

# Raport techniczny

Analiza dokładności NMT i NMPT na przykładzie danych ISOK dla wybranego fragmentu Krakowa

Łukasz Grys  
Patrik Gałka  
Jakub Gruca  
Marta Dziejarska  
Seksja 6

## Podsumowanie

Celem projektu było przeprowadzenie analiz dokładności NMT oraz NMPT dla fragmentu Krakowa w okolicach Kopca Kościuszki. Przeprowadzone kontrole pokazują, że dane nie zawsze mają charakter rozkładu normalnego, a zatem nie można liczyć jedynie RMSE (zgodnie z wytycznymi polskiego ustawodawstwa) jako parametru opisującego ich dokładność. Zgodnie z przewidywaniami najlepszą dokładność wykazują punkty położone na powierzchniach utwardzonych, a gorsze wyniki cechują roślinność niską i średnią. Uzyskana ogólna dokładność NMT wydaje się mało wiarygodnym wynikiem ze względu na zbyt małą liczbę obserwacji dotyczących gruntu leżącego pod roślinnością średnią i ich brakiem pod roślinnością wysoką. Dokładność NMPT waha się w granicach 20-60cm, przy czym dokładność wysokościowa jest znacznie lepsza od sytuacyjnej co jest zgodne z powszechnie znaną charakterystyką danych ALS.

## Wprowadzenie

Chcąc zrealizować zamierzony cel, wybrano teren do pomiaru oraz pozyskano potrzebne do analiz dane z Projektu ISOK.

Głównym celem Projektu ISOK w zakresie realizowanym przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii jest budowa referencyjnych, zharmonizowanych i interoperacyjnych baz danych przestrzennych do których docelowo dostęp będzie możliwy dzięki usługom uruchamianym w ramach realizacji projektu GEOPORTAL 2.

W ramach projektu GUGiK jest odpowiedzialny m.in. za wykonanie poniższych zadań:

- danych wysokościowych w technologii lotniczego skaningu laserowego dla zlewni rzek o łącznej docelowej powierzchni około 289 tyś. km<sup>2</sup>. Produktami dostarczonymi do Zamawiającego były:

Produkt 1 - chmura punktów laserowych w Standardzie I:

- dla powierzchni 267 403 km<sup>2</sup> o gęstości 4 punktów/m<sup>2</sup>.

- dla powierzchni 8 148 km<sup>2</sup> o gęstości 6 punktów/m<sup>2</sup>

Produkt 2 - chmura punktów laserowych w Standardzie II dla powierzchni 13 769 km<sup>2</sup> obszarów miejskich o gęstości 12 punktów/m<sup>2</sup>.

Produkt 3 - numeryczny model terenu w jednolitym standardzie dla całości opracowania 289 tyś km<sup>2</sup> - GRID o oczku 1m.

Produkt 4 - numeryczny model powierzchni terenu dla powierzchni 275 551 km<sup>2</sup> - GRID o oczku 1m (odpowiada powierzchni Produktu 1)

Produkt 5 - numeryczny model powierzchni terenu dla powierzchni 13 769 km<sup>2</sup> - GRID o oczku 0,5 m (odpowiada powierzchni Produktu 2)

Produkt 6 - zobrazowania lotnicze jako pomocniczy materiał interpretacyjny i źródło informacji o atrybutach RGB dla chmury punktów LIDAR.

- systemu zarządzania Numerycznym Modelem Terenu (NMT).
- cyfrowej ortofotomapy obejmującej obszar 203 miast o powierzchni około 20.000 km<sup>2</sup> - GSD 10cm.
- elementów Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) w zakresie kluczowym dla realizacji zadań ochrony przeciwpowodziowej.

Wykorzystując produkty ISOK, tj. Produkt 2, Produkt 3 i Produkt 5, w celu zbadania ich dokładności, zdecydowano się przeprowadzić kontrolę wewnętrzną i zewnętrzną.

## **Dane i metodyka**

**1.** Badania objęły obszar w okolicach Kopca Kościuszki, a w szczególności teren położony przy stacji Orlen (ul. Wioślarska 1) oraz cmentarz Salwatorski. Dla tego obszaru otrzymano potrzebne dane z bazy ISOK do przeprowadzenia analiz dokładności. Zadaniem projektu było określenie dokładności NMT i NMPT wybranych obszarów, w tym dokładności wewnętrznej i zewnętrznej. W ramach badania dokładności wewnętrznej wykorzystano chmurę punktów LiDAR, NMT oraz NMPT. Do analizy dokładności zewnętrznej użyto NMT, NMPT (dla budynków) oraz wyników pomiarów terenowych przeprowadzonych w okolicy Kopca Kościuszki.

Pomiar terenowy przebiegł w dwojaki sposób: stosując pomiar tachymetryczny, podczas którego pomierzono budynki oraz pomiar GPS, którym pomierzono płaszczyzny oraz profile terenu.

**2.** Aby móc określić dokładności wewnętrzną NMT oraz NMPT koniecznym było wykonanie ekstrakcji chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego. W tym celu wykorzystano program SAGA, gdzie dokonano tego przez wyodrębnienie poszczególnych klas chmury, tj.:

1) punkty leżące na gruncie (klasa 2 - Ground), w skład której wchodzi m.in.: pagórki, skarpy, grunt, wydmy oraz wszelkie inne obiekty stanowiące integralną część środowiska;

2) punkty reprezentujące niską roślinność (klasa 3 - Low Vegetation), tj. w zakresie 0-0,40 m;

3) punkty reprezentujące średnią roślinność (klasa 4 - Medium Vegetation), tj. w zakresie 0,40-2 m;

4) punkty reprezentujące budynki, budowle oraz obiekty inżynierskie (klasa 6 – Building), w tym m.in.: budynki, budowle, mosty, zapory, jazy oraz inne obiekty inżynierskie;

Ekstrakcję wykonano na podstawie kodu klasy projektu ISOK.

**3.** Pomiar starano się wykonać trzymając się norm określonych przez Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 listopada 2011 r. w sprawie baz danych dotyczących zobrazowań lotniczych i satelitarnych oraz ortofotomapy i numerycznego modelu terenu oraz Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego.

**3.1.** Weryfikację jakości danych pomiarowych pozyskanych metodą lotniczego skanowania laserowego zdecydowano się wykonać w zakresie (Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 listopada 2011 r.):

dokładności sytuacyjnej i wysokościowej na podstawie niezależnych płaszczyzn kontrolnych próbując stosować się do wytycznych w rozporządzeniu:

- *rozieszczonych równomiernie na obszarze bloku LiDAR i oddalonych od płaszczyzn referencyjnych; zaleca się stosowanie płaszczyzn kontrolnych zlokalizowanych w miejscach*

równych, płaskich, o utwardzonej nawierzchni, o wymiarach nie większych niż 10 x 10 m, zawierających regularną siatkę nie mniej niż 6 x 6 pomierzonych punktów,

- w ilości nie mniejszej niż 8 w przypadku weryfikacji w zakresie dokładności wysokościowej; zaleca się stosowanie płaszczyzn kontrolnych zlokalizowanych w miejscach, które pozwolą na ocenę rozbieżności sytuacyjnej kontrolowanej chmury punktów niezależnie, w kierunku lotu i w kierunku poprzecznym do kierunku lotu,

- pomierzonych metodami lub technikami stosowanymi w dziedzinie geodezji i kartografii; zaleca się pomiar metodą GPS lub połączenie metody GPS i tachimetrii elektronicznej,

- przez określenie rozbieżności sytuacyjnych i wysokościowych, rozumianych jako różnice pomiędzy położeniem i wysokościami punktów wysokościowych numerycznego modelu terenu a położeniem i wysokościami odpowiadających im punktów położonych na niezależnych płaszczyznach kontrolnych,

- w przypadku weryfikacji jakości danych pomiarowych pozyskanych metodą lotniczego skanowania laserowego w zakresie dokładności sytuacyjnej i wysokościowej w przypadku obszarów miejskich oraz obszarów o powierzchni mniejszej od 200 km<sup>2</sup> dopuszcza się zmniejszenie liczby niezależnych płaszczyzn kontrolnych do 4 — dla weryfikacji w zakresie dokładności wysokościowej,

w zakresie dokładności bezwzględnej wykonuje się usiłując spełnić poniższe wymogi:

- na podstawie pomierzonych w terenie profili kontrolnych, których długość oraz przeciętne odległości między kolejnymi punktami profilu określa się odpowiednio do danej grupy zbiorów danych pomiarowych dotyczących numerycznego modelu terenu,

- przez określenie rozbieżności rozumianych jako różnice pomiędzy wysokościami wyinterpolowanymi z danych wysokościowych NMT a wysokościami punktów profili kontrolnych.

W wyniku pomiarów pomierzono dwa profile terenu oraz cztery płaszczyzny kontrolne o siatce 6 x 6 pomierzonych punktów, z czego pomiar jednej z nich został wykonany dwukrotnie w celu porównania wyników dwóch różnych osób.

**3.2.** Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 9 listopada 2011 r. w zakresie dokładności bezwzględnej dane pomiarowe muszą spełniać kryterium błędu średniego (RMSE), zatem koniecznym było obliczenie tegoż błędu, określonego jako  $mNMT < M$ , który dotyczy porównania wysokości wyinterpolowanych z danych wysokościowych numerycznego modelu terenu z odpowiadającymi im wysokościami punktów profili kontrolnych według następujących reguł:

1) co najmniej 68,3% odchyłek nie może przekraczać wartości  $M$ ;

2) co najmniej 95,5% odchyłek nie może przekraczać wartości  $2 \times M$ , przy jednoczesnym spełnieniu warunku, o którym mowa w pkt 1;

3) co najmniej 99,7% odchyłek nie może przekraczać wartości  $3 \times M$ , przy jednoczesnym spełnieniu warunku, o którym mowa w pkt 2;

4) co najwyżej 0,3% odchyłek może znaleźć się w przedziale 3 do  $4 \times M$ , przy jednoczesnym spełnieniu warunku, o którym mowa w pkt 3.

Pomimo wytycznych polskiego prawa co do określenia parametru charakteryzującego zestaw danych - RMSE, należy podejść do tematu ze zdrowym rozsądkiem. Dlatego też należało rozpatrzyć czy dane mają rzeczywiście rozkład normalny oraz oprócz wymaganego błędu średniokwadratowego oraz funkcji gęstości zakładającej rozkład normalny wyznaczono także inne parametry – funkcję gęstości rozkładu La Place’a, a także funkcję gęstości bazującą na rozkładzie Gaussa.

4. W programie SAGA wykonano kontrolę wewnętrzną NMT oraz NMPT obliczając różnice między wyekstraktowanymi punktami klas chmury LiDAR, a NMT i NMPT. W programie tym określono również dokładność zewnętrzną, która polegała na wyznaczeniu odchyłek danych wysokościowych pomiędzy punktami otrzymanymi z pomiaru terenowego, a punktami numerycznego modelu terenu.

5. Kolejnym etapem było wyinterpolowanie wszystkich czterech niezależnych płaszczyzn kontrolnych za pomocą oprogramowania QGIS Desktop 3.8, gdzie następnie odjęto te powierzchnie od NMT, aby móc ocenić różnice między wynikami. Jedna z nich (pomierzona dwukrotnie przez różne osoby) dała dwie odrębne powierzchnie (reprezentujące ten sam obszar), które odjęto od siebie także w programie QGIS.

6. W ramach sprawdzenia rozkładu obliczono trzema metodami funkcję gęstości prawdopodobieństwa ( $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ). Dla  $f_1$  założono rozkład normalny i oszacowano odchylenie standardowe odchyłek  $\sigma$  oraz średnią odchyłkę  $\mu$ , dla  $f_2$  wykorzystano funkcję gęstości rozkładu Laplace’a, a  $f_3$  bazuje na rozkładzie Gaussa przy czym zamiast wartości średniej błędu przyjęto medianę, a zamiast odchylenia standardowego, znormalizowane odchylenie bezwzględne mediany (NMAD).

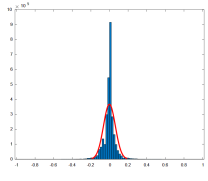
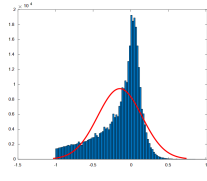
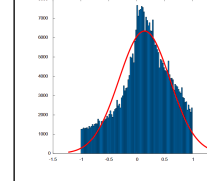
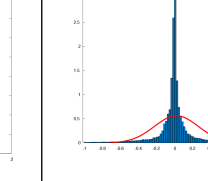
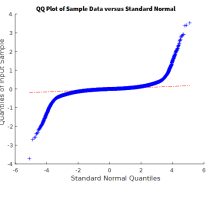
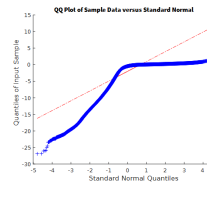
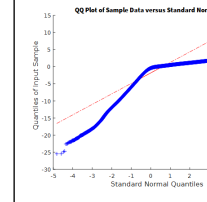
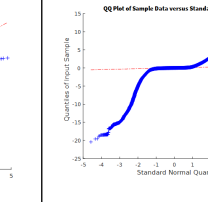
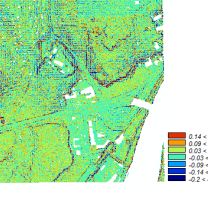
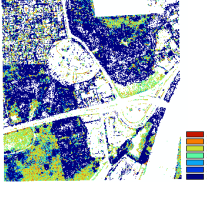
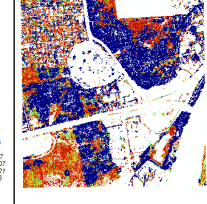
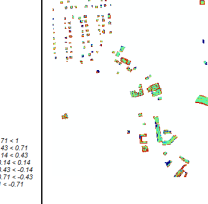
7. W ramach poszerzonej analizy, te same obszary zostały pomierzone dwukrotnie przez różne osoby. Kolejno porównano je ze sobą w celu ustalenia wpływu osoby pomiarowej na otrzymane wyniki.

8. Porównanie pomiarów budynków z NMPT wykonano przy pomocy programu CloudCompare. W ramach analizy narysowano krawędzie pomierzonych budynków poprowadzone przez punkty pomiarowe. Narysowano również polilinie przedstawiające krawędzie budynków według punktów NMPT, przy czym starano się wybierać punkty jak najlepiej przedstawiające obrys budynku (rozdzielczość NMPT równa 0,5m sprawiła, że krawędzie te są obarczone dużym błędem). Następnie pomierzono kilka odległości pomiędzy punktem z pomiaru i punktem z NMPT w najlepiej odwzorowanych narożnikach budynków.

## Wyniki

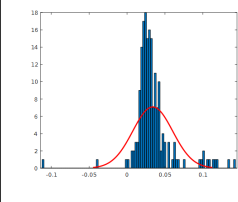
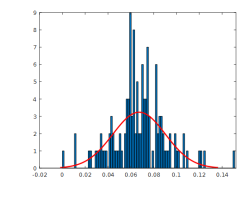
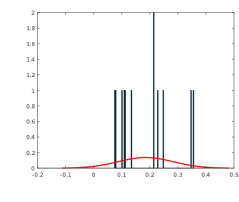
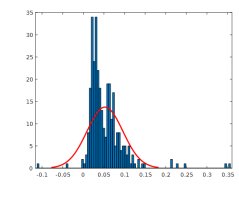
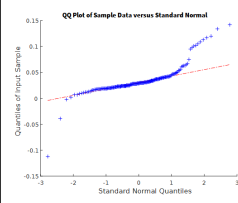
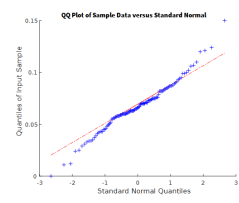
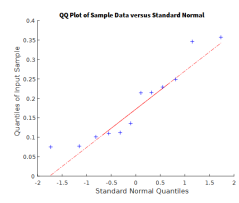
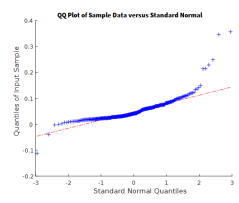
Tab. 1: Porównanie poszczególnych klas danych ALS (gruntu) z NMT oraz budynków, niskiej i średniej roślinności z NMPT (kontrola wewnętrzna).

	Teren	Niska roślinność	Średnia roślinność	Budynki
N	2 938 811	584 664	682 232	207 060
Min v	-3.7100	-26.9170	-25.4670	-20.4200
Max v	3.5300	1.3580	2.5670	14.6150
Średnia	-0.0011	-2.5888	-2.1807	-0.0881
Odchyl. standard.	0.0664	3.9881	3.6292	1.8425

RMSE	0.0664	3.9881	3.6292	1.8425
Mediana	0	-0.4530	-0.3950	0.0030
NMAD	0.0445	0.8139	1.5834	0.1067
B	0.0407	2.5523	2.5270	0.6781
$2^{0.5} b$	0.0575	3.6094	3.5737	0.9590
$1.96 \sigma$	0.1301	7.8167	7.1132	3.6112
$F_1^{-1}(0.975)$	0.1289	5.2277	4.9324	3.5230
$F_2^{-1}(0.975)$	0.0872	1.1423	2.7084	0.2122
$F_3^{-1}(0.975)$	0.1218	7.1929	7.1752	2.0344
P (0.95)	0.1300	11.4230	9.9600	3.5090
Percentyl (0.975)	0.1300	0.2020	1.1330	2.9370
Histogram				
QQplot				
Mapa różnicowa				

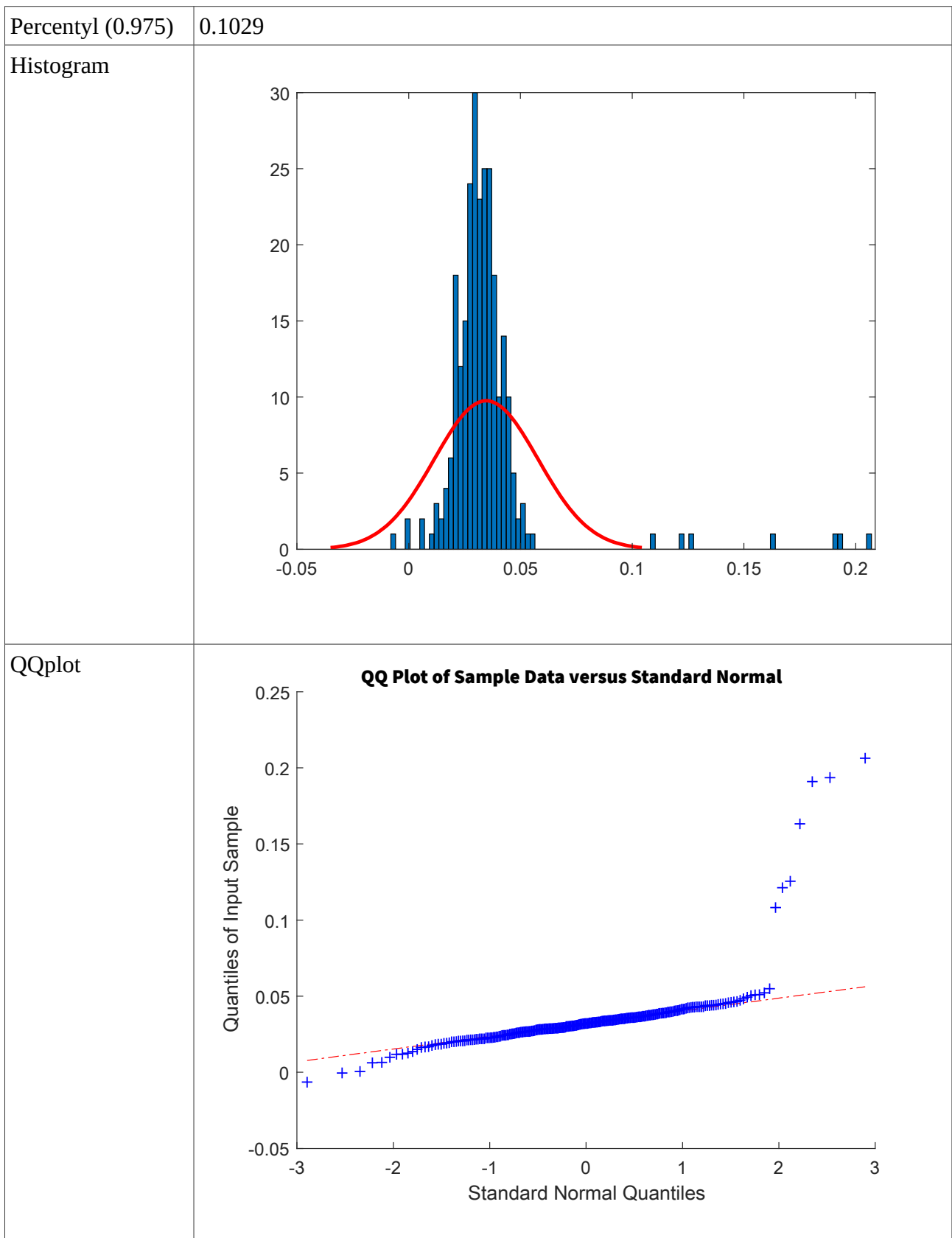
Tab. 2: Porównanie wszystkich punktów gruntu pomierzonych na powierzchni utwardzonej, niskiej oraz średniej roślinności z NMT

	Pow. Utwardzona	Niska roślinność	Średnia roślinność	Wszystko razem
N	183	124	12	319
Min v	-0.1120	0.0000	0.0750	-0.1120
Max v	0.1420	0.1500	0.3570	0.3570
Średnia	0.0339	0.0673	0.1851	0.0525
Odchyl. stand.	0.0263	0.0231	0.0988	0.0434
RMSE	0.0262	0.0230	0.0946	0.0434
Mediana	0.0290	0.0660	0.1750	0.0410
NMAD	0.0119	0.0148	0.1030	0.0282

B	0.0148	0.0169	0.0833	0.0276
$2^{0.5} b$	0.0209	0.0239	0.1177	0.0390
$1.96 \sigma$	0.0515	0.0452	0.1937	0.0851
$F_1^{-1}(0.975)$	0.0853	0.1125	0.3788	0.1377
$F_2^{-1}(0.975)$	0.0522	0.0951	0.3770	0.0962
$F_3^{-1}(0.975)$	0.0732	0.1167	0.4244	0.1236
P (0.95)	0.1013	0.1063	0.3559	0.1126
Percentyl (0.975)	0.1127	0.1204	0.3570	0.1391
Histogram				
QQplot				

Tab. 3: Porównanie wszystkich wyinterpolowanych powierzchni utwardzonych z pomiarów i NMT

	Wszystkie powierzchnie utwardzone (razem)
N	264
Min v	-0.0065
Max v	0.2063
Średnia	0.0346
Odchyl. standard.	0.0232
RMSE	0.0232
Mediana	0.0320
NMAD	0.0084
B	0.0103
$2^{0.5} b$	0.0145
$1.96 \sigma$	0.0455
$F_1^{-1}(0.975)$	0.0801
$F_2^{-1}(0.975)$	0.0484
$F_3^{-1}(0.975)$	0.0628
P (0.95)	0.0628

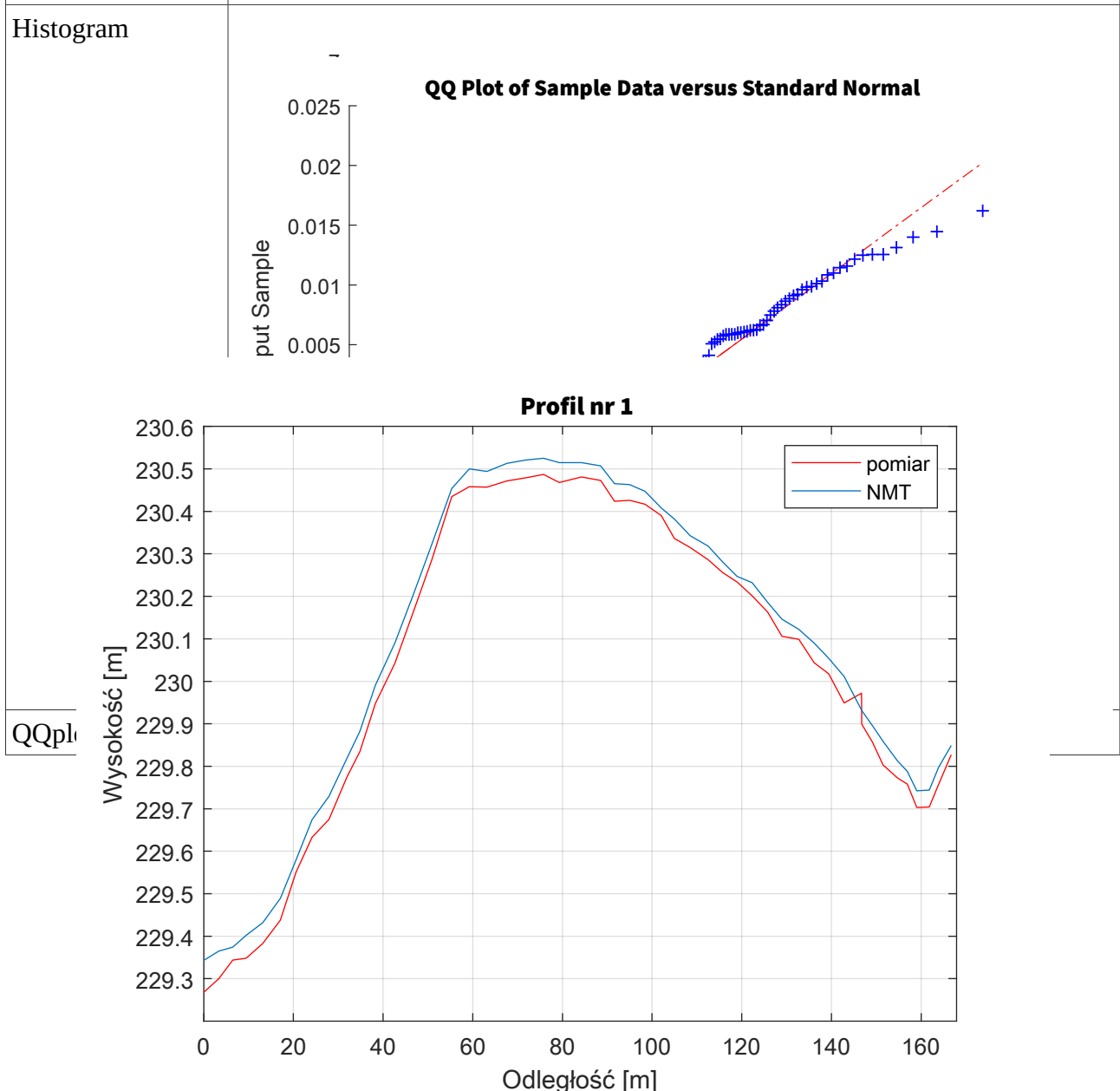


Tab. 4: Porównanie wyinterpolowanych płaszczyzn z dwukrotnego pomiaru (wykonanego przez różne osoby) tej samej powierzchni utwardzonej

	Pomiar powierzchni utwardzonej
N	103

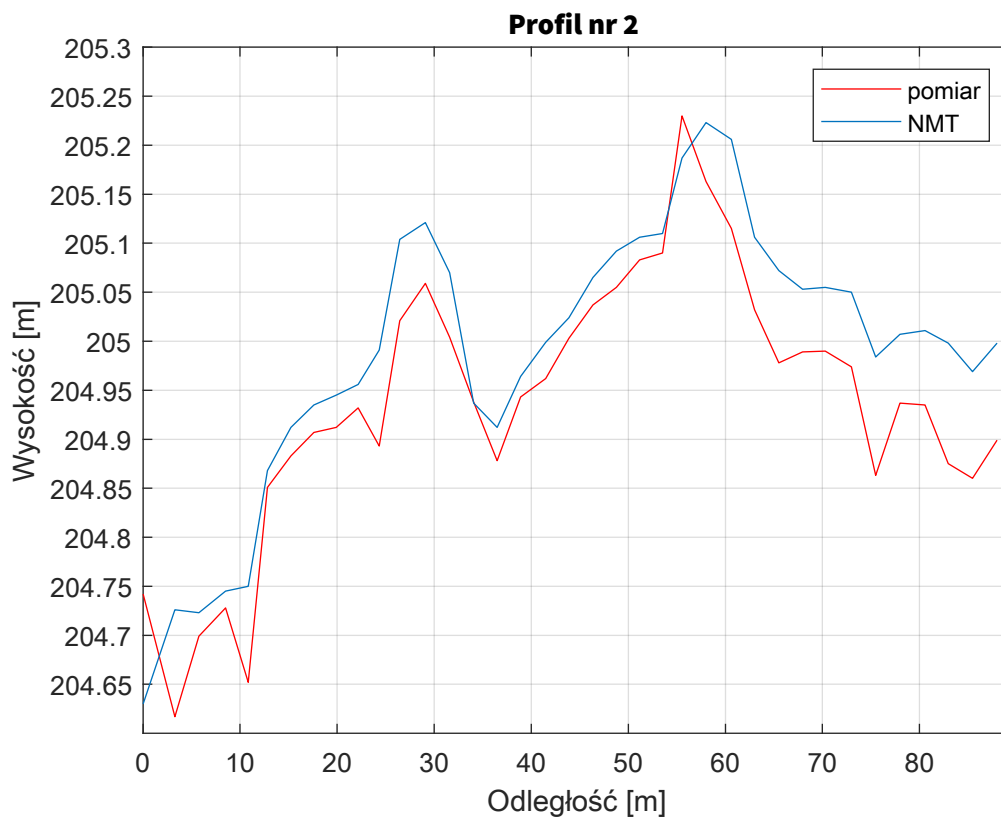


Min v	-0.0154
Max v	0.0162
Średnia	0.0024
Odchyl. standard.	0.0068
RMSE	0.0068
Mediana	0.0026
NMAD	0.0073
B	0.0055
2 <sup>0.5</sup> b	0.0078
1.96 σ	0.0134
F <sub>1</sub> <sup>-1</sup> (0.975)	0.0158
F <sub>2</sub> <sup>-1</sup> (0.975)	0.0168
F <sub>3</sub> <sup>-1</sup> (0.975)	0.0191
P (0.95)	0.0134
Percentyl (0.975)	0.0139



Rys. 1: Profil nr 1 - powierzchnia utwardzona

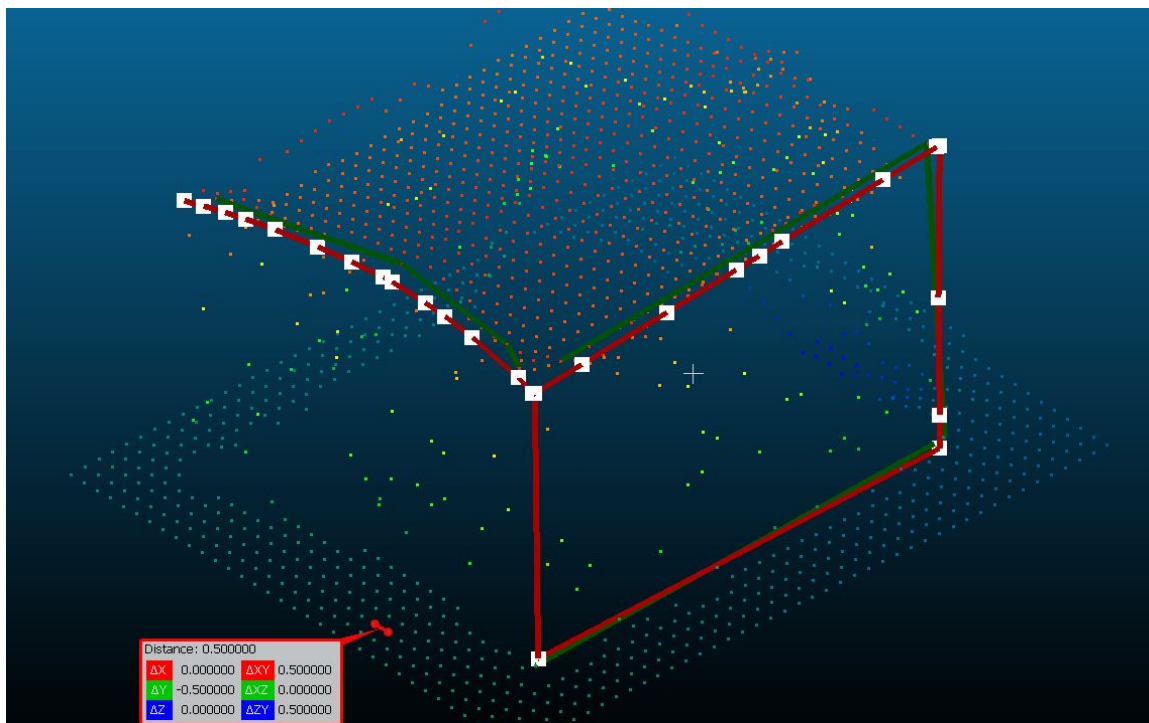
W przypadku powierzchni utwardzonej rozbieżności pomiędzy wartościami uzyskanymi z pomiaru a NMT wynoszą mniej niż 5 cm.



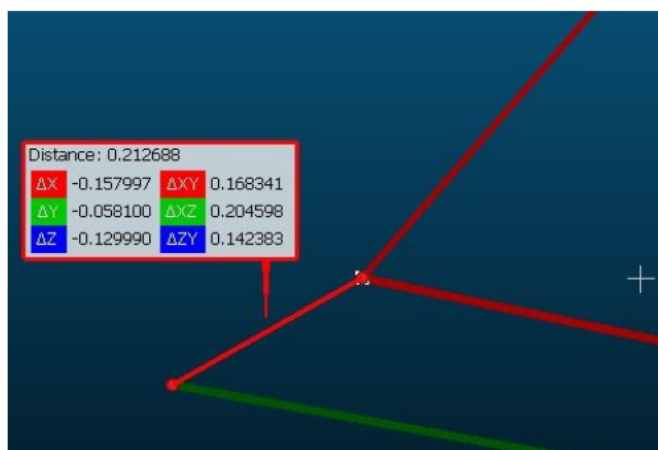
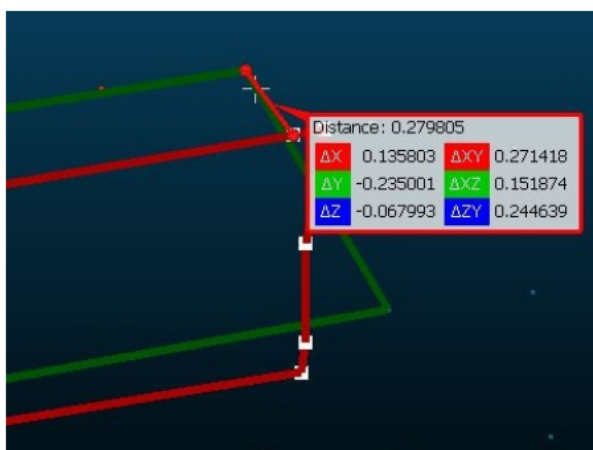
Rys. 2: Profil nr 2 - roślinność niska

W przypadku niskiej roślinności wartości otrzymane z NMT są zwykle wyższe od wyników pomiaru a różnice wahają się w granicach 5-10cm.

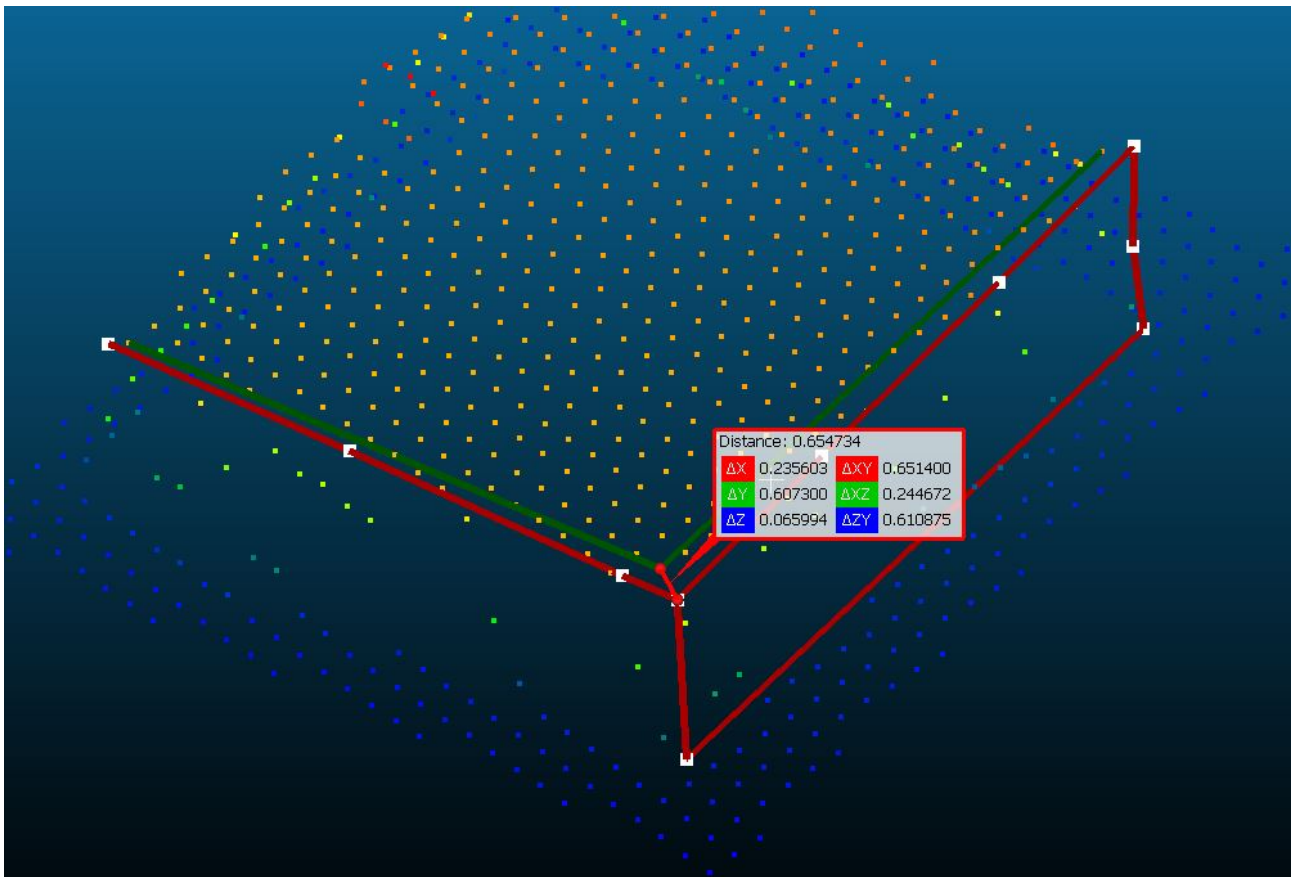
Porównanie współrzędnych XYZ punktów na budynkach pozyskanych poprzez pomiar terenowy z punktami z otrzymanego NMPT.



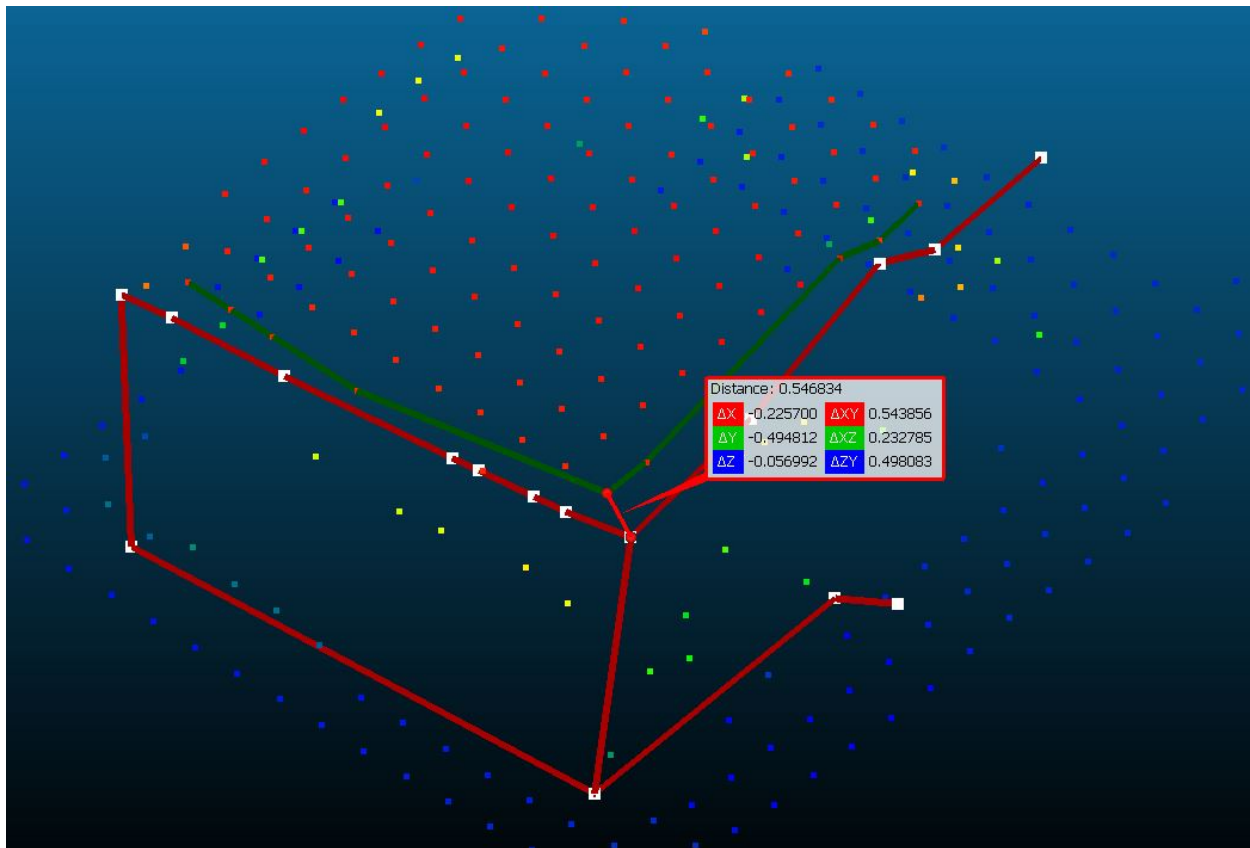
Rys. 3: Krawędzie budynku na podstawie NMPT (zielony) wraz z krawędziami budynku z pomiaru terenowego (czerwony).



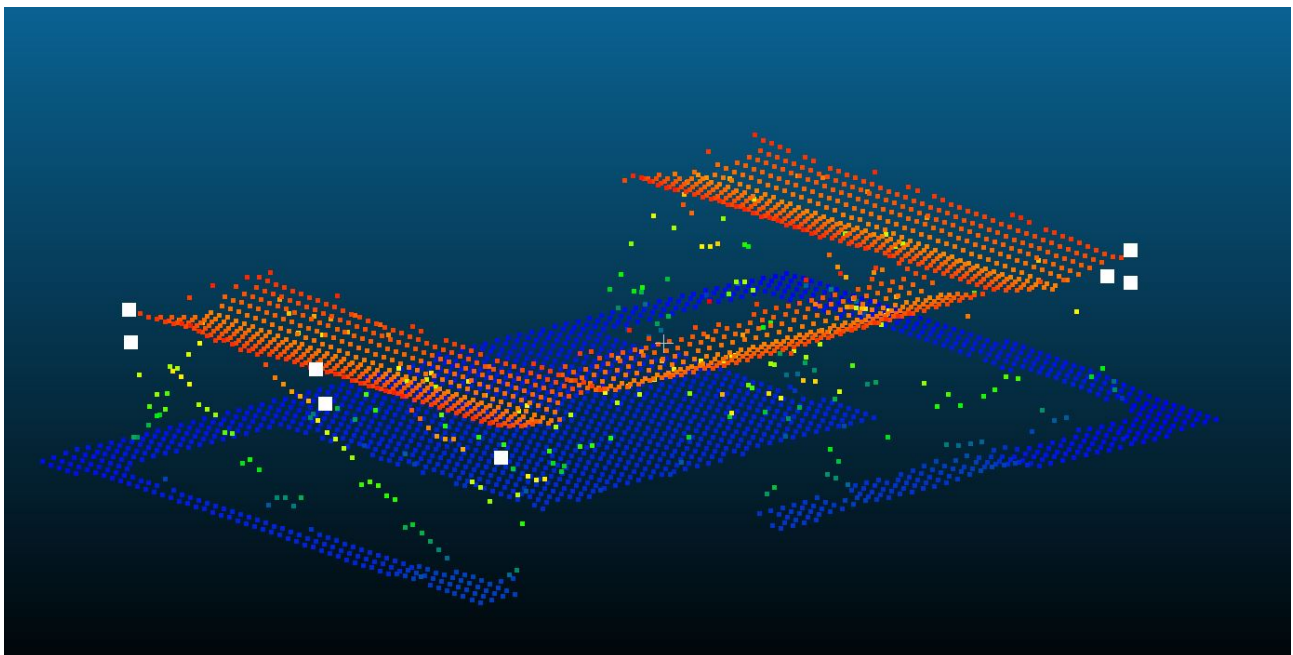
Rys. 4: Różnice pomiędzy pomiarem terenowym i NMPT (27,9cm oraz 21,3cm) w dwóch wybranych narożnikach pierwszego budynku – kaplicy na cmentarzu.



Rys. 5: Krawędzie budynku nr 2 na podstawie utworzone na podstawie NMPT (zielony) oraz pomiaru terenowego (czerwony) wraz z pomiarem odległości pomiędzy narożnikiem z pomiaru terenowego i narożnikiem z chmury (65,5cm).

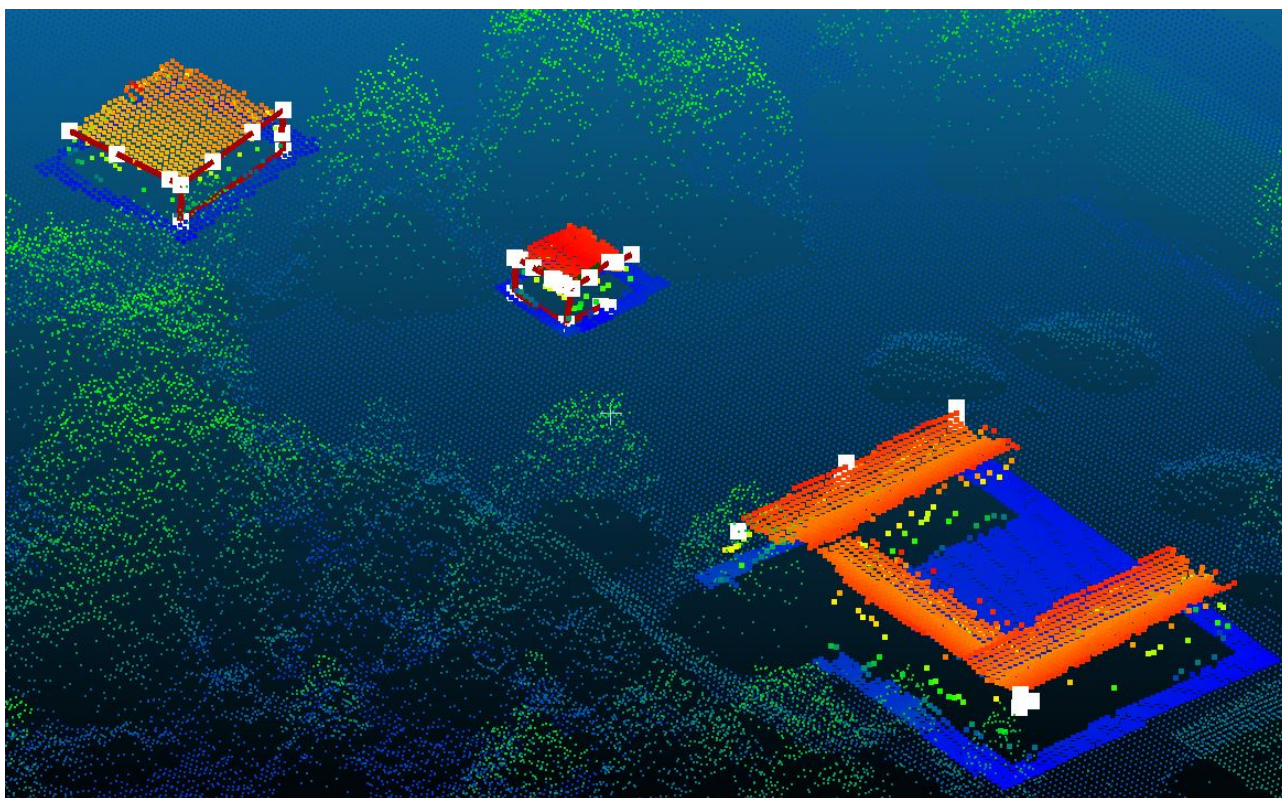


Rys. 6: Krawędzie budynku nr 3 – pomieszczenia gospodarczego przy stacji paliw, utworzone na podstawie punktów z pomiaru terenowego oraz punktów NMPT wraz z pomiarem odległości w narożniku budynku (54,7cm).



Rys. 7: Punkty z pomiaru terenowego (białe) na tle budynku nr 3 - stacji paliw z punktów NMPT. Duże przesłonięcia terenu i przeszkody takie jak podpory dachu stacji i samochody, uniemożliwiły pomiar odpowiedniej ilości punktów do odzwierciedlenia kształtu budowli. Pięć punktów z lewej strony odzwierciedla krawędzi dachu stacji, różnica położenia między punktem z pomiaru i z NMPT na górnym lewym narożniku dachu wynosi 42,5cm





Rys. 8: Rozmieszczenie budynków nr 2, 3, 4 w pobliżu stacji paliw, wraz z innymi elementami NMPT.

## Wnioski

Kontrola wewnętrzna (Tab. 1) pokazała, że uzyskane dane nie mają charakteru rozkładu normalnego, co dobrze pokazuje analiza wykresów QQplot oraz histogramów. Jedynie porównanie NMT z chmurą punktów (punkty ground) wykazało zbliżony charakter do rozkładu normalnego. Z tego wynika fakt, że liczenie RMSE jak przewiduje rozporządzenie nie zawsze jest dobrym rozwiązaniem dla każdego przypadku.

Mapy różnicowe kontroli wewnętrznej (Tab. 1) pokazują, że w przypadku gruntu największe różnice występują w miejscach o największym nachyleniu. W przypadku budynków największe różnice występują na skrajach budynków.

Kontrola zewnętrzna (Tab. 2) roślinności średniej, zgodnie z przewidywaniami wykazała mniejszą dokładność niż roślinność niska.

Ze względu na małą liczbę punktów pomiarowych dotyczących gruntu pod roślinnością średnią w stosunku do pow. utwardzonych i roślinności niskiej, wyniki ogólnej dokładności NMT należy traktować z dużą ostrożnością – ogólna dokładność z pewnością jest gorsza niż wskazuje to ostatnia kolumna tabeli (Tab. 2).

Różnice pomiędzy powierzchniami wyinterpolowanymi z pomiarów pow. utwardzonych a NMT (Tab. 3) są stosunkowo niewielkie (średnio 3,5cm).

Na podstawie porównania wyników uzyskanych przez dwóch różnych pomiarowych (Tab. 4) można stwierdzić, że wpływ osoby obsługującej instrument na końcowy wynik kontroli jest niewielki (średnia różnica wyinterpolowanych płaszczyzn oscyluje wokół zera i jest mniejsza od

odchylenia standardowego zatem zaistniałe różnice wynikają w zasadzie z błędów przypadkowych, a nie systematycznych).

Profile terenowe pokazują, że maksymalne różnice między NMT a powierzchniami utwardzonymi (Rys. 1) dochodzą do 5cm, zaś w przypadku terenów pokrytych roślinnością (Rys. 2) wynoszą prawie 2 razy więcej.

Pomiary terenowe różnią się od tych z NMPT o wartości od 20cm (Rys. 4) do około 50-60cm (Rys. 5, Rys. 6), jednak ogólnie pokrywają się z budynkami na NMPT (Rys. 3) zwłaszcza w zakresie wysokości (dokładność sytuacyjna jest na ogół 2-3x gorsza). Punkty z pomiaru są dobrym uzupełnieniem NMPT, którego rozdzielczość jest dosyć niska.