

dr hab. Leszek Gawrysiak, prof. UMCS
Katedra Geologii, Gleboznawstwa i Geoinformacji
Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku
Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Recenzja rozprawy doktorskiej

ptka mgr inż. Marcina Żebrowskiego

Bilans różnicowy cyfrowych modeli wysokościowych pozyskiwanych z niskiego pułapu

przygotowanej na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych

Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu

promotor: prof. dr hab. Zbigniew Zwoliński

I. Uwagi ogólne i formalne

Przedstawiona recenzja dotyczy manuskryptu rozprawy doktorskiej Pana ptka mgr inż. Marcina Żebrowskiego w formie oprawionego, jednostronnego wydruku komputerowego, liczącego 250 stron. Na manuskrypt składa się 169 stron tekstu, w tym strona tytułowa, podziękowania, oświadczenie Autora, oświadczenie Promotora, streszczenie w języku polskim, streszczenie w języku angielskim, właściwa część pracy oraz załączniki. Część opisowa pracy podzielona jest 9 rozdziałów: Wprowadzenie (I), Założenia metodologiczno-metodyczne (II), Cel i zakres pracy (III), Charakterystyka obszaru badań (IV), Metodyka pracy (V), Wyniki (VI), Ocena stanu technicznego badanej drogi startowej (VII), Analiza wyników (VIII) i Uwagi końcowe (IX). Po nich znajduje się Literatura (X), Spis rycin (XI), Spis tabel (XII), Spis załączników (XIII) i Załączniki (XIV).

Tytuł pracy jest sformułowany niezbyt precyzyjnie w kilku kwestiach. Po pierwsze - z użyciem trybu niedokonanego (pozyskiwanych), podczas gdy praca opiera się na danych wysokościowych pozyskanych. Kwestia druga – „Bilans” sugeruje, że praca dotyczy tylko tego zagadnienia, a jest znacznie szersza. Kwestia trzecia to pewien skrót myślowy – w trakcie skaningu pozyskuje się wysokościowe dane pomiarowe a cyfrowe modele wysokościowe są ich pochodną. I kwestia czwarta to użycie określenia „niski pułap” w odniesieniu do naziemnych pomiarów GNSS RTK, skaningu mobilnego z samochodu i pomiarów dronem.

Poszczególne rozdziały mają różną strukturę, najbardziej rozbudowany jest rozdział II, który składa się z 6 podrozdziałów, z których część zawiera kolejne podrozdziały. W sumie ta część pracy liczy 19 stron. Drugim rozbudowanym rozdziałem są Metody pracy (V), liczący 4 podrozdziały i 16 stron. Najobszerniejszym rozdziałem (41 stron) jest Analiza wyników (VIII), który ma również rozbudowaną wewnętrzną strukturę, ale został on zorganizowany w odmienny sposób od reszty pracy (części A i B oraz ich podrozdziały). Rozdział VII (Analiza stanu technicznego badanej drogi startowej) powinien znaleźć się po rozdziale VIII (Analiza wyników), ponieważ zaprezentowano w nim wyniki analiz wykonanych zobrazowań i modeli

wysokościowych. Rozprawę zamykają Uwagi końcowe (IX). Jako, że ten rozdział zawiera również wnioski, jego tytuł lepiej brzmiał by jako „Uwagi końcowe i wnioski”.

W pracy nie ma rozdziału poświęconego przeglądowi literatury i prezentacji stanu badań i zastosowań technologii LiDAR do monitoringu obiektów liniowych, jest o tym jedynie wzmianka w tekście (np. s.18).

Część tekstowa rozprawy wzbogacona jest przez 98 rycin, w większości opracowanych przez Doktoranta.

Uwagi formalne:

Pod względem edytorskim rozprawa ma pewne mankamenty. Zdarzają się w niej potknięcia językowe (...*która umożliwia na uzyskanie...* s.18, *skanowanie pozyskane ze skanowania* s.28, *wszystko to też zdecydowanie wpływa to na* s.57, *jest to widoczne jest to na* s.58, *fabryczna kalibracja pozwala na kalibracji* s. 60, *zastosowania w zastosowaniach* s.63, *wyznaczanych punktów wyznaczono* s. 69, *które nie wpłynęły na negatywnie* s.71, *nie wpłynęły na negatywnie na* s. 78, na dwukrotne różnice w wartościach RMSE mógł mieć wpływ warunków atmosferycznych s.154).

Podpis Ryc. 27 (s. 77) znajduje się nie bezpośrednio pod nią, ale po 2 liniach tekstu. Chyba, że tekst jest objaśnieniem do tej ryciny, to wtedy powinien znaleźć się po tytule. Podobnie ryciny 34, 40 i 50. Tytuł ryciny 56 zgrabniej brzmiał by „Przedstawienie różnic wysokości wschodniej części drogi startowej”. Można by tu dodać mały schemat prezentujący, którą część pasa obejmuje prezentowane powiększenie. Podobnie rycina 62.

Inne uwagi formalne:

W większości przypadków w tekście nie ma odwołań do zamieszczonych w pracy rycin i tabel.

Brak jest przy rycinach informacji o Autorze, należy się domyślać, że jest nim Doktorant.

Na prawie wszystkich rycinach będących mapami lub geowizualizacjami (4, 5, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 44, 45, 46, 47, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 56, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69) nie umieszczono podziałki liniowej i legendy, co znacząco ułatwiło by ich czytanie i interpretację.

II. Uwagi do poszczególnych rozdziałów

Po spisie treści znajduje się *Wykaz używanych skrótów*, zawierający 57 pozycji. W tekście pracy nie występuje kilka z nich: DSM, DTCM, LAZ i MSE.

Rozdział I (Wprowadzenie)

Stanowi wprowadzenie do technologii skanowania laserowego, kreśli ich możliwości i wskazuje obszary zastosowań. Następnie Doktorant definiuje przedmiot pracy – analizę zgodności modelu wysokościowego uzyskanego techniką fotogrametryczną z dronu z modelem referencyjnym uzyskanym z MLS (Mobile Laser Scanning), dalej, wskazuje, że problem badawczy ma skupić się na ocenie dokładności cyfrowych modeli wysokościowych drogi startowej lotniska uzyskanych dwoma różnymi technologiami. Doktorant zwraca uwagę, że metoda MLS nie jest powszechnie stosowana w badaniach dróg startowych lotnisk w Polsce.

Uwagi:

Charakterystyki techniczne metody w tym rozdziale nie są potrzebne, są one podane i omówione w rozdziale V.

Rozdział II (Założenia metodologiczno-metodyczne)

W tym rozdziale Doktorant przedstawia krótki rys historyczny tworzenia modeli wysokościowych oraz omawia terminologię z nimi związaną. Następnie charakteryzuje rodzaje modeli by przejść do kwestii źródeł danych dla ich tworzenia, rozpoczynając od map topograficznych a kończąc na różnych technikach pomiarowych. Kolejnym zagadnieniem poruszonym w tym rozdziale są wady i zalety różnych cyfrowych modeli wysokościowych - triangulacyjnego (TIN), rastrowego (GRID) i hybrydowego. Zagadnienia jakości, rozdzielczości przestrzennej i dokładności omówione są w kolejnym podrozdziale. Po tej części omówione są przykłady modeli wysokościowych dla obszaru Polski, Europy i świata, kolejno charakteryzując: model będący pochodną technologii LiDAR, modele fotogrametryczne z systemu LPIS i modele w standardzie DTED, EuroDEM, SRTM i modele będące częścią systemów: BDO, TBD, SMOK i ISOK. Krótki opis zastosowań cyfrowych modeli wysokościowych kończy ten rozdział.

Uwagi:

Pixel czy komórka (cell)? W odniesieniu do cyfrowym modeli wysokościowych właściwsze wydaje się stosowanie terminu drugiego.

Ad. 1.1 Brak omówienia specyfikacji INSPIRE (2013), która porządkuje kwestie terminologiczne dotyczące modeli wysokościowych w Europie i terminologii GUGiK, która jest polską implementacją INSPIRE (Digital Elevation Model, Digital Terrain Model, Digital Surface Model, Numeryczny Model Terenu, Numeryczny Model Pokrycia Terenu).

Brak omówienia terminu DTM (s. 22-23), mimo, że jest on wymieniany (s.23) jako jeden z najczęściej używanych. Brak też wzmianki o DSM, a dominuje on w dystrybucji ogólnodostępnych danych wysokościowych.

Ad. 1.2.1 Nie wspomniano o modelu Terrain, który jest rozwinięciem modelu triangulacyjnego (TIN).

Ad. 1.2.2 Brak wzmianki o algorytmie ANUDEM, stworzonym do generowania poprawnych hydrologicznie modeli wysokościowych terenu.

W omówieniu modelu TIN należałoby zacytować pierwsze prace dotyczące tego zagadnienia:

Hormann K., 1969. *Geomorphologische Kartenanalyse mit Hilfe elektronischer Rechenanlagen*. Zeitschrift für Geomorphologie 133 (1): 75–98

Peucker T.K., Fowler J.R., Little J.J., Mark D.M., 1978. *The Triangulated Irregular Network*. Proceedings of the Digital Terrain Models (DTM) Symposium. St. Louis, Missouri, May 9-11, 1978. American Society of Photogrammetry, p. 516-540, The basic description of the original TIN project.

Peuquet D.J., 1984. *A conceptual framework and comparison of spatial data models*. Cartographica 21(4): 66–113

Lee D.T., Schacter B.J., 1980. *Two algorithms for constructing a Delauney triangulation*. International Journal of Computing and Information Science 9(3): 219–242

W tekście wspomniana jest praca Millera i Laflamme (1958) dotycząca koncepcji DTM, brak jej w spisie literatury.

Miller C.L., Laflamme R.A., 1958. *The digital terrain model – theory and application*. Photogrammetric Engineering 24 (3): 433–442.

Ad.5 Obecnie w Polsce stosuje się 2 wysokościowe układy odniesienia: 1/ Kronsztad PL-KRON86-NH (LIDaR z 2012 roku) i 2/ Geodezyjny układ wysokościowy PL-EVRF2007-NH (LIDaR z 2023 roku), których różnice na obszarze Polski osiągają nawet $\pm 20\text{mm}$.

Ad.5A Podane charakterystyki LIDAR odnoszą się do produktu z 2012 roku.

Ad.5C Źródłowe dane wysokościowe nie pochodzą z „wektoryzacji elementów rzeźby” (Doktorant) a wektoryzacji rysunku poziomicowego i punktów wysokościowych wojskowych map topograficznych (1942) w skali 50k. W niektórych obszarach, zwłaszcza nizinnych, płaskich, pomocowano się również hipsometrią z map topograficznych (1965) w skali 10k.

Ad.5E Należy pamiętać, że model wysokościowy SRTM ma stałe przewyższenie na obszarze Polski wynoszące ok. 3.7m.

6. Sprostowanie - na „tradycyjnych mapach papierowych” (Doktorant) nie przedstawiano rzeźby terenu a wysokość bezwzględną za pomocą rysunku poziomicowego. Oczywiście można z rysunku poziomicowego odczytać ukształtowanie terenu, ale rzeźba *sensu stricto* to już jest jego interpretacja. Kwestia druga – produktów pochodnych z NMT jest już około 100, a w pracy wymienione są jedynie 3. I jest w nich duży potencjał do analiz morfologii powierzchni pasów startowych lotnisk.

Rozdział III (Cel i zakres pracy)

Cel rozprawy Doktorant definiuje jako „przeprowadzenie analizy porównawczej cyfrowych modeli wysokościowych drogi startowej lotniska wygenerowanej z chmur punktów otrzymanych podczas mobilnego skanowania laserowego oraz z nalotu dronem na niskim pułapie”. Dalej pisze już o analizie uzyskanych wyników, co raczej powinno znaleźć się w innym rozdziale. Zapewne intencją Doktoranta było rozwinięcie cele głównego i postawienie pytań cząstkowych o zbadanie możliwości „wiarygodnej, szybkiej i ekonomicznej analizy stanu technicznego drogi startowej” w oparciu o pozyskane dane wysokościowe. Teza pracy to: „Cyfrowy model wysokościowy drogi startowej lotniska uzyskany metodami mobilnego skanowania laserowego oraz nalotu fotogrametrycznego dronem, umożliwi ocenę jej geometrii, przeprowadzenie wstępnej oceny jej stanu technicznego oraz wskazanie obszarów wymagających przeprowadzenia pogłębionej diagnostyki”.

Po omówieniu celu (celów) i tezy Doktorant przechodzi do omówienia zakresu pracy, który definiuje przestrzennie dla pasa startowego lotniska wojskowego w Powidzu, a narzędziowo z wykorzystaniem dwóch technik gromadzenia danych wysokościowych i obrazowych.

Uwagi:

Należałoby chyba użyć w zdefiniowaniu celów i tezy liczby mnogiej – „cyfrowych modeli wysokościowych wygenerowanych z” oraz „Cyfrowe modele wysokościowe.....umożliwiają...” gdyż Autor postępuje się w pracy 2 modelami wysokościowymi.

Rozdział IV (Charakterystyka obszaru badań)

Charakterystyka obejmuje położenie geograficzne, budowę geologiczną, rzeźbę terenu i rys gospodarczy obszaru badań. W 3 podrozdziale przedstawiony jest rys historyczny lotniska, w którym dosyć szczegółowo omówiono zmiany jakie zachodziły w jego przeznaczeniu i użytkowaniu oraz podane są podstawowe parametry drogi startowej.

Uwagi:

Brak informacji o autorze podziału fizjograficznego, do którego odnosi charakterystyka położenia.

Rycina 6 (mapa) powinna znaleźć się na początku rozdziału.

Na Rycinie 7 zdublowany jest jej tytuł.

Przy omówieniu budowy geologicznej właściwsze było by zacytowanie odpowiedniego arkusza Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 50k i jego objaśnień (arkusz Witkowo).

Rozdział V (Metodyka pracy)

W pierwszej części szczegółowo omówione są technologie wykorzystane w zebraniu danych wysokościowych badanego obiektu oraz czynniki, osobno dla MBL i nalotu dronem, wpływające na jakość pozyskiwanych danych. Omówiono również technologię GPS RTK użytą do pomiarów punktów charakterystycznych lotniska.

Uwagi:

Dla dokładności skanera MBL w pracy podane są 2 różne wartości: 3-5mm (s. 20) oraz „nie gorsza niż 2 cm” (Tabela 1, na s.62). Dla drona także podane są 2 różne dokładności: 10mm na s.20 oraz „do 2 cm” w Tabeli 2 na s.67).

Zastanawiająca jest także dokładność pionowa/pozioma ortofotomapy. Na stronie 66 Doktorant pisze, że w przypadku tego konkretnie drona, wyposażonego w odbiornik GPS RTK, można uzyskać wysoką dokładność lokalizacji ortofotomapy baz punktów kontrolnych (GCP). Tymczasem podana w Tabeli 2 (s.67) dokładność pozioma/pionowa z punktami kontrolnymi wynosi do 3cm/5cm, natomiast w przypadku bez punktów kontrolnych jest to aż 1-5m.

Rozdział VI (Wyniki)

Autor omawia 3 tury pomiarowe, w których zgromadzono dane obejmujące: 1/lokalizację punktów charakterystycznych, 2/zobrazowania głównej drogi startowej i 3/chmury punktów oraz prezentuje stworzone ortofotomapy i modele wysokościowe. Do dalszych analiz zestawiono 1506 punktów charakterystycznych oraz opracowano po 5 modeli, o różnej rozdzielczości (5, 10, 30, 50 i 100 cm) dla każdej z 3 tur pomiarowych, w których wykorzystano MBL i drona. Doktorant zwraca uwagę, że model o wyższej rozdzielczości byłby trudnym do analizy zbiorem, z uwagi na wielkość pliku. Do utworzenia modeli wysokościowych badanego obiektu użyto jednej z najprostszych metod interpolacyjnych najbliższego sąsiada.

W kolejnym kroku utworzono modele różnicowe zestawiając modele o różnych rozdzielczościach dla pomiarów z różnych sesji (2018 do 2019) oraz z jednej sesji (2020) by następnie omówić wnioski wynikające z ich analiz (4.1.6 i 5.1.6), wskazując na czynniki mogące być przyczyną uzyskanych różnic.

Uwagi:

Zwraca uwagę nierównomierność rozmieszczenia punktów charakterystycznych (Ryc. 16).
Czym było to podyktowane?

Brak informacji o gęstościach chmur punktów opracowanych różnymi metodami.

Ile właściwie było tur pomiarowych? W tekście podane jest, że 3. Tymczasem licząc według dat (20-22.09.2018, 23.09.2018, 19.04.2019 i 16.11.2020) wychodzi, że były 4.

Podrozdziały 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 i 2.2.4 zawierają tylko ryciny, bez omówienia zaprezentowanych na nich wyników pomiarów, obrazowania i utworzonych modeli wysokościowych i różnicowych. Podobnie podrozdziały 2.4.1, 2.4.2 i 2.4.3, 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 i 3.4.4, 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4 i 4.1.5 i 5.1.1

Brak uzasadnienia metody interpolacyjnej użytej do utworzenia modeli wysokościowych.

Do analizy modeli różnicowych wygodnym narzędziem jest GCD (Geomorphic Change Detection; Wheaton 2008, Wheaton et al. 2010), implementowane na platformie ArcGIS. Sugeruję jego wykorzystanie w dalszych pracach.

Wheaton, J.M. *Uncertainty in Morphological Sediment Budgeting of Rivers*. Ph.D. Thesis, University of Southampton, Southampton, UK, 2008.

Wheaton J.M., Brasington J., Darby S.E., Sear D.A., 2010. Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 136-156.

Rozdział VII (Ocena stanu technicznego badanej drogi startowej)

Rozdział ten poświęcony jest analizie uszkodzeń i odkształceń powstałych na pasie startym. W tym celu Autor poddał szczegółowej inspekcji opracowane ortofotomapy i modele wysokościowe. Stwierdzono występowanie szeregu uszkodzeń różnego typu oraz odkształcenia w postaci siodła, wskazując na potencjalne ich przyczyny.

Uwagi:

Przy kontynuacji prac sugeruję opracowanie modeli wysokościowych o wyższej rozdzielczości dla wytypowanych fragmentów pasa startowego. Umożliwi to dokładniejszą analizę uszkodzeń.

Rozdział VIII (Analiza wyników)

Wyniki analiz zostały omówione w części B tego rozdziału. Analizom poddane 4 z pięciu utworzonych modeli różnicowych (Rozdział VI), nie uwzględniając tego o najwyższej rozdzielczości (5cm). Obliczono różnice wysokości pomiędzy punktami charakterystycznymi oraz pozostałymi modelami, pomiędzy modelami kampanii z 2020 oraz pomiędzy latami 2018 i 2020. Do statystycznej analizy różnic wykorzystano statystyki opisowe oraz autokorelację przestrzenną LISA zaprezentowane w rozdziale VI.A. Wynik obliczeń zestawiono w Tabeli 4 (Załącznik 2). Autor odnosi wyniki uzyskane z wykorzystaniem drona do referencyjnych wyników z metod GPS RTK i MBL, interpretując wartości statystyk opisowych w każdej analizowanej z par zestawu danych wysokościowych. Omówienia wyników analiz poszczególnych zestawów pozwalają Doktorantowi stwierdzić, że metoda z użyciem drona jest wystarczająco dokładna do monitorowania stanu technicznego pasa startowego.

W dalszej części Autor analizuje statystyki LISA, co ma służyć do wykrywania klastrów, anomalii i opisowi struktury przestrzennej. Wnioski z tych analiz pozwalają mu stwierdzić istnienie spójności przestrzennej danych, porównywalnej jakości danych wysokościowych uzyskanych różnymi metodami oraz istnienie miejsc z potencjalnymi uszkodzeniami. Dalej wskazuje na praktyczne korzyści z użycia drona do pomiarów – szybkość i efektywność, minimalizacja przestojów i możliwość częstych inspekcji. Ostatecznie konkluduje, że cyfrowe modele wysokości uzyskane metodami MBL i fotogrametrycznymi umożliwiają skuteczną ocenę stanu technicznego badanej powierzchni i identyfikację obszarów wymagających pogłębionej diagnostyki.

Uwagi:

W analizach zrezygnowano z modelu o najwyższej rozdzielczości (5cm), bez podania uzasadnienia tej decyzji.

Część A tego rozdziału poświęcona jest omówieniu zagadnień teoretycznych związanych z zastosowanymi metodami i powinna znaleźć się w rozdziale Metodyka pracy (V).

Rozdział IX (Uwagi końcowe)

Doktorant konkluduje, że zarówno metoda MBL jak fotogrametryczna stanowią wartościowe narzędzia w badaniach stanu technicznego dróg startowych. Wskazuje na znaczenie praktyczne zastosowania tych metod, które przekłada się na zwiększenie efektywności operacyjnej lotniska, redukcję kosztów jego monitorowania oraz zwiększenie bezpieczeństwa na obiekcie. W rekomendacjach proponuje wdrożenie regularnych inspekcji lotniska z wykorzystaniem ww. technologii, ale wyposażonych w lepsze sensory oraz wykorzystywanie GIS do zarządzania informacjami o lotnisku. Wskazuje na korzyści jakie z tego mogą płynąć – wykrywanie i ostrzeganie o przekroczeniu wartości progowych w geometrii pasa startowego. Zaznacza, że wdrożenie tych działań będzie się wiązało ze szkoleniami personelu.

Uwagi:

Zbyt dużo uwagi poświęcone jest rekomendacjom, wnioski naukowe znalazły się na drugim planie.

Rozdział X (Literatura)

Uwagi:

W zestawieniu znajdują się 84 pozycje, z czego tylko część to literatura naukowa, a większość to różne źródła internetowe.

Zestawienie zawiera 35 artykułów naukowych, branżowych lub podręczników w języku polskim oraz 9 artykułów anglojęzycznych.

Wikipedia cytowana jest jako źródło.

Brak w spisie:

Mitka, Piech 2012

Gisplay.pl 2009

Hejmanowska i in. 2008

Miller, Laflamme 1958

Węzyk i in. 2015 - w spisie nie podano pozostałych autorów.

III. Dorobek naukowy doktoranta

Doktorant posiada w dorobku naukowym 1 artykuł naukowy (Żebrowski M., 2023. *Ocena stanu technicznego nawierzchni drogi startowej lotniska przy użyciu bezzałogowego statku powietrznego*. Journal of KONBiN, 2023, Tom 53, Nr 3) czym wypełnia wymóg zdefiniowany w ustawie *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r.*, Art. 186.1).

IV. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska „Bilans różnicowy cyfrowych modeli wysokościowych pozyskiwanych z niskiego pułapu” autorstwa płk mgr inż. Marcina Żebrowskiego, przygotowana pod opieką prof. dra hab. Zbigniewa Zwolińskiego, stanowi oryginalne opracowanie naukowe wnoszące nowe treści w zakresie badań morfometrycznych z wykorzystaniem wysokorozdzielczych danych wysokościowych. Autor wykazał się wiedzą teoretyczną w zakresie nowoczesnych technik pomiarowych, modeli wysokościowych i ich zastosowań w naukach o Ziemi oraz dowiódł umiejętności planowania i prowadzenia badań naukowych, na wszystkich etapach ich realizacji.

Tym samym przedstawiona dysertacja, mimo wykazanych niedociągnięć, wyczerpuje wymagania ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r.* (Dz. U. 2018 poz. 1668). W związku z tym wnoszę do Rady Dyscyplin Naukowych Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu o dopuszczenie płk mgr inż. Marcina Żebrowskiego do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora.

dr hab. Leszek Gawrysiak, prof. UMCS

