

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Klapy
pt. „Integracja i optymalizacja danych geoprzestrzennych w procesie generowania
trójwymiarowych opracowań kartograficznych”**

Promotor: dr hab. inż. Mariusz Zygmunt

1. Podstawa formalno-prawna

Podstawą formalno-prawną przygotowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Przemysława Klapy pt. „*Integracja i optymalizacja danych geoprzestrzennych w procesie generowania trójwymiarowych opracowań kartograficznych*” jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie z dnia 4 grudnia 2020 r.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Przemysława Klapy pt. „*Integracja i optymalizacja danych geoprzestrzennych w procesie generowania trójwymiarowych opracowań kartograficznych*” została wykonana pod opieką naukową dr hab. inż. Mariusza Zygmunta.

Jej głównym celem była integracja oraz optymalizacja danych laserowych pochodzących z naziemnego skanowania (TLS) oraz zdjęć lotniczych pozyskanych z wykorzystaniem bezałogowych statków powietrznych (UAV).

Rozprawa jest bardzo rozbudowana, obejmuje 232 strony, a jej zawartość została podzielona na 10 rozdziałów.

W pierwszych trzech rozdziałach (*1. Wstęp, 2. Dane geoprzestrzenne, 3. Kartografia trójwymiarowa*) zostały szczegółowo zreferowane zagadnienia teoretyczne, które świadczą

o dobrym przygotowaniu merytorycznym Autora do prowadzonych później prac eksperymentalnych.

Dalsze rozdziały (4. *Opis przeprowadzonych prac badawczych*, 5. *Opracowanie i przetwarzanie danych pomiarowych*) zawierają metodykę oraz opis wykonanych prac badawczych.

W rozdziale 6 zostały zawarte analizy uzyskanych wyników. Pewną odrębną całość stanowi rozdział 7, w którym przedstawiona jest autorska propozycja rozwiązania problemu optymalizacji. Pracę kończą konkluzje i podsumowanie. Jako rozdział 9 i 10 zostały potraktowane bibliografia i wykazy rycin, tabel i załączników.

Rozprawa jest bogato ilustrowana - zawiera 124 ryciny i 26 tabel, które są właściwie dobrane i odpowiednio wzbogacają treść rozważań zawartych w poszczególnych rozdziałach.

Do rozprawy zostało dołączonych 9 załączników, które przedstawiają trójwymiarowe opracowania kartograficzne i tabelę z oceną dokładności.

Warto podkreślić objętość bibliografii dysertacji - wykaz literatury liczy aż 211 pozycji (!), istotnych dla przedmiotu rozprawy. Są to głównie anglojęzyczne artykuły naukowe, w tym wiele z renomowanych wydawnictw. Dodatkowe pozycje dotyczą aktów prawnych, wytycznych technicznych i netografii.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Nowe technologie takie jak naziemny skanowanie laserowe (TLS) czy zdjęcia lotnicze pozyskiwane z bezzałogowych statków powietrznych (UAV) stanowią bogate źródło informacji geoprzestrzennej, wykorzystywane coraz szerzej w wielu dziedzinach gospodarki, nauki i techniki. Obie metody pozwalają na uzyskanie dokładnych i wiarygodnych danych o rejestrowanych obiektach. Korzystając z tych technologii należy jednak zdawać sobie sprawę z ich ograniczeń. W wielu badaniach naukowych zauważono, że dane fotogrametryczne i laserowe są wzajemnie komplementarne tzn. wady jednej z metod są uzupełniane zaletami drugiej. W związku z powyższym integracja tych technologii stanowi optymalne rozwiązanie.

Celem, jaki postawił sobie mgr inż. Przemysław Kłapa było „*przeprowadzenie badań w zakresie pełnej i dokładnej integracji danych pochodzących z TLS oraz UAV, wykorzystując elementy przestrzenne i formy geometryczne, a także specjalnie przygotowane znaczniki, rozmieszczone w trakcie prac, w wyniku czego powstaną dane geoprzestrzenne, stanowiące wiarygodne źródło informacji o otoczeniu.*”

Podjęta w rozprawie problematyka jest w pełni aktualna i ma szczególne znaczenie praktyczne. Problem integracji danych oraz optymalizacji procesów jest obecnie ważnym zagadnieniem badawczym.

Tezy rozprawy zostały sformułowane następująco:

- 1. Możliwa jest integracja danych geoprzestrzennych pochodzących z różnych źródeł przy zachowaniu wysokiego poziomu dokładnościowego i jakościowego otrzymywanych informacji.*
- 2. Odpowiednio wykonany proces integracji danych, wykorzystujący elementy przestrzenne i geometryczne, pozwala stworzyć wysokiej jakości, jednorodną i kompleksową chmurę punktów, stanowiącą źródło danych przestrzennych. Zestaw danych może zostać poddany procesowi optymalizacji, mającemu na celu usunięcie informacji redundantnych przy zachowaniu istotnych dla obiektu informacji.*
- 3. W oparciu o przetworzone dane możliwe jest wykonanie opracowań, spełniających wymagania stawiane przed wielkoskalowymi produktami kartograficznymi.*

Zarówno cel główny jak i tezy rozprawy doktorskiej zostały właściwie sformułowane, w sposób jednoznaczny wskazując dążenia Autora w prezentowanych badaniach. Struktura przedstawionej pracy jest zgodna z przyjętym kanonem formalnym dla prac naukowych, rozpoczynając od zagadnień teoretycznych, przechodząc do metodyki badań, poprzez opis uzyskanych rezultatów, kończąc na analizie i dyskusji wyników.

W pierwszym rozdziale został zidentyfikowany problem badawczy oraz sformułowane tezy i cele badawcze. Kolejne dwa rozdziały to teoretyczny opis podstawowych zagadnień omawianych w pracy, czyli danych geoprzestrzennych i kartografii trójwymiarowej. Warto w tym miejscu jeszcze raz podkreślić bogatą bibliografię, obejmującą aż 211 pozycji. W rozdziale 2 Autor skupia się przede wszystkim na problematyce integracji chmur punktów pochodzących z różnych źródeł oraz optymalizacji zachodzących procesów. W rozdziale 3 omówiona jest tematyka kartografii trójwymiarowej i podstawowych opracowań 3D.

Rozdział 4 zawiera metodykę badań, opis sprzętu pomiarowego i obiektów badawczych. W mojej opinii pola testowe wybrane w badaniach są reprezentatywne – różnią się bowiem stopniem skomplikowania i zagęszczenia obiektami topograficznymi.

Na szczególną uwagę zasługuje podrozdział 4.4, w którym zostały zaproponowane dwa autorskie rozwiązania. Pierwszy to znacznik referencyjny do integracji danych, objęty zastrzeżonym wzorem przemysłowym nr Wp. 26231. Drugi - to przyrząd pomiarowy do integracji danych pochodzących z TLS i UAV. Konstrukcja ta uzyskała patent nr P.424402

(Przyrząd pomiarowy do integracji danych pochodzących z naziemnego skaningu laserowego (TLS) i bezzałogowych statków powietrznych (UAV) - P.424402 <https://ewyszukiwarka.pue.uprp.gov.pl/search/pwp-details/P.424402?lng=pl>). Mgr inż. Przemysław Kłapa jest współautorem obydwu tych wynalazków. W mojej ocenie jest to znaczący wkład badawczy Autora w zagadnienia omawiane w dysertacji, zasługujący na szczególne podkreślenie i wyróżnienie.

Rozdział 5 to opis przeprowadzonych badań. Pewne zastrzeżenia mam do rozdziału 5.1, w którym został przedstawiony proces generowania chmur punktów ze zdjęć lotniczych. Jest on opisany bardzo lakonicznie. Zastosowano wiele skrótów myślowych, które utrudniają zrozumienie poszczególnych etapów. Przykład: *Po zakończeniu procesu wyrównywania zdjęć zostają wyświetlone obliczone parametry kalibracji kamery (Rys. 53) oraz rzadka chmura punktów (Rys. 54)*. Nie wiadomo, jak przebiegała kalibracja kamery, brak szczegółów dotyczących procesu wyrównania bloku czy wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć.

Najważniejszą i najciekawszą częścią pracy jest proces integracji i optymalizacji danych wraz z oceną dokładności, opisany w rozdziałach 5 i 6.

Jako miarę dokładności ilościowej integracji Autor przyjmuje model różnicowy chmur punktów oraz model różnicowy płaszczyzn wpasowanych w analizowane chmury, pozyskane metodą fotogrametryczną i laserową. Jednakże jako dane referencyjne traktowana jest chmura TLS. Autor uzasadnia ten wybór słowami: *„ponieważ cechują się one (dane TLS) najwyższą dokładnością i precyzją wykonywanego pomiaru.”*

Można polemizować z tymi słowami, gdyż dane skaningowe mają także swoje błędy. Na dokładność danych TLS ma wpływ geometria skanowania, warunki atmosferyczne czy błędy związane ze słabym współczynnikiem odbicia dla niektórych obiektów. Również znaczący jest efekt krawędziowy, powodujący błędy w rejestracji krawędzi obiektów.

Z punktu widzenia metodyki badań, oprócz porównania względnego obydwu chmur, właściwym podejściem byłoby porównanie chmur punktów z danymi zarejestrowanymi metodami bezpośrednimi w terenie (np. gęsta siatka punktów pomierzonych tachimetrycznie). Wówczas można by było mówić o dokładności bezwzględnej danych.

Załącznik 4 to tabelaryczne zestawienie uzyskanych dokładności dla poszczególnych pól testowych. Tabela jest dość długa, w celu łatwiejszej interpretacji przeprowadzonej analizy warto by było wprowadzić dodatkowo na przykład histogramy uzyskanych błędów.

W kolejnych etapach badań Autor przeprowadza analizę statystyczną zrealizowanej integracji. W pierwszym kroku wyznaczane są współczynniki korelacji liniowej Pearsona, które mówią o zależności pomiędzy określonymi parametrami chmur punktów.

Na uwagę zasługują analizy przeprowadzone z wykorzystaniem sieci neuronowych. Obliczone wskaźniki wrażliwości sieci obrazują procentowy udział określonych parametrów na końcowy wynik integracji. Opracowane wykresy kołowe bardzo sugestywnie przedstawiają wpływ poszczególnych wskaźników na jakość integracji danych TLS i UAV i mogą zostać wykorzystane w innych projektach jako wiarygodne i miarodajne wskazówki przy wyborze parametrów nalotu i skanowania.

Kolejny etap prac to optymalizacja chmur punktów. Autor rozważa kilka aspektów optymalizacyjnych: unifikację danych, filtrację szumów i błędów pomiarowych czy detekcję płaszczyzn. Każdy z etapów jest opisany bardzo precyzyjnie, szczególnie ciekawe analizy dotyczą gęstości chmur punktów i wpływu integracji danych na ten problem.

Rozdział 6 to rozbudowane analizy uzyskanych wyników. Doktorant w sposób prawidłowy i bardzo rzetelny rozpatruje rezultaty, starając się między innymi zgłębić wzajemne uwarunkowania między określonymi parametrami danych TLS i UAV.

Końcowa część dysertacji to przygotowanie opracowań kartograficznych. Można ją traktować jako drugoplanowy etap prac. W mojej opinii nie było konieczności wykonywania tych produktów, gdyż główny problem badawczy skupia się wokół zagadnień integracyjnych i optymalizacyjnych. Ale oczywiście wykonanie takich opracowań dodatkowo wzbogaca prezentowaną pracę i należy je przyjąć in plus rozprawy.

Na szczególną uwagę zasługuje rozdział 7. Stanowi on jakby odrębną myśl badawczą, skupioną na problemie optymalizacji, a dokładnie unifikacji danych. Autor proponuje własne rozwiązanie optymalizacyjne, oparte na segregacji chmur punktów w zależności od charakteru obszaru, który reprezentują (wprowadzony podział: ciągła – nieciągła struktura powierzchni). Zaproponowany algorytm jest interesujący i według wstępnych wyników pozwala na ograniczenie liczby punktów w chmurze, przy zachowaniu istotności i wiarygodności informacji. Uważam ten rozdział za znaczący, świadczący o dużym potencjale badawczym Autora.

W mojej ocenie prezentowaną pracę cechuje poprawne podejście naukowe i właściwe rozpatrzenie sprecyzowanych problemów badawczych. Założeniem mgr inż. Przemysława Klapy było przeprowadzenie integracji i optymalizacji danych geoprzestrzennych pochodzących z różnych źródeł i w mojej opinii cel ten został w pełni zrealizowany. Autor rozważył szereg aspektów związanych z problemami integracji i optymalizacji, co ma

odzwierciedlenie w objętości prezentowanej rozprawy. Uważam, że pod względem merytorycznym, praca wnosi nowe wartości poznawcze w zakresie omawianego problemu badawczego.

4. Uwagi szczegółowe i komentarze

W mojej opinii opracowanie edytorskie rozprawy zostało wykonane na wysokim poziomie. Autor posługuje się bardzo dobrą polszczyzną. Estetyka pracy jest wysoka, a rysunki i tabele wykonane starannie. W pracy widoczna jest duża dbałość zarówno o precyzję wypowiedzi jak i właściwe udokumentowanie etapów badawczych z wykorzystaniem odpowiednich opracowań graficznych.

Oczywiście pojawiły się drobne usterki natury językowej i edytorskiej:

str. 108 – styl: kilkukrotne powtórzenie słowa *obiekt*

str. 117 – styl: „*Wysokie parametry charakteryzują się wysoką dokładnością wyznaczania parametrów...*”

str. 126 – błędna numeracja rysunków

str. 131 – nieczytelny rysunek

str. 159 – 167 – na rysunkach dobrze by było zastosować zbliżoną kolorystykę dla tych samych wartości gęstości, gdyż zróżnicowana utrudnia analizę porównawczą wyników UAV – TLS.

str. 204 – *Zabieg ten pozwala, liczbę punktów w chmurze* - zabrakło słowa *ograniczyć*.

Usterki tych jest jednak niewiele i chciałabym jeszcze raz podkreślić wysoką jakość edytorską opracowania.

Analizując rozprawę doktorską mgr inż. Przemysława Kłapy nasunęło mi się również kilka pytań i komentarzy szczegółowych:

1. W podrozdziale 4.5 warto by było dodać rozmieszczenie stanowisk TLS i wyjaśnić strategię ich lokalizacji. Jest to istotny etap planowania pomiaru, zwłaszcza dla skomplikowanych obiektów testowych B i C.
2. W rozdziale 5.1 pojawia się termin „*złożenie zdjęć*”, który nie jest stosowany w terminologii fotogrametrycznej. Prawidłowe określenie powinno brzmieć „*wyrównanie bloku zdjęć/aerotriangulacja*”.
3. W tabeli 11 pojawia się określenie „*dokładność złożenia po wyrównaniu*” – jest to wyrażenie bardzo niefortunne. Proszę Autora o wyjaśnienie o jakim błędzie mówi?

4. Doktorant używa pojęcia *przystawanie chmur* jako różnicy pomiędzy dwoma zestawami punktów, wyznaczonej z zastosowaniem algorytmu *Hausdorff36*. Proszę o bardziej szczegółowe omówienie tego podejścia.
5. Przy analizach związanych z sieciami neuronowymi pojawia się parametr wrażliwości względnej. Proszę o wyjaśnienie tej wartości.

5. Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa zawiera rozwiązanie prawidłowo postawionego i mającego istotne znaczenie praktyczne - problemu badawczego, czyli integracji i optymalizacji chmur punktów pochodzących z niezależnych źródeł fotogrametrycznych i laserowych.

Na podstawie analizy przedstawionej rozprawy doktorskiej stwierdzam, że mgr inż. Przemysław Kłapa wykazał się dużą wiedzą teoretyczną w zakresie omawianej tematyki, umiejętnością definiowania celów badawczych i prowadzenia samodzielnej pracy naukowej.

Po wnikliwym zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Przemysława Kłapy pt. *„Integracja i optymalizacja danych geoprzestrzennych w procesie generowania trójwymiarowych opracowań kartograficznych”* stwierdzam, że spełnia ona warunki dla rozpraw doktorskich, określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 poz. 1789) - i rekomenduję tym samym Radzie Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie - dopuszczenie jej do publicznej obrony i do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Marek Marmol