycznych do inwentaryzacji zieleni na terenach zurbanizowanych” autorstwa Kubalska J., Preuss R. [3]. Badanie przeprowadzono na fragmencie osiedla zlokalizowanego w Starym Mieście Wrocławia - rys. 6.

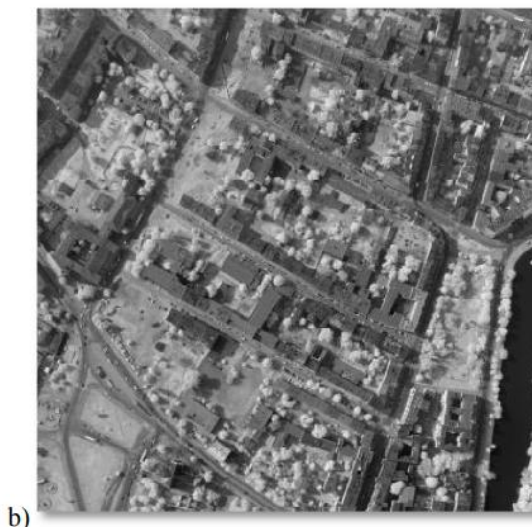
[Tekst alternatywny. Granica obszaru badań we Wrocławiu zwizualizowana na podkładzie ortofotomapy]



Rys. 6. Obszar badania [3]

Do badania wykorzystano lotnicze zdjęcia cyfrowe pochodzące z 2006 r., które pozyskano wieloobiektywową, wielkoformatową cyfrową kamerą UltraCamD firmy Vexcel. Pokrycie poprzeczne i podłużne kamery umożliwiło zmniejszenie martwych pól oraz wygenerowania poprawnie trueortho. Zdjęcia pozyskane do badań to rejestracje w czterech kanałach: R – czerwonym, G – zielonym, B – niebieskim oraz NIR – bliska podczerwień (Rys. 2.13).

[Tekst alternatywny. Zdjęcia wykorzystane do badań – rys. A w barwach rzeczywistych, rys. B – w kanale podczerwieni]

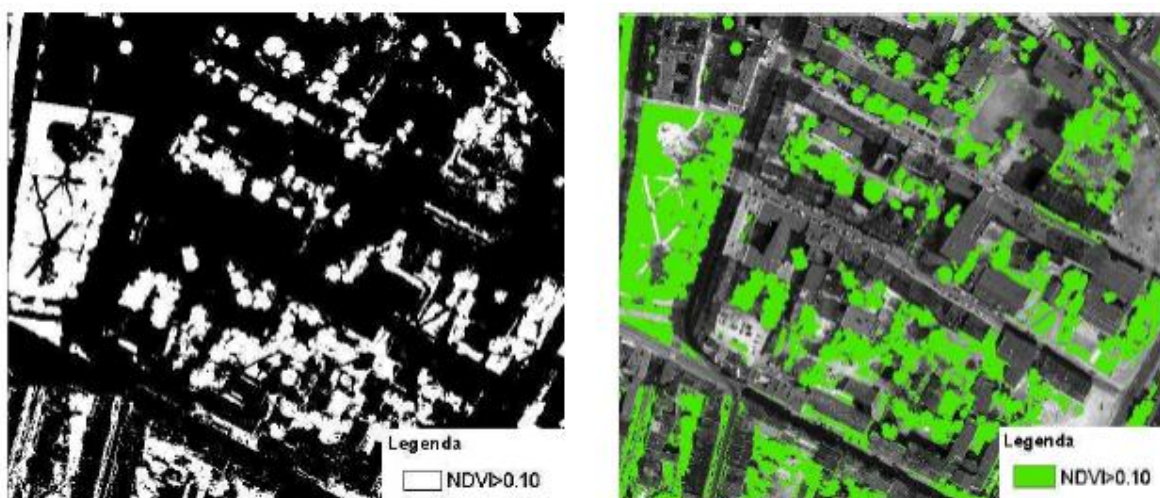


Rys. 7. Zdjęcia wykorzystane w badaniach a) barwa rzeczywista b) barwa podczerwieni [3]

Dodatkowo wykorzystano chmurę punktów ALS również z 2006 r., co daje nam pewność wykonania pomiarów w tym samym okresie wegetacyjnym roślin. Do skanowania laserowego wykorzystano skaner OPTTECH ALTM 2050, którego umieszczono na pokładzie samolotu Cessna 402B. Skaner wykonał pomiar terenu z gęstością 15 pkt/m² przy pułapie samolotu 1000 metrów dając dokładność wysokościową $m_h = \pm 10$ cm.

Na podstawie zebranych danych wygenerowano trueortho w barwach naturalnych RGB oraz w barwach podczerwieni CIR eliminując martwe pola. Trueortho w barwach podczerwieni wykorzystano do inwentaryzacji roślinności. Określono wartość wskaźnika NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index), co pozwoliło zlokalizować i wyodrębnić tereny zielone – rys. 8. Następnie za pomocą wskaźnika NDVI oraz danych wysokościowych nNMPT wydzielono cztery klasy zieleni miejskiej: trawniki, krzewy, drzewa niskie i drzewa wysokie. Wyniki przeprowadzonej klasyfikacji przedstawiono na mapie z nałożoną warstwą budynków oraz dróg (Rys. 9).

[Tekst alternatywny. Filtrowanie lokalizacji roślinności pomiędzy budynkami – rys. A na poziomie maski, rys. B maska na zielono na podkładzie ortofotomapy]



Rys. 8. Lokalizacja roślinności przy użyciu wskaźnika NDVI [3]

[Tekst alternatywny. Fragment mapy tematycznej – roślinność w mieście. W kolorze jasnozielonym trawy, zielonym – niskie drzewa, ciemnozielonym – wysokie drzewa, łososiowym – budynki, oliwkowym - krzewy]



Rys. 9. Wynikowa mapa roślinności [3]

Połączenie chmury punktów wraz ze zdjęciami lotniczymi cyfrowymi pozwala na przeprowadzenie dokładnej klasyfikacji terenów zielonych na terenach zurbanizowanych. Dane wysokościowe umożliwiły klasyfikację zieleni na niską i wysoką, co dało dokładniejsze wyniki prezentowane na mapie wynikowej. Na obszarach o gęstej zabudowie skanowanie laserowe czy zdjęcia cyfrowe lotnicze dają możliwość szybkiego wyniku inwentaryzacji z wysoka dokładnością [3].



2. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR ALS

Do stworzenia bazy danych wybranego obszaru, która może być wykorzystywana do zarządzania zielenią miejską można wykorzystywać dane geoprzestrzenne z różnych źródeł. Oprócz BDOT500, gdzie znajdują się elementy zagospodarowania przestrzeni, ale z niewystarczającą ilością informacji opisowych, można również zdecydować się na samodzielne pozyskanie danych. Wśród technologii, które sprawdzają się w takich zagadnieniach są m.in.:

- chmura punktów LiDAR ALS –
- chmura punktów LiDAR TLS,
- chmura punktów LiDAR MLS,
- chmura punktów LiDAR ULS,
- bezpośrednie pomiary terenowe wybranych parametrów geometrycznych drzew,
- dane multispektralne UAV.

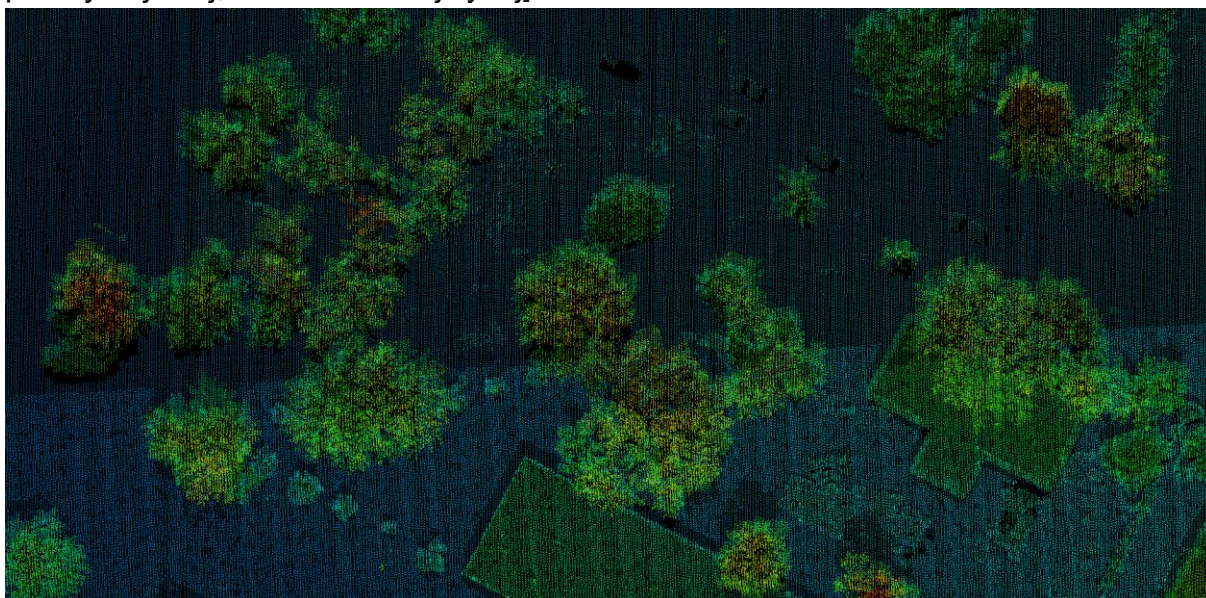
[Tekst alternatywny. Chmura punktów ALS kolorowana wg wartości RGB]



Rys. 10. Chmura punktów ALS kolorowana wg wartości RGB (oprac. własne na podstawie danych z UM Kielce)

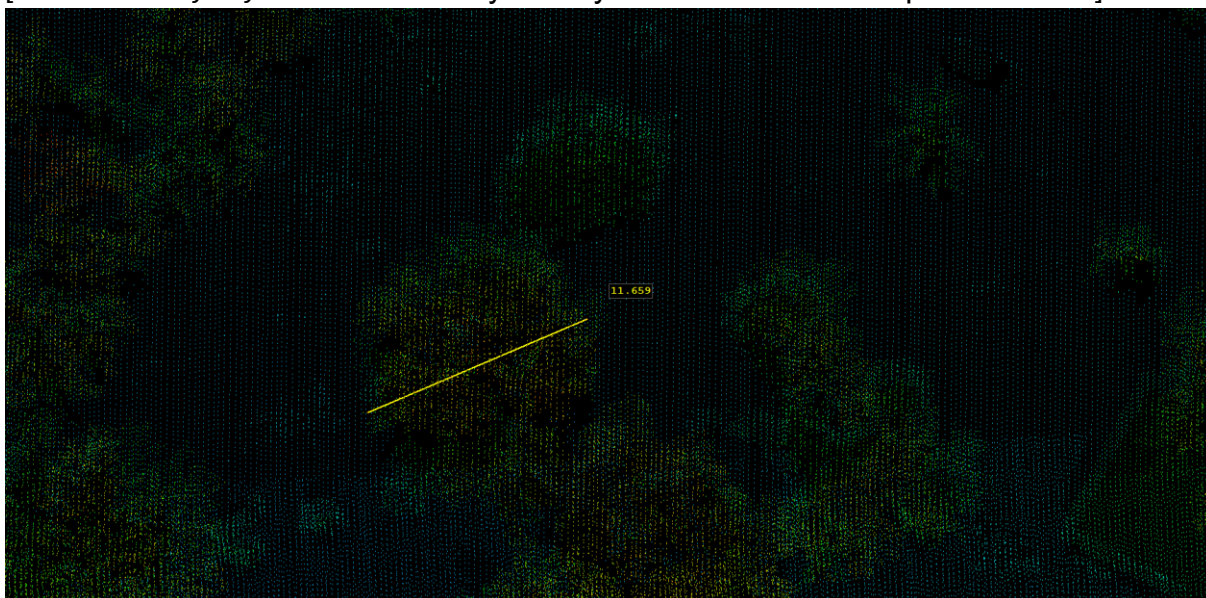


[Tekst alternatywny. Chmura punktów ALS kolorowana wg wysokości – niebieskie punkty najniżej, czerwone - najwyżej]



Rys. 11. Chmura punktów ALS kolorowana wg wysokości (oprac. własne na podstawie danych z UM Kielce)

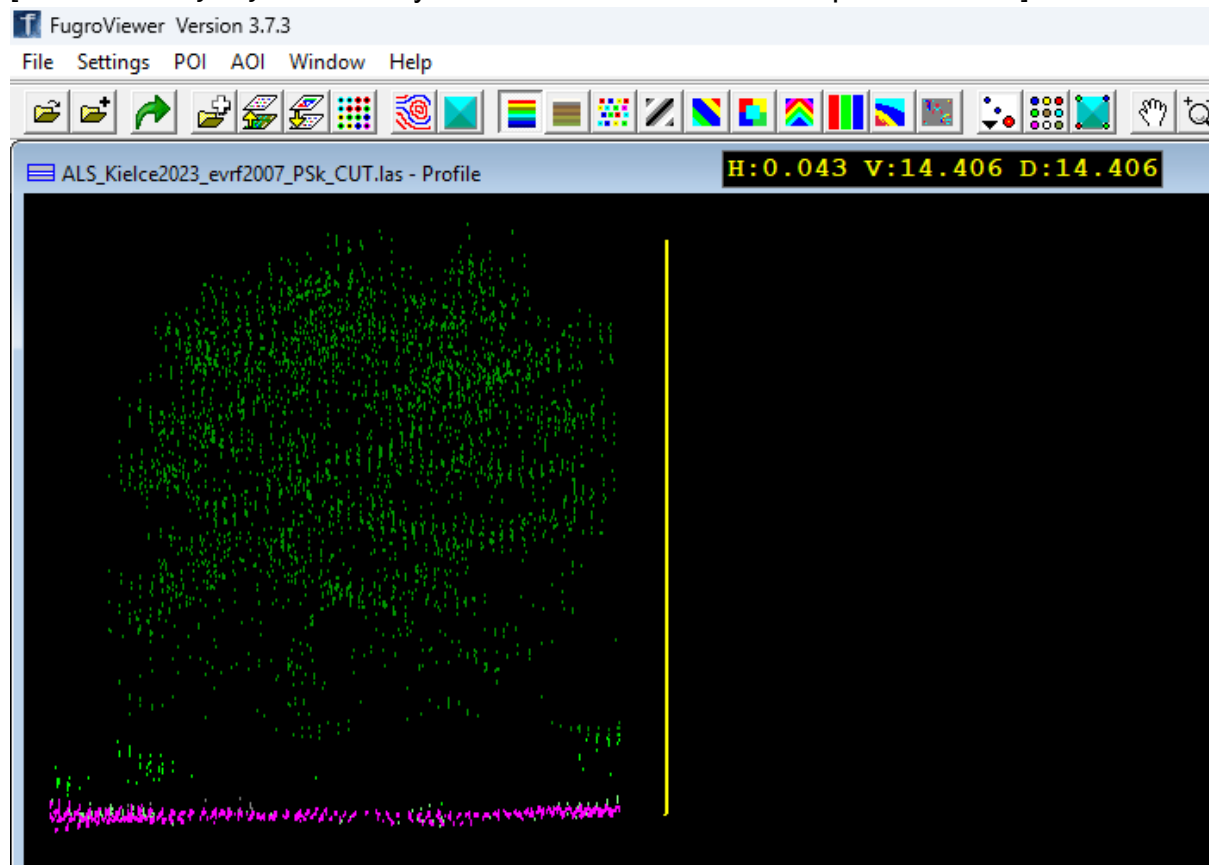
[Tekst alternatywny. Pomiar średnicy korony drzewa na chmurze punktów ALS]



Rys. 12. Pomiar średnicy korony drzewa na chmurze punktów ALS.



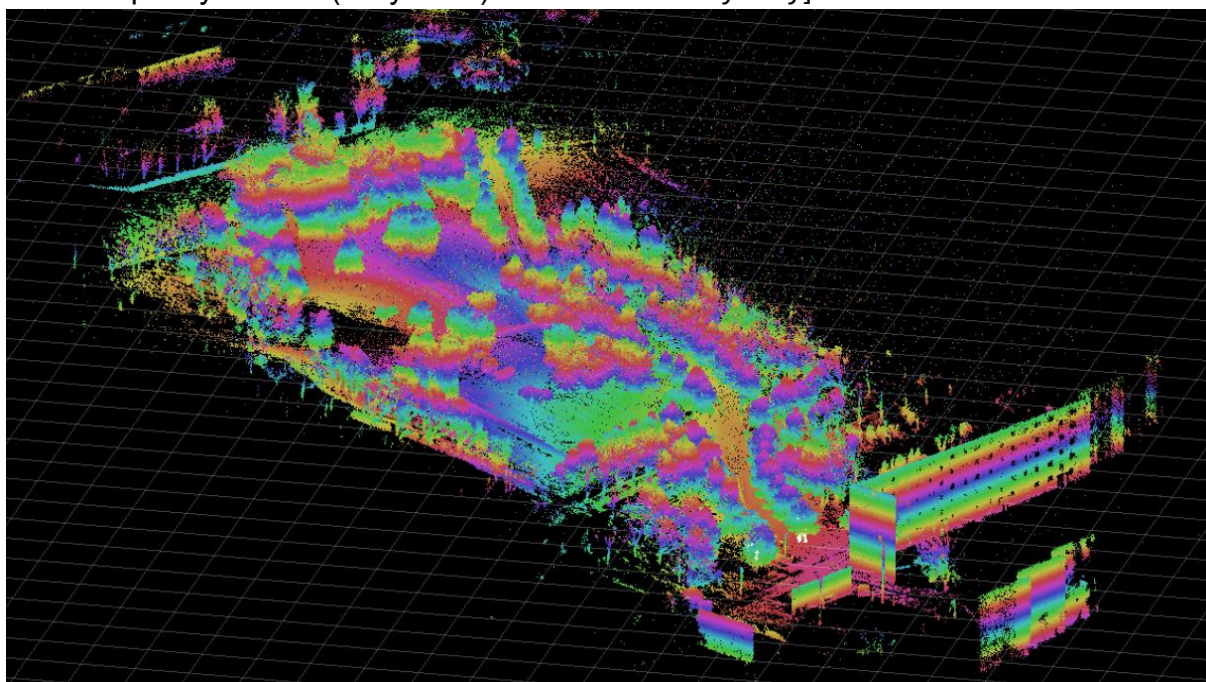
[Tekst alternatywny. Pomiar wysokości drzewa na chmurze punktów ALS]



Rys. 13. Pomiar wysokości drzewa na chmurze punktów ALS (oprac. własne na podstawie danych z UM Kielce)

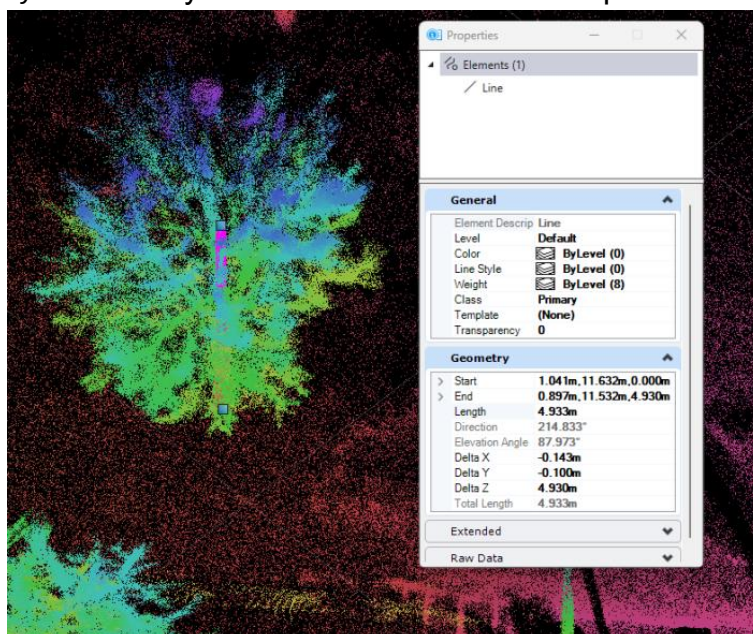
3. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR MLS

[Tekst alternatywny. Chmura punktów MLS dla fragmentu Parku Dygasińskiego kolorowana po wysokości (w cyklach) – widok izometryczny]



Rys. 14. Chmura punktów MLS kolorowana po wysokości – widok izometryczny [5]

[Tekst alternatywny. Pomiar wysokości drzewa na chmurze punktów MLS]

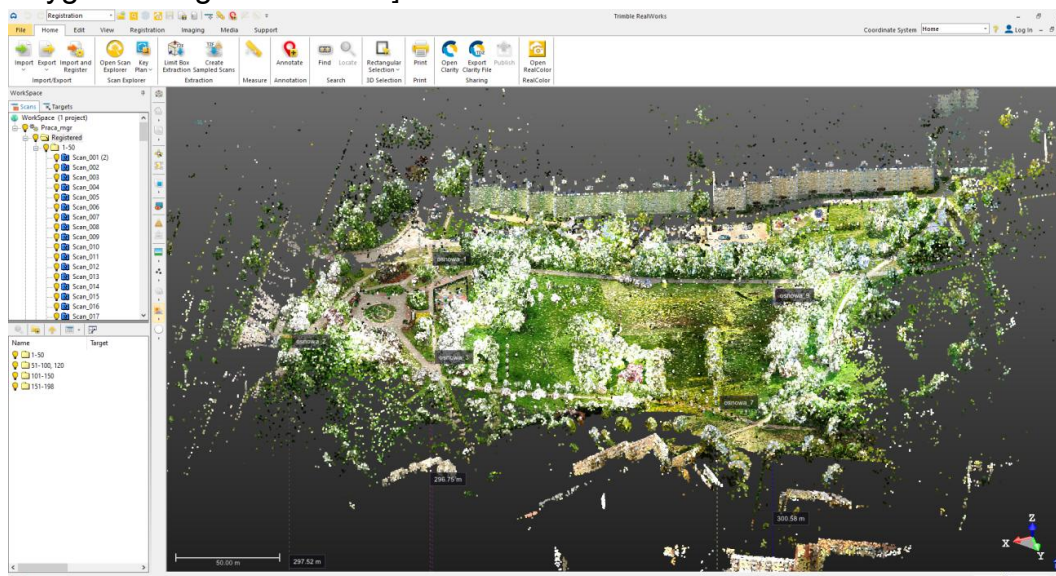


Rys. 15. Pomiar wysokości drzewa na chmurze punktów MLS [5].



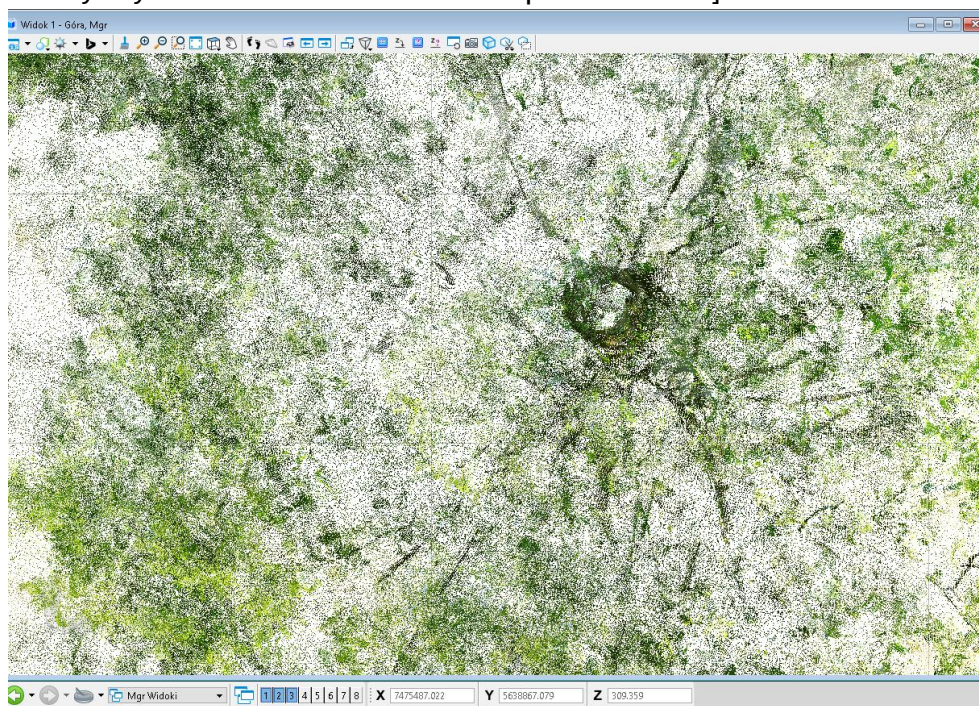
4. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR TLS

[Tekst alternatywny. Chmura punktów TLS kolorowana wg wartości RGB, dla obszaru parku Dygasińskiego w Kielcach]



Rys. 16. Chmura punktów TLS dla obszaru parku Dygasińskiego w Kielcach [4].

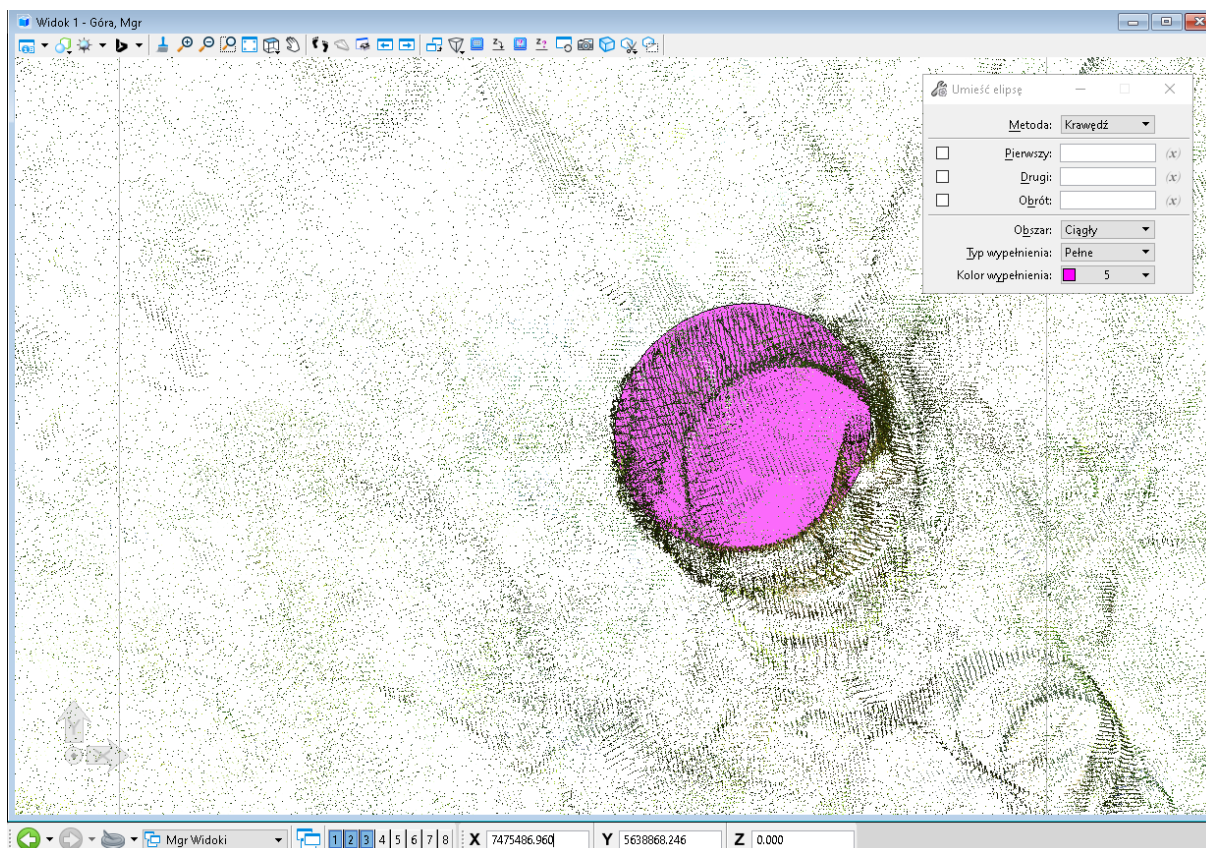
[Tekst alternatywny. Pień drzewa na chmurze punktów TLS]





Rys. 17. Pień drzewa na chmurze punktów TLS [4]

[Tekst alternatywny. Wyznaczanie środka drzewa z chmury punktów TLS]

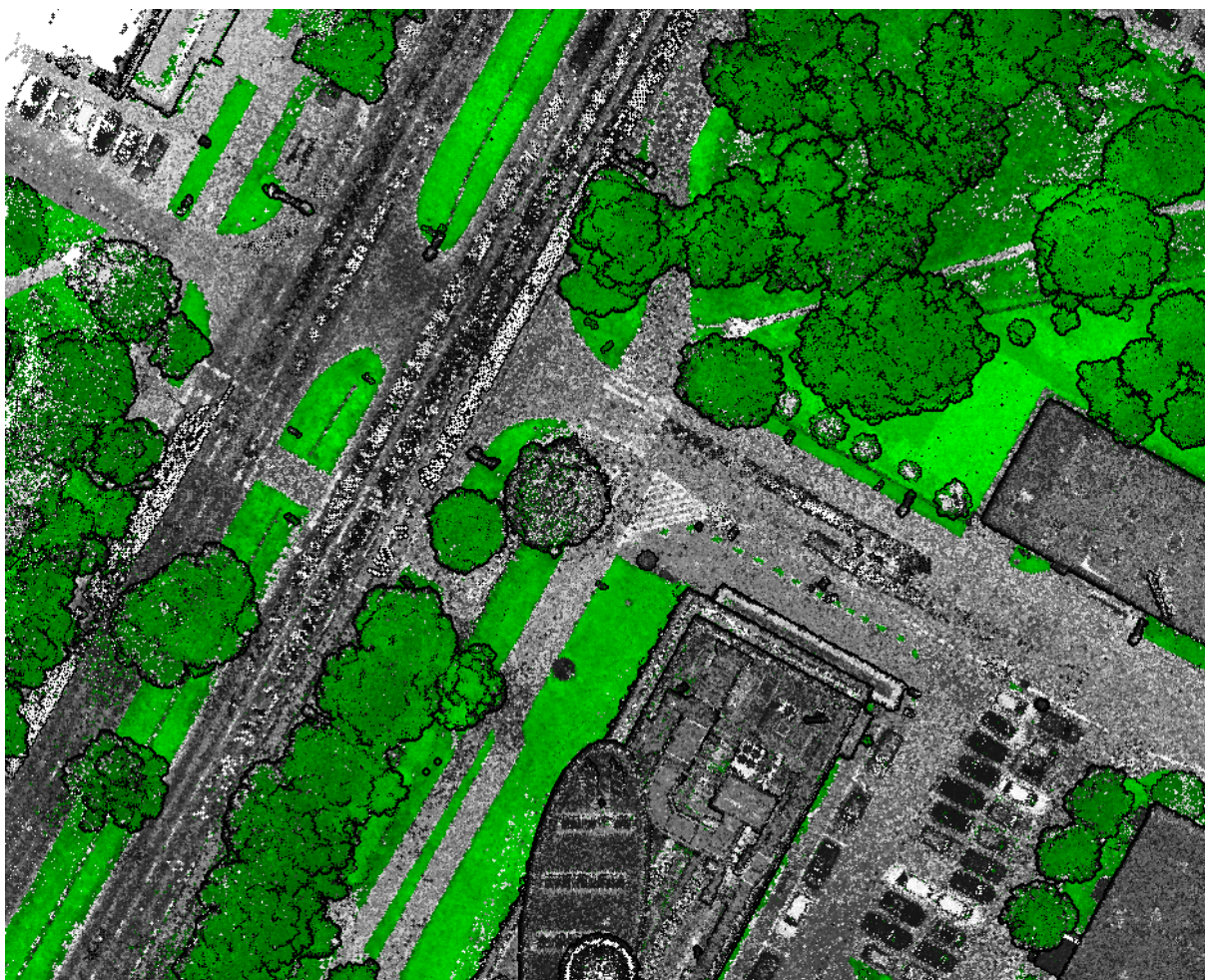


Rys. 18. Wyznaczanie środka drzewa z chmury punktów TLS [4].



5. Pozyskanie parametrów geometrycznych drzew z danych LiDAR ULS

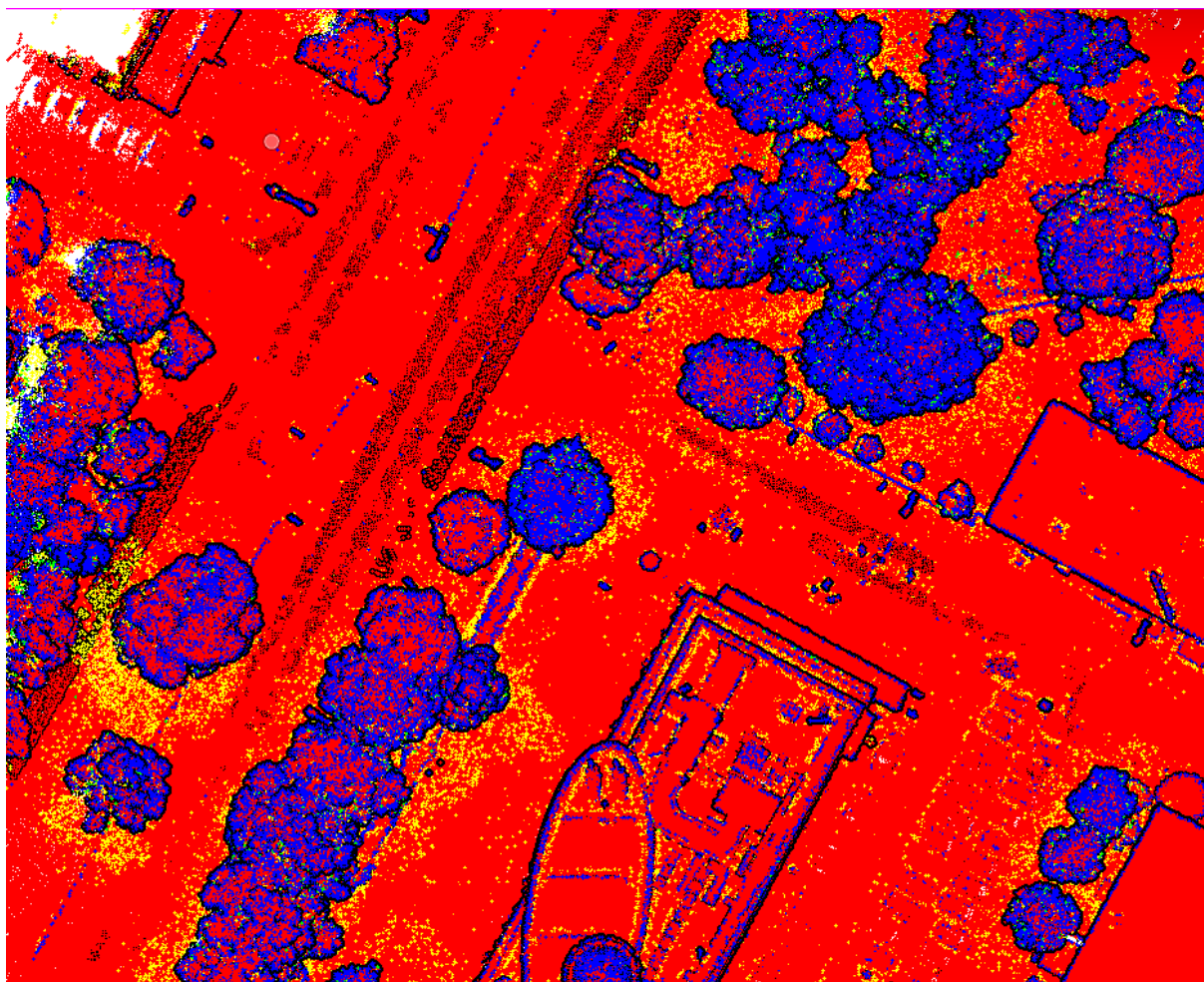
[Tekst alternatywny. Chmura punktów ULS – kolorowanie w trybie „wegetacja”. Roślinność na zielono, pozostała treść w intensywności odbicia – skala szarości]



Rys. 19. Chmura punktów ULS – kolorowanie w trybie „wegetacja”



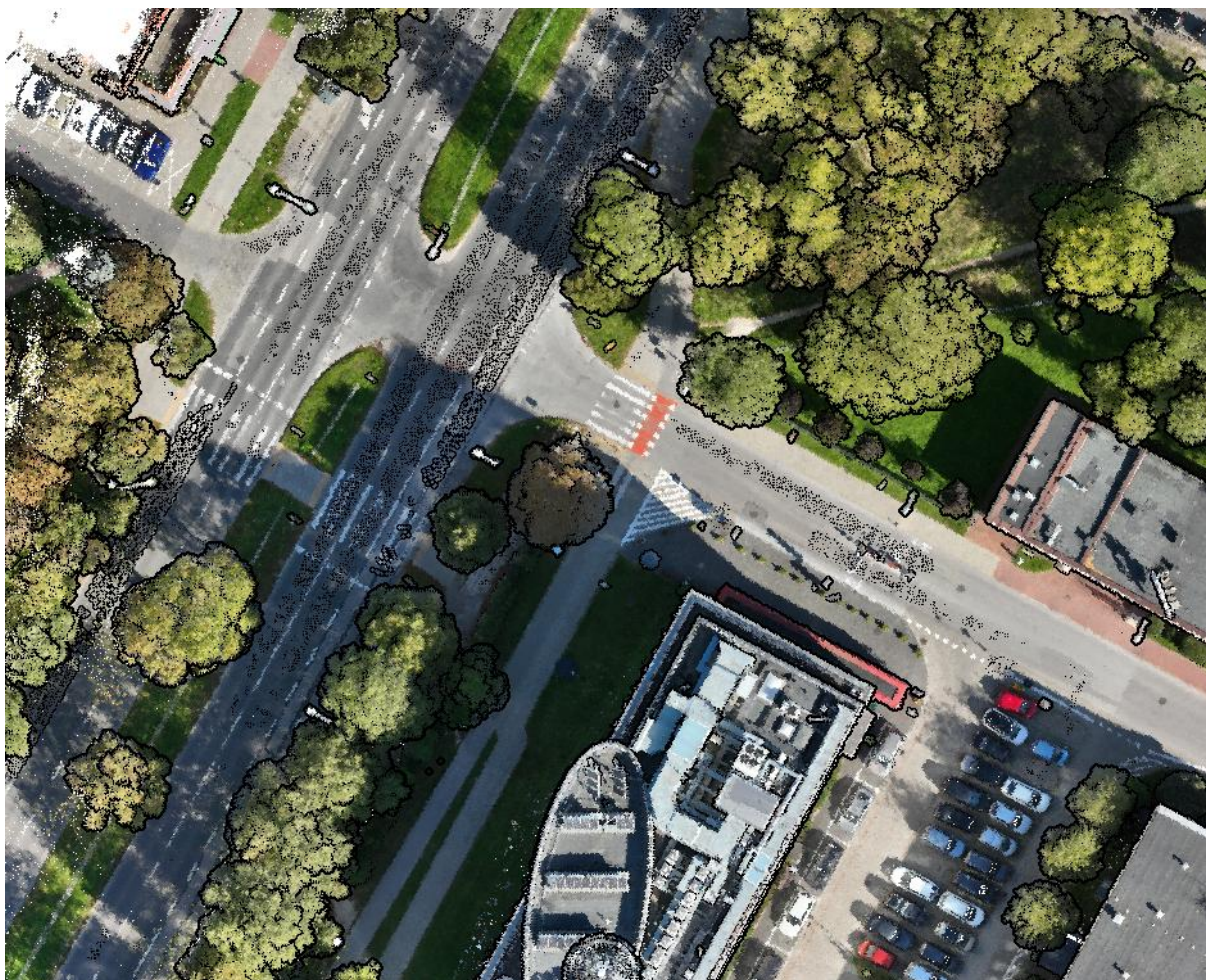
[Tekst alternatywny. Chmura punktów ULS – kolorowanie po echu. Czerwone – jedyne, niebieskie – pierwsze z wielu, żółte – środek]



Rys. 20. Chmura punktów ULS – kolorowanie po echu



[Tekst alternatywny. Chmura punktów ULS – kolorowanie po RGB]



Rys. 21. Chmura punktów ULS – kolorowanie po RGB



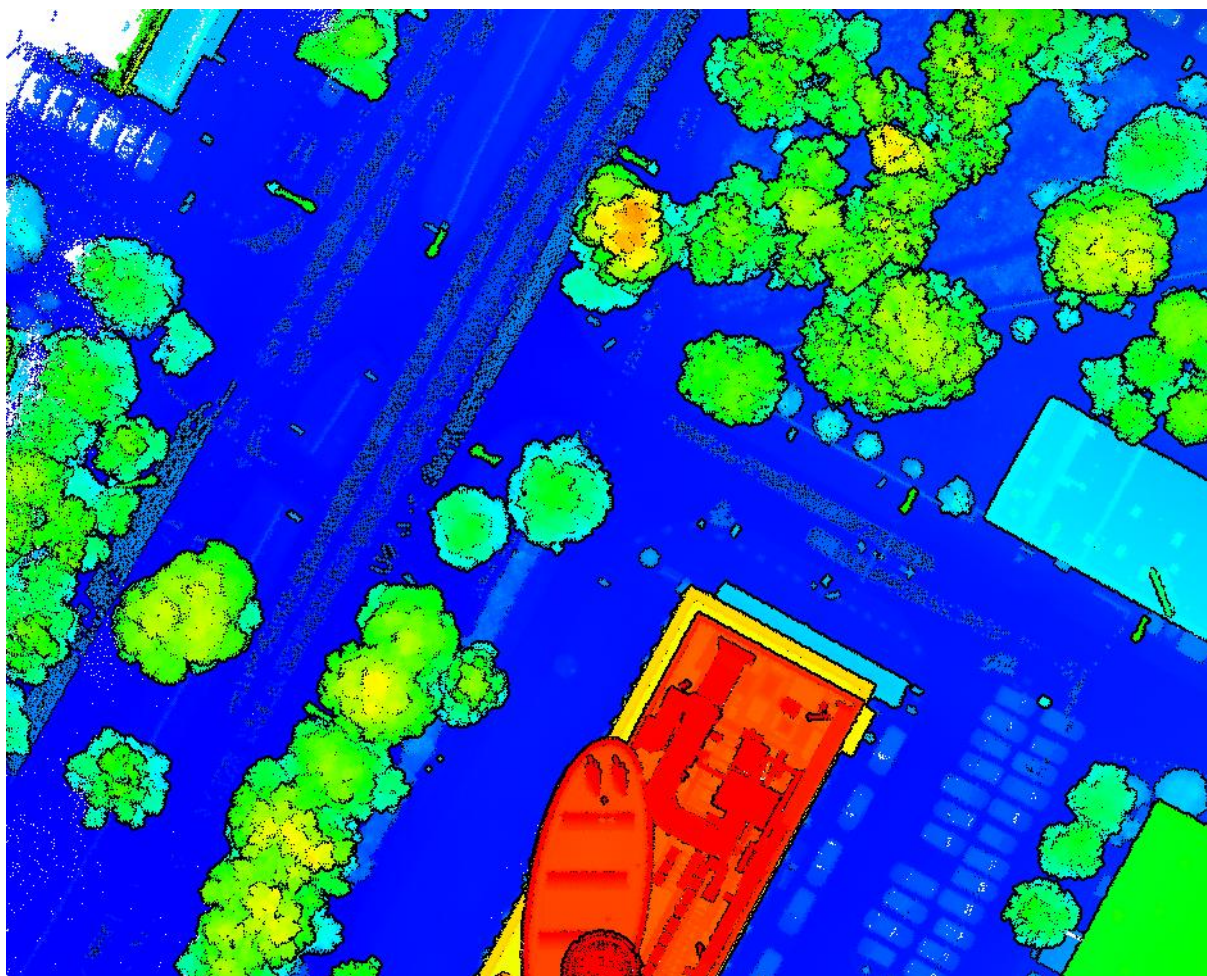
[Tekst alternatywny. Chmura punktów ULS – kolorowanie po intensywności – skala szarości]



Rys. 22. Chmura punktów ULS – kolorowanie po intensywności.



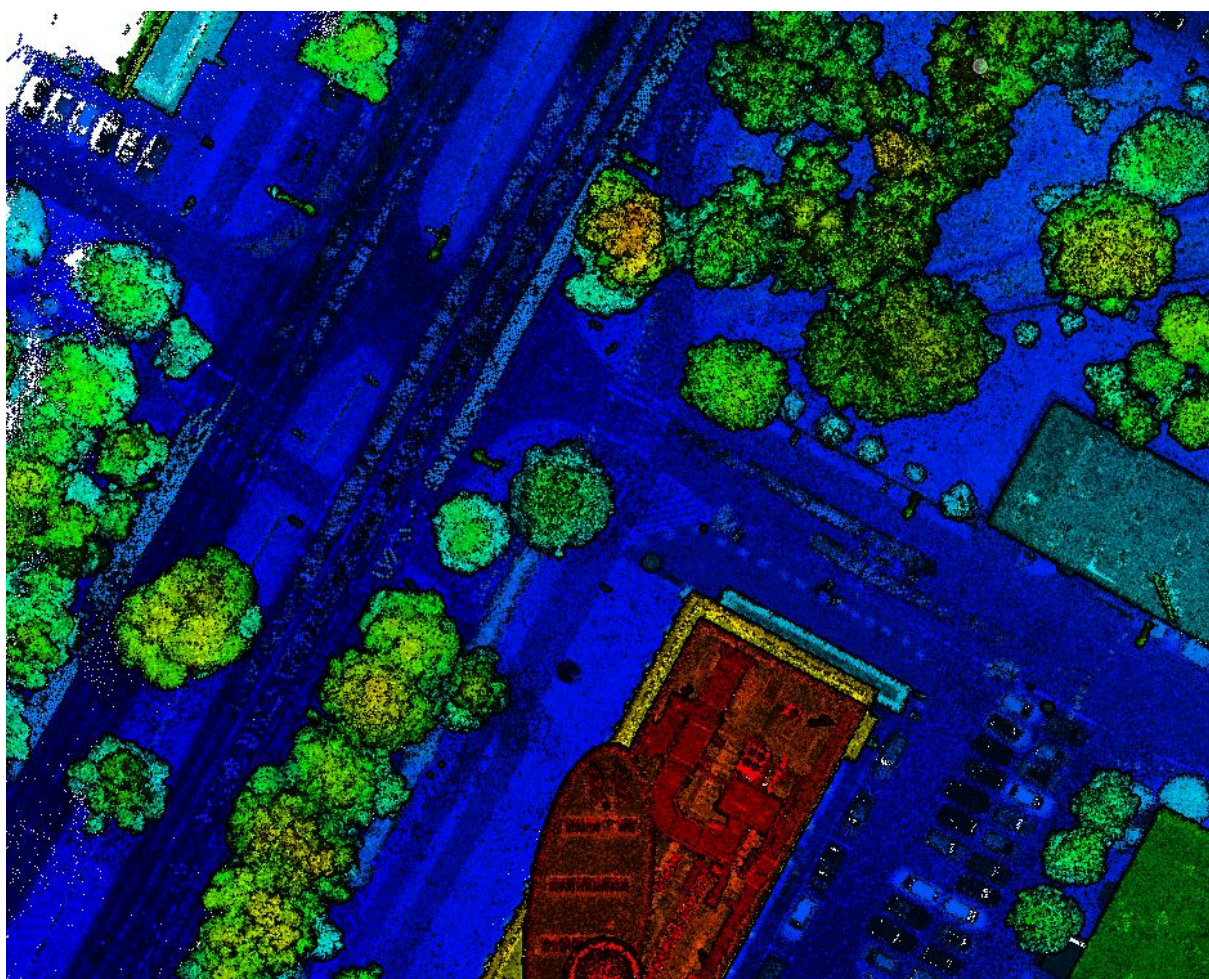
[Tekst alternatywny. Chmura punktów ULS kolorowana wg wysokości – punkty najniższe na niebiesko, najwyższe na czerwono]



Rys. 23. Chmura punktów ULS kolorowana wg wysokości



[Tekst alternatywny. Chmura punktów ULS kolorowana wg wysokości z włączonym przesłaniami tła. Punkty najniższe na niebiesko, najwyższe na czerwono]



Rys. 23. Chmura punktów ULS kolorowana wg wysokości z włączonym przesłaniami tła.

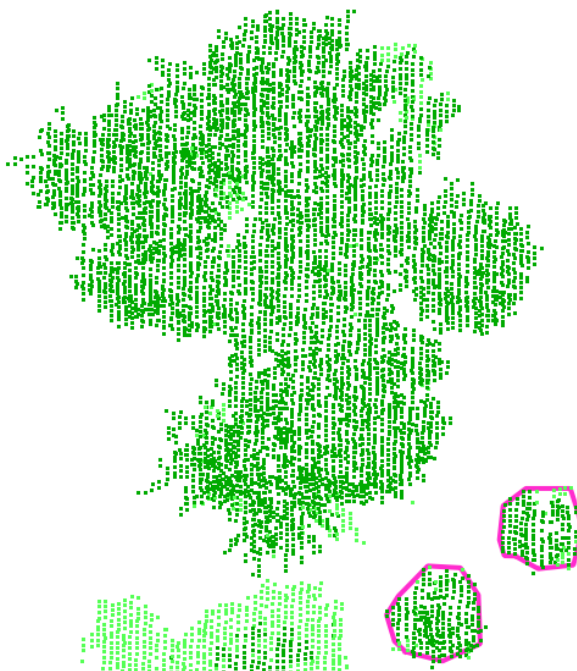
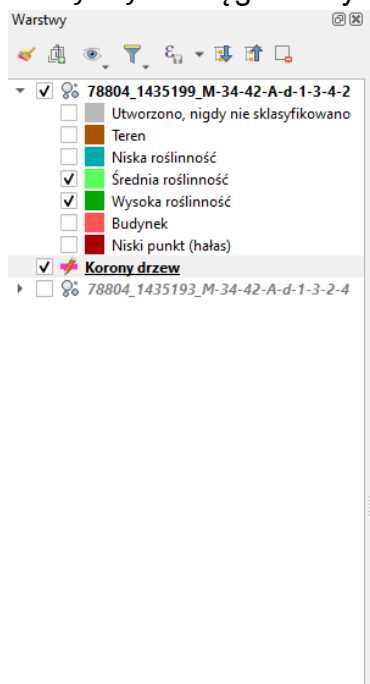
6. Inne dane i ich integracja

[Tekst alternatywny. Zasięg korony (żółty obrys) pozyskany z ortofotomapy]



Rys. 24. Zasięg korony pozyskany z ortofotomapy.

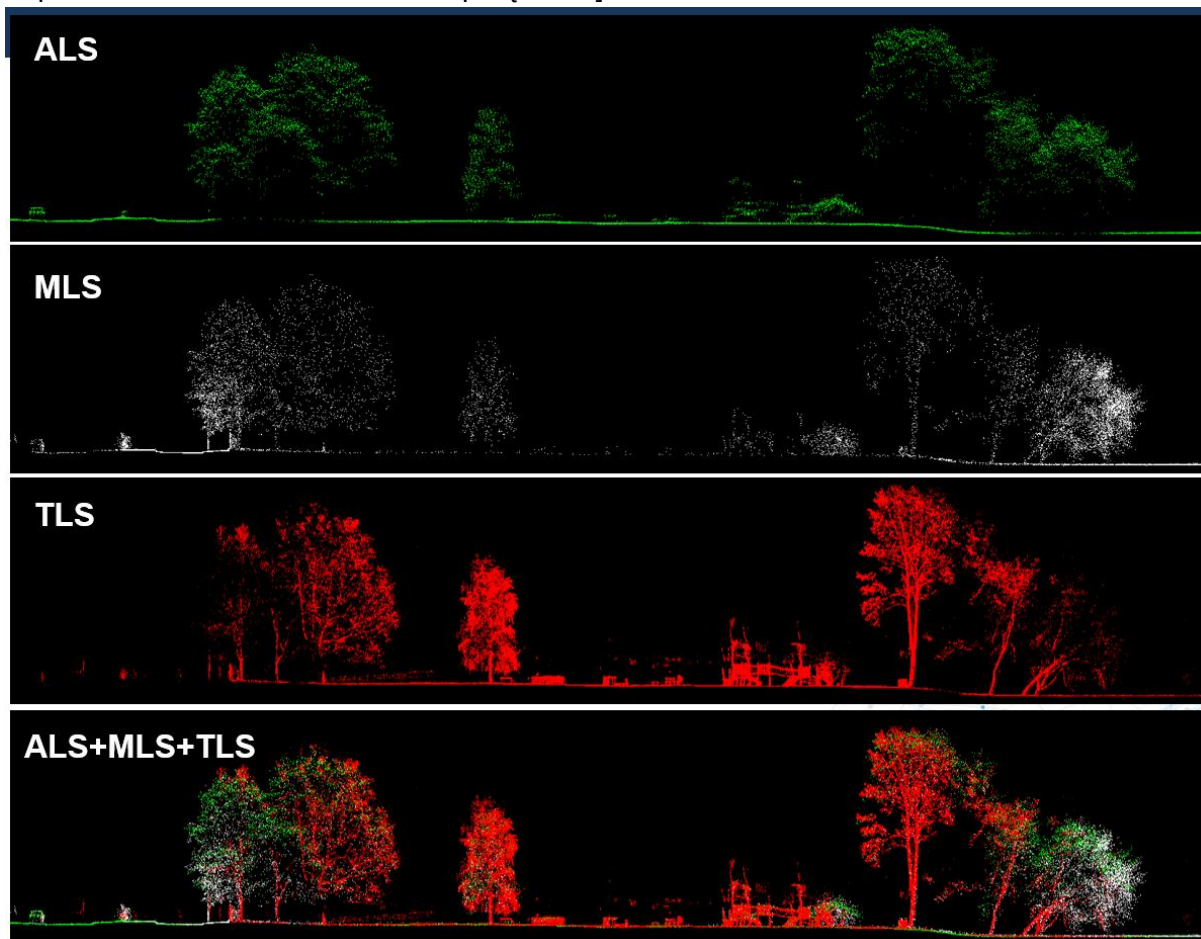
[Tekst alternatywny. Zasięg korony fioletowy obrys, pozyskany z chmury punktów ALS]





Rys. 25. Zasięg korony pozyskany z chmury punktów ALS.

[Tekst alternatywny. Integracja danych LiDAR – przekrój przez obszar parku. Od góry chmury odpowiednio: ALS, MLS, TLS oraz połączone]



Rys. 26. Integracja danych LiDAR [6].



7. Literatura

- [1] Roloff A., Bärtels A., Kahle A., 2016, Urban Tree Management: For the Sustainable Development of Green Cities, Wydawnictwo Springer
- [2] Warchoł A., Szwed P., Wężyk P., 2016, Integration of technology of airborne, mobile and terrestrial laser scanning in the process of inventory urban vegetation in selected parts of Kraków Pokrycie terenu i przewietrzanie Krakowa. Materiały międzynarodowej konferencji naukowo-promocyjnej podsumowującej realizację projektu MONIT-AIR, 20.10.2016, s. 67-80, ISBN 978-83-918196-6-1
- [3] Kubalska, J., & Preuss, R. 2014. Wykorzystanie danych fotogrametrycznych do inwentaryzacji zieleni na terenach zurbanizowanych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 26, 75–86. <https://doi.org/10.14681/afkit.2014.006>
- [4] Lisik P. 2024. Weryfikacja bazy BDOT500 w zakresie dokładności położenia elementów zieleni miejskiej na przykładzie Parku Dygasińskiego w Kielcach – praca mgr niepublikowana, promotor: A.Warchoł
- [5] Chmielewski B., 2025. Określenie wysokości drzew w Parku Dygasińskiego w Kielcach przy pomocy różnych geodezyjnych technologii pomiarowych – praca inżynierska niepublikowana, promotor A.Warchoł
- [6] Warchoł A., Bajorek-Zydroń K. Rola geodanych w budowaniu Smart Cities. Konferencja promocyjna Atlasu pokrycia terenu i przewietrzania Krakowa. 30.03.2017 Bielsko-Biała