

Porównanie numerycznych modeli terenu pozyskanych różnymi metodami na przykładzie kompleksu dworsko-parkowego w Kaśnej Dolnej

Oblicza NMT

Tachimetria, fotogrametria niskopułapowa czy lotnicze skanowanie laserowe – która z tych metod jest najlepsza do opracowania NMT? Odpowiedzi na to pytanie szukali studenci z Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH w Krakowie.

Gabriela Maniak
Dajana Mielczarek

Obserwacje, które pozwoliły na utworzenie numerycznych modeli terenu oraz przeprowadzenie ich analizy porównawczej, członkowie Koła Naukowego Geodetów „Dahlta” pozyskali podczas trzech wyjazdów. Z pomocą opiekunów (dr inż. Edyty Puniach oraz dr inż. Pawła Cwiakły) przeprowadzili pomiar tachimetryczny oraz dwa naloty

dronem. Dodatkowo pozyskali sklasyfikowane chmury punktów pochodzące z lotniczego skanowania laserowego wykonanego na potrzeby projektu ISOK. Wszystko to w ramach Grantu Rektora AGH 2017 pt.: „Kompleksowa, interdyscyplinarna inwentaryzacja geodezyjna obiektu dziedzictwa kulturowego na przykładzie zespołu dworsko-parkowego I.J. Paderewskiego” (szerzej został on opisany w GEODECIE 5/2017 w artykule „Dwór z ziemi i powietrza”). Pozyskane dane zostały wykorzystane później m.in. do przygotowania pracy dyplomo-

wej oraz prezentacji na konferencji, które stały się podstawą tego artykułu.

Objęty opracowaniem 16-hektarowy park w Kaśnej Dolnej, który otacza ostatni istniejący dom wielkiego artysty i polityka Ignacego Jana Paderewskiego, charakteryzuje się urozmaiconą rzeźbą oraz pokryciem terenu. Obejmuje m.in. miejsca gęsto zadrzewione i zakrzewione, rowy, skarpy oraz staw z wyspą.

• Jak powstały NMT?

Pierwszy z numerycznych modeli terenu opracowano na podstawie pomiarów tachimetrycznych, które przeprowadzono w marcu i wrześniu 2017 r. Przyjęto oczko siatki o wielkości około 5 m x 5 m, co skutkowało pomiarem ponad 4 tys. punktów z 15 stanowisk. Współrzędne wszystkich pikiet obliczono w programie C-Geo, a następnie zaimportowano je do aplikacji ArcMap. Tam na ich podstawie utworzono model TIN, który przyjęto za referencyjny z uwagi na wysoką dokładność danych. Dodatkowo wykonano niezależny pomiar tachimetryczny, którego celem było wyznaczenie współrzędnych 50 punktów referencyjnych rozmieszczonych w przybliżeniu równomiernie na całym obszarze (rys. 1).

Kolejne dwa NMT stworzono ze zdjęć pozyskanych w trakcie dwóch nalotów fotogrametrycznych z wykorzystaniem bezzałogowego statku latającego (BSL). Pierwszy nalot przeprowadzono w marcu 2017 r., w okresie bezlistnym, a drugi 4 miesiące później (w lipcu)



Członkinie KNG Dahlta podczas prac pomiarowych
U góry strony: zdjęcie wykonane z pokładu drona

w czasie intensywnego rozwoju roślinności. Oba naloty zrealizowano przy użyciu tego samego sprzętu pomiarowego (dron DJI Spreading Wings S900, aparat Sony Alpha ILCE-6000) oraz według tych samych parametrów (wysokość lotu – 100 m, pokrycie podłużne – 80%, pokrycie poprzeczne – 60%). Różnice obejmowały tylko liczbę i rozmieszczenie fotopunktów oraz liczbę wykonanych zdjęć. Dane opracowano w programie Agisoft Photoscan Professional.

Ostatni numeryczny model terenu stworzono na podstawie danych kupionych w CODGiK. Pozyskano m.in. sklasyfikowaną chmurę punktów w formacie LS w standardzie I (gęstość 4 pkt/m kw.) pochodzącą z lotniczego skanowania laserowego (projekt ISOK). Do opracowania danych LiDAR wykorzystano oprogramowanie ArcGIS z nakładką LP360 (licencję udostępniła firma Progea 4D).

• Co mówi analiza dokładności?

Najbardziej wiarygodną metodą oceny dokładności NMT jest analiza *a posteriori* (po wykonaniu pomiarów). Przeprowadzono ją z wykorzystaniem punktów referencyjnych pochodzących z bezpośredniego pomiaru tachimetrycznego. Porównano wysokości tych punktów z wysokościami odczytanymi z odpowiednich NMT. Na tej podstawie obliczono wartości błędu średniego kwadratowego RMSE określającego dokładność

odzwierciedlenia powierzchni topograficznej. RMSE wyznaczono zarówno dla wszystkich 50 punktów równomiernie rozłożonych w terenie, jak i dla wybranych 37 (z wyłączeniem tych znajdujących się na obszarach silnie zadrzewionych). Uzyskane wyniki (tabela obok) pokazują, jak duży wpływ na dokładność modeli wykonanych na podstawie zdjęć z BSL ma roślinność znajdująca się na obszarze pomiarowym. Gdy ze zbioru punktów referencyjnych usunie się te, które leżą wśród drzew, błędy dla NMT z obu nalotów znacząco się zmieniają – dla modelu lipcowego RMSE maleje ponad trzykrotnie, a dla marcowego – prawie dwukrotnie.

• Co lepiej wygląda?

Podczas analiz przeprowadzono również wiele wizualnych porównań otrzymanych NMT. W pierwszej kolejności zestawiono wszystkie NMT w postaci rastrowej (rys. 2). Już tutaj dostrzeżono obszary problematyczne. Główne różnice między modelami można zaobserwować w południowo-wschodniej części terenu oraz centralnej z widocznym zagłębieniem. Występowało tam gęste zadrzewienie, które utrudniło pomiar tachimetryczny oraz dało niepożądane

Wartości RMSE dla NMT z danych pozyskanych różnymi metodami [m]

Metoda pozyskania danych	RMSE dla pkt referencyjnych	
	50 pkt (wszystkie)	37 pkt (na terenie odkrytym)
nalot BSL 7/2017	± 0,510	± 0,146
nalot BSL 3/2017	± 0,161	± 0,097
LiDAR	± 0,122	± 0,128
tachimetria	± 0,086	± 0,082

efekty w modelach wykonanych na podstawie danych BSL.

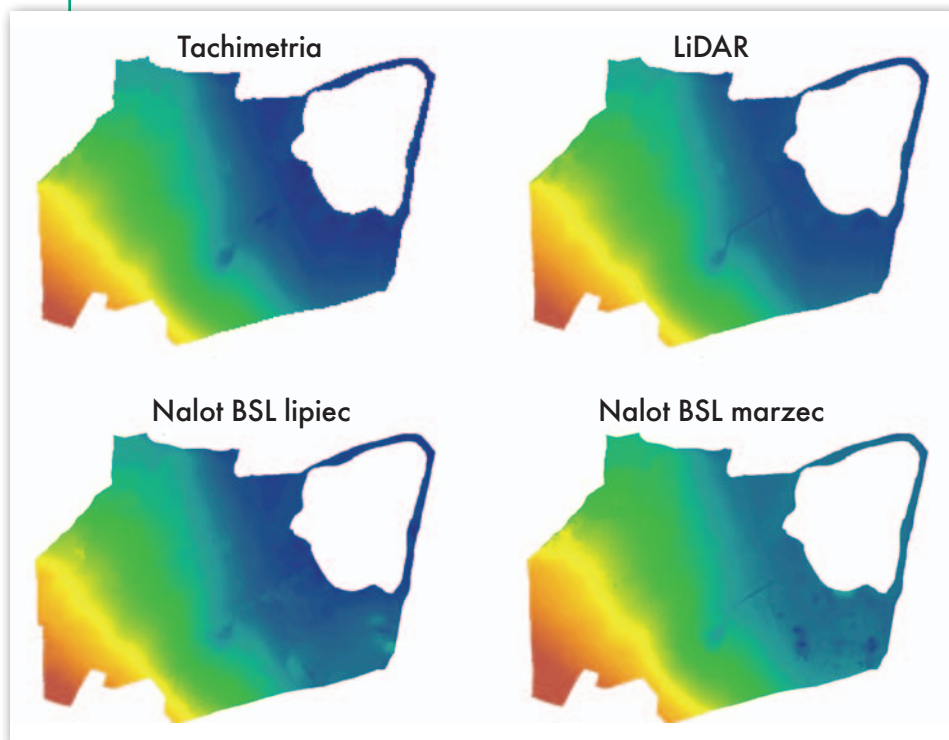
Do kolejnej analizy wizualnej posłużyło narzędzie Hillshade dostępne w oprogramowaniu ArcGIS. Jest ono wykorzystywane do cieniowania rzeźby terenu z użyciem rastra i polega na reprezentacji powierzchni 3D w odpowiedniej skali szarości z uwzględnieniem pozycji słońca. Analizując wyniki (rys. 3), należy zwrócić uwagę na wspomniany wcześniej problematyczny rejon obejmujący część centralną i południowo-wschodnią obszaru. Rzeźba terenu odwzorowała się najbardziej poprawnie na modelu z danych LiDAR. Model tachimetryczny byłby stosunkowo dokładny, gdyby nie ewidentny brak form terenowych znajdujących się w tym obszarze.

Jakość modelu z nalotu marcowego można uznać za satysfakcjonującą – w sposób poprawny odwzorowało

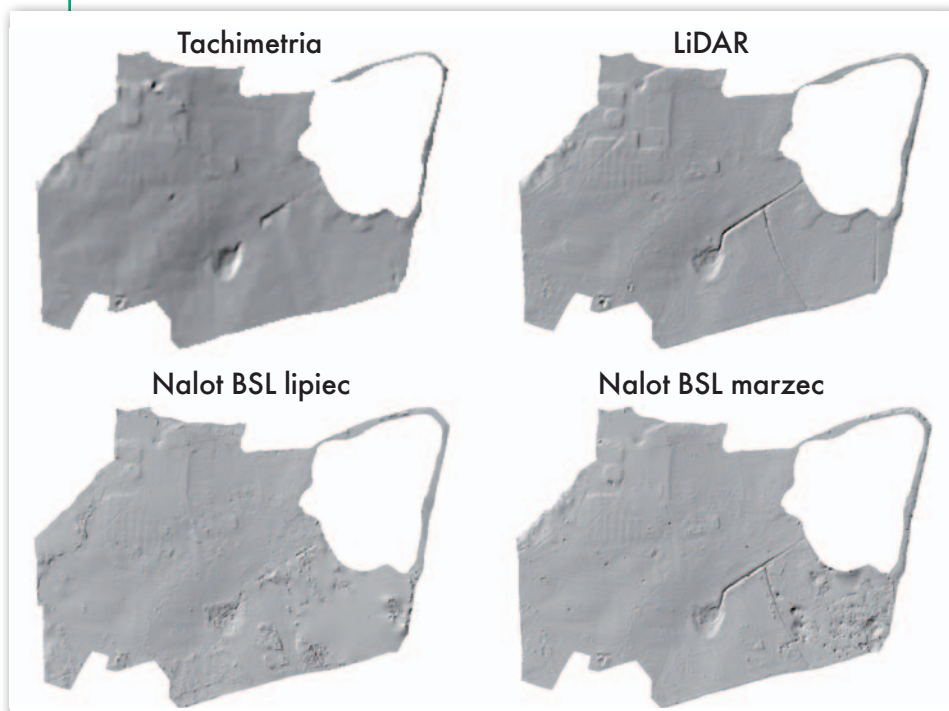
Rys. 1. Rozmieszczenie 50 punktów referencyjnych na terenie kompleksu dworsko-parkowego



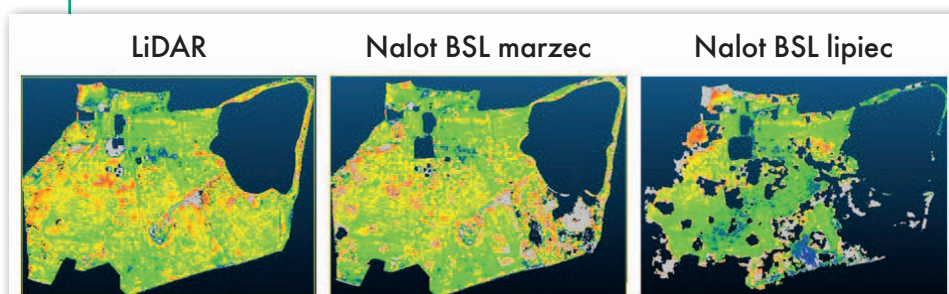
● punkty referencyjne wśród gęstego zadrzewienia
● pozostałe punkty referencyjne



Rys. 2. Zestawienie NMT pozyskanych różnymi metodami w postaci rastrów



Rys. 3. Wyniki analizy Hillshade przeprowadzonej na NMT pozyskanych różnymi metodami



Rys. 4. Wyniki porównania modelu referencyjnego z chmurami punktów: z lotniczego skanowania laserowego oraz wygenerowanymi na podstawie zdjęć pozyskanych z BSL

się zagłębienie terenu wraz z dochodzącym do niego rowem. Jednak bardziej na wschód uwidacznia się już problem algorytmów klasyfikujących zastosowanych w programie Agisoft Photoscan. Program ten najwyraźniej nie poradził sobie z selekcją punktów leżących na gruncie. Problem ten można również zaobserwować na modelu z nalotu lipcowego, który wygląda zdecydowanie najgorzej.

• Co mówią chmury?

Ostatnim aspektem analiz było porównanie chmur punktów: z lotniczego skanowania laserowego oraz wygenerowanych na podstawie zdjęć pozyskanych z BSL. Tę część badań przeprowadzono w programie Cloud Compare. Na podstawie punktów pomierzonych metodą tachimetryczną utworzono model *mesh* i przyjęto go za referencyjny. Do programu zaimportowano też kolejne chmury punktów zawierające tylko odfiltrowane punkty leżące na gruncie. Wykorzystując narzędzie Cloud/mesh distance, obliczono odległości między modelem z tachimetrii a rozpatrywaną w danej chwili chmurą.

Wyniki analizy przedstawiono na rys. 4. Miejsca, w których różnice w stosunku do modelu referencyjnego przekraczają 30 cm, nie zostały uwzględnione na ilustracjach. Przyjęto taką wartość graniczną, ponieważ około 95% obliczonych odchyłek mieści się w przedziale ± 30 cm. Można zaobserwować, że w miejscach dostępnych do bezpośredniego pomiaru dla wszystkich modeli odchyłki są mniejsze od wartości granicznej.

Obszary problematyczne przyjmują wartości spoza skali wyświetlania, ale spodziewano się takiego wyniku po wykonanych wcześniej analizach.

• Na którą metodę postawić?

Przeprowadzone analizy, zarówno obliczeniowe, jak i wizualne, pozwoliły na wysunięcie podobnych wniosków. Bez wątpienia największy wpływ na wynikowy model ma zastosowana metoda pomiarowa. Wybierając ją, zazwyczaj zwraca się uwagę na kilka aspektów: pożądaną dokładność wynikowego NMT, koszt, jaki zostanie poniesiony przy wykorzystaniu wybranej technologii pomiarowej oraz czas trwania pomiarów, z czym bezpośrednio związany jest nakład pracy.

Najdokładniejszą metodą pozyskania danych do utworzenia NMT jest tachimetria. Jednak opisany w artykule sposób pomiaru (niestosowany raczej w praktyce) jest zarazem najbardziej czasochłonny. Jeżeli więc nie zależy nam na bardzo wysokiej dokładności wynikowego NMT, a także chcemy

ograniczyć koszty i nakład pracy, warto rozważyć zastosowanie szybszych i nowocześniejszych metod pomiarowych. Zarówno przeprowadzenie nalotu niskopułapowego z wykorzystaniem BSL, jak i nalotu fotogrametrycznego w połączeniu ze skanowaniem laserowym, pochłania znacznie mniej czasu i angażuje mniejszą liczbę osób w terenie. Każda z tych dwóch technologii ma jednak swoje wady i zalety.

Zastosowanie LiDAR-u jest stosunkowo tanie, ale tylko pod warunkiem, że wykonuje się NMT dla bardzo dużych obszarów. Zamówienie nalotu fotogrametrycznego w połączeniu ze skanowaniem laserowym dla niewielkiego terenu z pewnością nie jest opłacalne i w takiej sytuacji bardziej ekonomiczne jest przeprowadzenie nalotu niskopułapowego z wykorzystaniem BSL. Innym atutem stosowania technologii LiDAR jest możliwość penetracji miejsc niedostępnych do bezpośredniego pomiaru, w tym również terenów pokrytych gęstą roślinnością. Dodatkowo gwarantuje ona wysoką dokładność wysokościową danych pomiarowych, które są stosunkowo proste do opracowania (pod warunkiem posiadania specjalistycznego oprogramowania).

Opracowanie zdjęć z drona nie powinno sprawić trudności w przypadku terenów odsłoniętych. Problemy mogą natomiast pojawić się dla terenów porośniętych gęstą roślinnością. W niniejszym opracowaniu napotkano trudności na etapie klasyfikacji i filtracji punktów leżących na gruncie, szczególnie w trakcie tworzenia NMT ze zdjęć z nalotu przeprowadzonego w lipcu. Kolejny wniosek nasuwa się zatem sam – znaczący wpływ na analizowane modele ma czas pozyskania danych, zwłaszcza jeżeli dotyczy to terenów pokrytych roślinnością. Dla tych miejsc algorytmy filtrujące i klasyfikujące popełniają najwięcej błędów, a punkty przydzielone do klasy gruntu w rzeczywistości są często niską roślinnością. Jest to problem, nad którym powinni pochylić się specjaliści, ponieważ jego rozwiązanie umożliwiłoby pozyskiwanie stosunkowo dokładnych danych w krótkim czasie.

Gabriela Maniak, Dajana Mielczarek

Artykuł powstał na podstawie wspólnej pracy inżynierskiej obu autorek pt. „Porównanie numerycznych modeli terenu pozyskanych różnymi metodami na przykładzie kompleksu dworsko-parkowego I.J.Paderewskiego w Kąsnej Dolnej” oraz referatu wygłoszonego przez autorki podczas 59. Konferencji Studenckich Kół Naukowych Pionu Górniczego AGH – Sekcja Geodezji (Kraków, 6 grudnia 2018 r.)

Które prace dyplomowe 2017/2018 najlepsze?

Magisterka nt. wykorzystania technologii satelitarnych w badaniach seismologicznych, a także inżynierka dotycząca wykorzystania danych fotogrametrycznych pozyskanych z drona zwyciężyły w konkursie na najlepsze prace dyplomowe obronione na kierunku geodezja i kartografia w roku 2017/2018. Celem konkursu jest wyróżnienie najlepszych prac dyplomowych wykonywanych w ramach studiów stacjonarnych oraz niestacjonarnych na kierunku geodezja i kartografia, charakteryzujących się najwyższym poziomem naukowym, potencjałem praktycznym oraz oryginalnością rozwiązania. Prace oceniała

21-osobowa Komisja Konkursowa z przewodniczącym prof. Zdzisławem Kurczyńskim. Konkurs organizowany jest przez SGP oraz GUGiK.

Do tegorocznej edycji konkursu zgłoszono łącznie 57 prac, z których warunki formalne spełniły 53, w tym 30 magisterskich oraz 23 inżynierskie (w ubiegłym roku oceniono odpowiednio 29 i 15 prac). Poniższe zestawienie pokazuje, że zakres tematyczny zwycięskich prac jest jak zwykle szeroki, dominują jednak technologie satelitarne, skanowanie laserowe i drony.

Źródło: SGP

Najlepsze prace magisterskie

- **I Paulina Woźniak** „Analiza możliwości wykorzystania obserwacji GNSS z sieci ASG-EUPOS w badaniach seismologicznych”, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, opiekun: dr inż. Dominik Próchniewicz
- **II Dorota Marjańska** „Stworzenie i analiza dokładności modelu quasi-geoidy dla układu EVRF2007 na obszarze Polski”, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej; opiekun: dr inż. Tomasz Olszak
- **III Sylwia Marczak** „Identyfikacja obszarów osuwiskowych w zbiorze danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem klasyfikacji obiektowej”, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, opiekun: prof. dr hab. inż. Andrzej Borkowski

Wyróżnienia: ● **Tomasz Adam** „Metoda klasyfikacji wybranych obszarów z wykorzystaniem danych satelitarnych”, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, opiekun: dr inż. Izabela Piech

- **Aleksandra Nowicka** „Walidacja orbit satelitów systemu SWARM z wykorzystaniem laserowych pomiarów odległości SLR”, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, opiekun: dr hab. inż. Krzysztof Sośnica

Najlepsze prace inżynierskie

- **I Krzysztof Urbański** „Wykorzystanie danych fotogrametrycznych z pokładu UAV w inwentaryzacji obiektu zabytkowego”, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, opiekun: dr inż. Krzysztof Bakula
- **II Paweł Trybała** „Zastosowanie wybranych metod estymacji odpornej do wyrównywania sieci geodezyjnych”, Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, opiekun: dr inż. Zbigniew Muszyński
- **III Karolina Borkowska, Ewelina Szymańska** „Modelowanie i wizualizacja 3D budynków Politechniki Warszawskiej z wykorzystaniem wieloźródłowych danych fotogrametrycznych”, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, opiekun: dr inż. Krzysztof Bakula

Wyróżnienia: ● **Mateusz Melaniuk** „Charakterystyka przestrzennego rozmieszczenia punktów szczegółowej osnowy geodezyjnej”, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej, opiekun: prof. dr hab. inż. Elżbieta Bielecka

- **Paulina Syrokosz, Klaudia Kapeluszn** „Wykorzystanie lotniczego skanowania laserowego oraz dopasowania zdjęć lotniczych i scen satelitarnych w modelowaniu 3D wybranego obszaru Warszawy”, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, opiekun: dr inż. Krzysztof Bakula