

Warszawa, 31.08.2015 r.

dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński prof. PW  
Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP  
Wydział Geodezji i Kartografii  
Politechnika Warszawska

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Małgorzaty Mendeli**  
**na temat:**  
**„Metodyka aktualizacji Bazy Danych Obiektów Topograficznych**  
**z wykorzystaniem danych lotniczego skaningu laserowego”**

**1. Podstaw formalna**

Formalną podstawą recenzji jest pismo Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu prof. dr hab. inż. Bernarda Kontnego z dnia 13.07.2015 r., przekazujące uchwałę Rady Wydziału z dnia 3.07.2015 r., w sprawie wyznaczenia recenzentów rozprawy.

**2. Ocena istotności i aktualności tematu**

Zakończyliśmy krycie kraju Bazą Danych Topograficznych (BDOT10k) o dokładności lokalizacyjnej i szczegółowości odpowiadającej tradycyjnej mapie topograficznej w skali 1:10 000. To sztandarowy produkt branży geodezyjnej, kluczowy element nowoczesnej Infrastruktury Informacji Przestrzennej w Polsce. Bazę tę tworzą przez ostatnie kilkanaście lat dużym nakładem czasu i środków, z wyraźnym zintensyfikowaniem prac w ostatnich 4-5 latach. Taką bazę tworzy się z wykorzystaniem wielu źródeł danych, głównym jednak źródłem informacji geometrycznej o obiektach topograficznych pozostają zdjęcia lotnicze. Efektywne wykorzystanie zawartości Bazy wymaga permanentnego utrzymywania jej w stanie aktualności. To spore wyzwanie dla branży geodezyjnej.

Minione 4-5 lat, to również realizacja innego dużego projektu: Informatycznego Systemu Osłony kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami – ISOK. W ramach tego projektu około 90% powierzchni kraju pokryto danymi lotniczego skaningu laserowego (ALS) i wygenerowano z nich precyzyjny numeryczny model terenu (NMT) i numeryczny model pokrycia terenu (NMPT), w pierwszej kolejności dla wytworzenia map zagrożenia powodziowego. Dane i produkty pochodne znajdują się w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym i są powszechnie dostępne. Obserwuje się ogromne zainteresowanie tymi produktami i ich wykorzystanie dla bardzo różnorodnych potrzeb.

Autorka pracy podjęła w rozprawie problem aktualizacji bazy BDOT10k z wykorzystaniem danych lotniczego skaningu laserowego.

Tak sformułowany przedmiot rozprawy doktorskiej ocenić należy jako bardzo aktualny, wychodzący naprzeciw obecnym potrzebom. Temat ten jest również bardzo mocno osadzony w aktualnych realiach tworzonej krajowej infrastruktury informacji przestrzennej, można wręcz mówić o idealnej synchronizacji czasowej przedkładanej rozprawy z dokonaniem którymi żyje geodezyjne środowisko naukowe i zawodowe.

Podjęta tematyka jest nie tylko ważna i aktualna, ale również innowacyjna. Dane ALS wykorzystuje się głównie do tworzenia precyzyjnych modeli wysokościowych, a nie aktualizacji baz danych topograficznych. Standardy techniczne bazy BDOT, wśród kilkunastu źródeł danych jej tworzenia i aktualizacji, nie wymieniają danych ALS. Podjęte więc zadanie jest zadaniem nowatorskim.

Reasumując, podjęta w rozprawie tematyka jest bardzo aktualna i nowatorska. Stanowi dobry przykład łączenia celów poznawczych i użytecznych.

### **3. Teza i cel rozprawy doktorskiej**

Autorka nie formułuje wprost tezy naukowej rozprawy, chociaż lektura rozprawy jednoznacznie na taką wskazuje. Można ją w skrócie określić następująco:

„Dane lotniczego skaningu laserowego posiadają znaczny potencjał informacyjny, przydatny do automatycznego rozpoznawania wielu obiektów gromadzonych w BDOT10k, przydatny do aktualizacji tej bazy danych.

Tak sformułowana teza jest tezą naukową i innowacyjną. Innowacyjność wyraża się w tym, że dane ALS nie są, jak dotąd, standardowym źródłem danych do aktualizacji bazy danych topograficznych.

Teza jest tezą naukową, bowiem jej wykazanie będzie wymagało m.in. zaproponowania algorytmów do detekcji obiektów obecnych w BDOT10k i określenia ich reprezentacji graficznej tylko w oparciu o dane laserowe. Algorytmy te musiały być obudowane w sprawne numerycznie procedury i weryfikowane na wybranych polach testowych. Ważny przy tym jest wysoki stopień automatyzacji całego procesu.

Cel pracy jest sformułowany bardzo jasno i brzmi (str. 12):

„Celem pracy jest weryfikacja możliwości oraz opracowanie metodyki identyfikacji i modelowania wybranych obiektów Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k), wyłącznie na podstawie chmury punktów lotniczego skanowania laserowego”.

Uwagę zwraca zapowiedź, że dane ALS mają być wyłącznym źródłem danych. Poniżej celu Autorka w punktach przedstawia zakres prac (str. 12). Akcent położony jest na:

- wykorzystanie charakterystycznych właściwości impulsów laserowych,
- implementację algorytmów, opierających się na dwóch postaciach danych: źródłowej (skalsyfikowana chmura punktów) i rastrowej,
- ocenę skuteczności rozpoznania wybranych obiektów BDOT10k,

- koncepcję kontroli i aktualizacji BDOT10k z wykorzystaniem istniejących mechanizmów Krajowego Systemu Zarządzania BDOT10k,
- automatyzację przebiegu procesów.

Reasumując, postawiona w rozprawie teza jest tezą naukową, a jej wykazanie wymaga postawienia i rozwiązania szeregu szczegółowych zadań badawczych. Całość ma znaczenie poznawcze i doniosłe znaczenie praktyczne.

#### **4. Układ i treść rozprawy**

Rozprawa doktorska obejmuje łącznie 200 stron maszynopisu. Pracę drukowaną uzupełnia płyta DVD zawierająca wersję elektroniczną rozprawy oraz dane źródłowe i opracowane wektorowe modele obiektów BDOT10k.

W rozdz. 1 „Wstęp” Autorka przybliżyła motywację badań, cel i zakres pracy. W rozdz. 2 przybliżyła technikę lotniczego skaningu laserowego, ze wskazaniem na właściwości danych przydatne do ekstrakcji obiektów bazy danych topograficznych.

Rozdział 3 dotyczy przeglądu europejskich baz danych topograficznych i metod ich aktualizacji, a rozdział 4 przybliżyła naszą, krajową Bazę Danych Obiektów Topograficznych – BDOT10k. W tym rozdziale uwagę zwraca podrozdział 4.3 „Możliwość identyfikacji obiektów BDOT10k w zbiorze danych lotniczego skaningu laserowego”, w którym Autorka przedstawia podział obiektów BDOT, ze wskazaniem możliwości rozpoznania poszczególnych obiektów wyłącznie na podstawie chmury punktów ALS. Wskazuje się również na różne właściwości punktów laserowych, przydatne dla rozpoznania poszczególnych obiektów. Analiza ta kończy się wnioskiem o znacznym potencjale danych lotniczego skaningu laserowego do automatycznego rozpoznania wielu obiektów topograficznych. Ta obszerna tabela (8 stron) i wnioski z niej wynikające stanowią autorski wkład w zakres rozprawy i stanowią motywację do podjęcia badań.

Rozdział 5: „Zasilanie i aktualizacja BDOT10k na podstawie danych ALS – koncepcje i eksperymenty” stanowi zdecydowanie najważniejszy rozdział rozprawy. Rozdział ten licząc 140 stron dominuje w pracy. Tu odnajdujemy wskazania pól testowych (rozd. 5.1), a w podrozdziale 5.2 „Narzędzia i metody” istotę metodyczną rozprawy – opis wybranych algorytmów do identyfikacji obiektów topograficznych. Jest to sześć algorytmów operujących na pierwotnych danych ALS (na chmurach punktów), oraz 4 algorytmy operujące na rastrowych danych ALS (modelach wysokościowych w strukturze GRID).

Wykorzystane algorytmy to:  $\alpha$ -shape, K (kappa), centroidów, rysowanie wielokątów (oprogramowania Terrascan), wektoryzacja budynków (oprogramowania Terrascan), wykrywanie przewodów (oprogramowania Terrascan), rosnącego regionu, wododziałowy, D8 i snakes (model aktywnych konturów).

Każdy algorytm jest dość dokładnie opisany, z licznymi powołaniami literaturowymi.

Opis algorytmów poprzedzony jest zaproponowaniem ilościowej oceny skuteczności rozpoznania obiektów.

Obszerny podrozdział 5.3 „Identyfikacja wybranych obiektów BDOT10k w zbiorze danych lotniczego skaningu laserowego” zawiera wyniki identyfikacji 8 obiektów obecnych w BDOT10k. Są to: woda stojąca, rzeka, zaporą, budynek, wiata lub altana, zbiornik techniczny, linia elektroenergetyczna najwyższego napięcia, droga. Każdemu obiektowi poświęcony jest oddzielny podrozdział. Powtarza się schemat każdego z nich: najpierw komentarz wstępny dotyczący dyskusji możliwości rozpoznania danego obiektu w zbiorze danych skanerowych, wsparty powołaniami na literaturę, a następnie opis funkcjonalności narzędzi informatycznych implementujących dany algorytm. Dla każdego obiektu wykorzystano 2-3 takie algorytmy. Podane są szczegółowe wyniki, ze wskazaniem parametryzacji użytych algorytmów numerycznych. Przytacza się również wyczerpującą analizę dokładnościową lokalizacji zidentyfikowanych obiektów.

Podsumowanie rozdziału 5 stanowi podrozdział 5.4 „Koncepcja automatycznej kontroli i aktualizacji BDOT10k z wykorzystaniem danych lotniczego skaningu laserowego” w którym Autorka przedstawia własną koncepcję automatycznej kontroli i aktualizacji BDOT10k z wykorzystaniem danych lotniczego skaningu laserowego. Koncepcja ta została doprowadzoną do konkretnych procedur, obudowanych schematami aplikacyjnymi GML, zgodnych z Krajowym Systemem Zarządzania BDOT10k, gotowych do zaimplementowania w praktyce.

Pracę kończy „Podsumowanie i wnioski końcowe” (rodz. 6) oraz bibliografia. Bibliografia jest wyjątkowo obszerna, zajmuje 18 stron pracy.

## **5. Ocena przyjętych metod badawczych**

W przyjętej przez Autorkę metodyce aktualizacji BDOT10k na podstawie danych ALS na uwagę zasługuje:

1. Oparcie się o bardzo rozbudowaną, reprezentatywną i aktualną literaturę przedmiotu. Umiejętność korzystania z literatury zasługuje na wyróżnienie.
2. Wykorzystanie aż 10 różnych algorytmów identyfikacji obiektów topograficznych. Algorytmy te opierają się na pierwotnych danych ALS (sklasyfikowanych chmurach punktów), lub rastrowych danych ALS (modelach wysokościowych w strukturze GRID, wyinterpolowanych z danych źródłowych ALS). Algorytmy te zostały doprowadzone do formy sprawnych narzędzi informatycznych. Autorka korzysta z gotowych narzędzi (biblioteka Matlab), adaptując je dla własnych potrzeb.
3. Wykorzystanie różnych, prawie wszystkich możliwych właściwości odbiciowych punktów ALS: pochłanianie przez wodę, przenikanie przez roślinność, intensywność odbicia, numeru echa, rozkład wektorów normalnych wyznaczonych w punktach ALS.
4. Przejęcie założenie, że do identyfikacji obiektów topograficznych zostaną wykorzystane wyłącznie dane ALS (nie będą wykorzystane inne dane wspomagające).
5. Postawienie na automatyzację ekstrakcji obiektów topograficznych z danych ALS i aktualizacji BDOT10k.
6. Sprawdzenie metodyki na danych ALS z kilku obszarów testowych, pozyskanych w projekcie ISOK.

Oceniając, przyjęta metodyka jest bardzo dobrze umotywowana, z adekwatnymi algorytmami i wykorzystaniem praktycznie wszystkich właściwości danych ALS. Autorka słusznie postawiła na automatyzację. W dobie obecnej tylko zautomatyzowane procedury mają szanse praktycznej implementacji. Eksperymenty praktyczne są szeroko zakrojone, a wyniki dobrze udokumentowane, poddane analizie i ocenie. Łącznie, realizowana rozprawa daje rzetelną i wiarygodną odpowiedź w zakresie możliwości aktualizacji bazy danych topograficznych BDOT10k z wykorzystaniem danych lotniczego skaningu laserowego.

Do tej pozytywnej oceny wyników rozprawy, można postawić kilka pytań, będących bardziej elementem dyskusji naukowej, niż zastrzeżeń merytorycznych. Są to:

1. Autorka założyła, że do identyfikacji obiektów topograficznych zostaną wykorzystane wyłącznie dane ALS, choć sama w wielu miejscach pracy podkreśla, że najlepsze wyniki daje wykorzystanie danych wieloźródłowych. Dane ALS mogłyby np. być wspomagane danymi zdjęciowymi. Przecież w ramach projektu ISOK, skaning laserowy był sprzężony z kolorową kamerą średnioformatowa, wykorzystywaną do tzw. „kolorowania” chmury punktów. Zdjęcia te są dostępne.

Autorka wie oczywiście o tym i świadomie rezygnuje z tych danych, prawdopodobnie dla zachowania „czystości metodologicznej” i odpowiedzi o zakres użyteczności wyłącznie danych ALS dla postawionego celu. Taki wybór należy uszanować i docenić.

2. Wynik ekstrakcji obiektów topograficznych z danych ALS został poddany ocenie poprzez porównanie go z danymi referencyjnymi, które stanowi wektoryzacja cyfrowej ortofotomapy o rozdzielczości terenowej (pikselu) 0,50 m. Wskaźnikiem jakości jest rozbieżność w formie błędu średniokwadratowego odchyłki (wzór 5.2-1, str. 49). Takie podejście zakłada bezbłądność danych referencyjnych.

Takie założenie odbiega mocno od rzeczywistości. Błąd lokalizacyjny referencyjnej ortofotomapy z pikselem 0,50 m można ocenić na około 2,5-3 piksele, tj. 1,25-1,50 m, a więc błąd danych referencyjnych jest większy niż samych danych ALS, użytych w pracy. Zaciemnia to wyniki oceny. Należało przynajmniej wyraźnie do podkreślić. Powyższą analizę Autorka określa jako „ilościową ocenę skuteczności rozpoznania obiektów” (str. 47). Jest to określenie niezbyt adekwatne do samej oceny, która jest oceną dokładności lokalizacyjnej obiektu.

3. W przeprowadzonej ocenie zabrakło innego, ważnego elementu, a mianowicie odpowiedzi o stopień wykrywalności danej klasy obiektów tylko w oparciu o dane ALS. Jaką część obiektów wykryto i zwektoryzowano, spośród wszystkich obiektów danej klasy, występujących w badanym obszarze?

## **6. Inne uwagi do pracy**

Zauważalna jest dbałość Autorki o staranną formę edytorską rozprawy. Do uwag edytorskich o niewielkim znaczeniu, można zaliczyć:

- używanie w pracy terminów DTM, DSM, zamiast od dawna ugruntowanych w piśmiennictwie krajowym i praktyce NMT, NMPT,
- CIA to nie Centralna Agencja Inteligencji, lecz Centralna Agencja Wywiadowcza (str. 16),

- w pracy przyjęto nietypową formę numerowania rysunków, tabel i wzorów, zresztą nie dość konsekwentnie stosowaną w całej pracy,
- w pracy używa się akronimów, bez rozszyfrowania ich pełnej treści. Zwykle przy pierwszym pojawieniu się akronimu podaje się jego pełne znaczenie, lub załącza się wykaz akronimów i skrótów.
- informacja o obiektach i danych testowych jest zbyt lakoniczna, a załączony rysunek 5 (str. 47) pozostawia wątpliwości co do znaczenia kolorów.

## 7. Wniosek końcowy

Wyniki przeprowadzonych badań pokazały, że wysoki potencjał informacyjny zawarty w danych ALS, ich unikalne właściwości oraz algorytmy przetwarzania chmur punktów lotniczego skaningu laserowego dają możliwość identyfikacji większości obiektów BDOT10k z danych ALS, bez posiłkowania się danymi pochodzącymi z innych źródeł, zgodnie ze standardami technicznymi tej bazy.

W efekcie wykonanych prac została również opracowana i zweryfikowana koncepcja wykorzystania mechanizmów Krajowego Systemu Zarządzania BDOT10k w celu automatycznej kontroli aktualności i aktualizacji BDOT10k danymi ALS.

Uzyskane wyniki potwierdzają wykazanie tezy rozprawy. Osiągnięto postawione na wstępie cele. Na pokreślenie zasługuje aktualność podjętych badań i praktyczną przydatność ich wyników. Na wyróżnienie zasługuje umiejętność Autorki korzystania ze źródeł literaturowych.

Sama Autorka postrzega problem aktualizacji bazy BDOT10k ze danych ALS jako trwający proces, w którym przedstawione wyniki są jego częścią i nie wyczerpują problematyki i możliwości. W podsumowaniu pracy Autorka wskazuje na dane „pełnego kształtu fali” (*full wave form*) danych ALS jako na źródło dalszych możliwości wzrostu wykorzystania tych danych do aktualizacji bazy, co otwiera pole dalszych naukowych poszukiwań.

Nieliczne uwagi merytoryczne mają charakter dyskusyjny i nie obniżają wartości pracy.

Pozytywna ocena merytoryczna rozprawy upoważnia do stwierdzenia, że Doktorantka wykazała się wiedzą teoretyczną oraz posiadała umiejętność samodzielnego prowadzenia eksperymentu naukowego i właściwego interpretowania jego wyników.

Recenzowana rozprawa doktorska spełnia zatem wymagania zawarte w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz.U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 ze zmianą w Dz.U. z 2005 r. nr 164 poz. 1365). Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Małgorzaty Mendeli do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

Warszawa, 31 sierpień 2015 r.

