

dr hab. inż. Piotr Węzyk, prof. URK
Katedra Zarządzania Zasobami Leśnymi
Wydział Leśny
Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie
al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków

Kraków, dn.12.01.2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr Janusza Godźka, pt.:

„Analysis and modeling of remote sensing data to automate the detection of windthrows, root plates of fallen trees and pit-mound topography”

Formalna analiza rozprawy

Formalną podstawą sporządzenia recenzji dysertacji Pana mgr Janusza Godźka, którą niniejszym przedkładałam było pismo (WNP/BEOI.411.19.2025) Pani prof. dr hab. Ewy Łupikasz – Dyrektora Instytutu Nauk o Ziemi, Wydziału Nauk Przyrodniczych, Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, w sprawie powołania mnie na Recenzenta (na mocy Uchwały Rady Naukowej INZ, WNP UŚ z dnia 21.10.2025).

Zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.; art. 187; pkt. 3) - rozprawę doktorską może stanowić zbiór opublikowanych i powiązanych ze sobą tematycznie artykułów naukowych tworzących spójną całość.

Układ i treść pracy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr Janusza Godźka, stanowi spójny tematycznie zbiór trzech artykułów opublikowanych w języku angielskim, które ukazały się w punktowanych czasopismach naukowych w latach: 2023, 2024 oraz 2025. Prace będące podstawą dysertacji opublikowano w czasopismach specjalizujących się w tematyce teledetekcyjnej, geomorfologicznej i środowiskowej (Tab. 1). Prace zgłoszone do cyklu nie uzyskały jeszcze do momentu wysokiego poziomu cytowań (prace z 2024 oraz 2025 po 1 cytowaniu) poza pracą z 2023 (9 cytowań w ciągu 2 lat). Całkowicie zrozumiałym jest, iż wzrost cytowań wymaga po prostu więcej czasu, przy czym nie wszystkie prace są typu Open Access (Tab.1).

Doktorant, do spójnego cyklu 3 publikacji na temat kartowania wiatrowałów oraz kartowania ich efektów oddziaływania na rzeźbę terenu w obszarach górskich, wskazuje następujące pozycje, których, co jest godnym podkreślenia, zawsze był pierwszym autorem, tj.:

- Godziek, J., Pawlik, Ł., & Buma, B. (2025). The Mapping and Analysis of the Infrequent, Large-Scale Blowdown Event in the Colorado Front Range. *Land Degradation & Development*, 36(10), 3604-3620. <https://doi.org/10.1002/ldr.5623>
- Godziek, J. (2024). Root plates of uprooted trees – Automatic detection and biotransport estimation using LiDAR data and field mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 131, 103992. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103992>
- Godziek, J., & Pawlik, Ł. (2023). Indicators of wind-driven forest disturbances – pit-mound topography, its automatic detection and significance. *CATENA*, 221, 106757. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106757>

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów bibliometrycznych prac wchodzących w skład pracy doktorskiej Pana mgr. Janusza Godźka

Nr publikacji	Rok	Czasopismo	Liczba cytowań 01.01.2026 - Scopus	Pkt wg wykazu czasopism MNiSW	IF	Udział doktoranta
1	2023	CATENA	9	140	5.5	b.d.
2	2024	International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	1	140	8.6	b.d.
3	2025	Land Degradation & Development	1	200	3.7	b.d.
RAZEM			11	480	17.8	

Układ i treść pracy doktorskiej

Układ przedłożonej dysertacji w postaci Autoreferatu (tzw. Przewodnika) zaczyna się od: Spisu treści (1 strona), Listy artykułów stanowiących spójny cykl oraz pozostałych artykułów z dorobku naukowego doktoranta (1 str.), Streszczenia w języku angielskim (2 1/2 strony), Streszczenia w języku polskim (3 strony), Słowniczka pojęć (Definitions; 1 str.), Wprowadzenia (Introduction w języku angielskim; 4 str.), Metodyki (Methods; 3 strony), Wyników (Results; 2 strony), Dyskusji (Discussion; 3 strony), Wyzwań (Challenges; 3 strony) oraz Konkluzji (Conslusions; ½ strony). Na zakończenie części opisowej Autoreferatu doktorant załącza spis Literatury (5 stron; 54 pozycji z czego ostatnia jest zdublowana Zhang et al. 2016 nie 2016 i 2016b).

Dalej w Autoreferacie znajdują się: 3 artykuły w odwróconej kolejności czasu ich publikowania, tj.: 2025, 2024 oraz 2023 a także Oświadczenia współautorów. Normą z jaką dotychczas spotykał się recenzent podczas przygotowywania recenzji doktorskich, było precyzyjne określenie procentowego udziału wkładu, każdego ze współautorów w przygotowanie manuskryptów, czego w tym konkretnym przypadku brak - a są jedynie opisy zakresu prac, trudne dość do oszacowania, szczególnie w sytuacji podania w dwóch z nich, iż Promotor główny był kierownikiem projektu badawczego w ramach, którego one powstały. Oczywistym jest jednak, że wysiłek przygotowania manuskryptu spoczywał głównie na

doktorancie prawdopodobnie zatrudnionym w grancie i nie musi być on pomysłodawcą całej dysertacji (od tego jest Promotor), jednak łatwiej i bardziej przejrzyste dla recenzji byłoby podać procentowe udziały współautorów w dwóch wymienianych publikacjach (nr: 1 oraz 3).

Nie do końca zrozumiałą sprawą dla recenzenta jest przyjęcie języka angielskiego jako głównego dla przygotowanego Autoreferatu. Oczywiście Uczelnie wyższe rządzą się w Polsce własnymi odrębnymi regulaminami w tej sprawie i jestem przekonany, iż tak właśnie jest w tej kwestii. Na bazie dokumentacji jaką otrzymałem nie stwierdzam jednak, iż kandydat do stopnia doktora zwrócił się do Rady Naukowej Instytutu o to by dysertacja (Autoreferat / Przewodnik) złożona była w języku angielskim, ani też w otrzymanym piśmie (WNP/BEOL.411.19.2025) nie wskazano, iż właśnie w języku obcym angielskim recenzent ma udzielić swej odpowiedzi. Recenzja została przygotowana więc w języku polskim.

Ocena problematyki badawczej

Zakres tematyczny dysertacji wpisuje się w nurty światowych i europejskich prac badawczych realizowanych w ostatnich latach w domenę określaną jako aplikacyjność technologii teledetekcyjnych i algorytmów klasyfikacyjnych w badaniach środowiskowych.

W ostatniej dekadzie podstawową troską osób zarządzających obszarami chronionymi (nie tylko w Polsce ale i w świecie) jak również góorskimi ekosystemami leśnymi (np. administracja PGL LP w Polsce), jest tworzenie i walidacja realistycznych scenariuszy dotyczących np. przyszłych zasięgów zbiorowisk leśnych podlegających silnym przemianom (często rozpadom) na skutek gwałtownych zmian klimatu. Jednym z przykładów mogą być wiatry nawalne, jak tzw. „Nawałnica 100-lecia”, od której ucierpiało niemal 100.000 ha w Polskich lasach w 2017 roku, które są przyczyną występowania ogromnych zniszczeń w ekosystemach leśnych. Szczególnie w warunkach górskich, wykształcone przez wiele tysięcy lat piętra roślinności, reagując na zmiany parametrów klimatu (np. średnia temperatura powietrza) będą prawdopodobnie podlegać dynamicznym przemianom swego zasięgu wysokościowego, co spowoduje zmiany powierzchniowe w podejściu 2-D (powierzchniowym). Utrata drzewostanów w obszarach górskich, szczególnie ważnych ale i wrażliwych, spowoduje nie tylko lokalne czy regionalne ale być może i globalne skutki związane z obniżeniem retencji, zagrożeniem powodzią błyskawicznymi, erozją, osuwiskami, obniżeniem bioróżnorodności czy choćby wzrostem zanieczyszczenia atmosfery (np. w sytuacji pożarów wielkopowierzchniowe w Kanadzie czy w Australii).

W górskich ekosystemach powstają też nowe zagrożenia wynikające z nagromadzenia się dużych ilości drewna martwego (szczególnie w wyniku wiatrowałów i wiatrołomów i obszarów gradacji szkodników) i związanych z nimi ryzyk pożarowych wzmacnianych przez nasilające się fale upałów czy niedobory opadów atmosferycznych skutkujących obniżaniem poziomu wód gruntowych. Nie bez znaczenia też jest coraz większa presja tzw. turystyki górskiej podnosząca ryzyko pożaru czy wypadków na obszarach klęskowych (np. upadek drzewa).

Aktualność i celność podjętej przez doktoranta tematyki badawczej dysertacji polega przede wszystkim na podejściu badawczym poszukiwania dróg automatyzacji przetworzeń

dużych ilości geodanych pozyskanych metodami teledetekcyjnymi (wzbogaconych danymi referencyjnymi *in situ*).

Kartowanie zaprezentowane w cyklu publikacji miało głównie na celu wskazanie możliwości automatycznej predykcji ograniczenia zasięgu drzewostanów poprzez zniszczenia abiotyczne (wiatr) w skali lokalnej (artykuł nr 1 z 2025) jak i badania ich skutków w skali mikro (artykuły nr 2 i 3 : 2024 i 2023). Doktorant nie skupił się w swej dysertacji jedynie na obszarze Gorczańskiego i Babiogórskiego Parku Narodowego, co byłoby w zasadzie wystarczające, ale przeprowadził badania również w Górach Skalistych (Colorado, USA).

Doktorant testował różne zbiory danych teledetekcyjnych pochodzące z różnych źródeł (systemów pasywnych i aktywnych) i cechujących się różną rozdzielczością spektralną ale i terenową (przestrzenną). W tym celu wykorzystał nowoczesne podejście oparte na wykorzystaniu algorytmów, przez co wpisał się on w palące potrzeby zarządzających obszarami chronionymi, wskazując im drogę do wykorzystania geodanych, szczególnie tych powszechnie dostępnych i tzw. danych otwartych (np. S-2 ESA; zbiory danych ALS LiDAR pzgik czy repozytoria danych z Parków narodowych realizowanych z publicznych funduszy) do prowadzenia monitoringu dynamiki przemian lasów. To właśnie precyzyjne określanie zasięgu zniszczeń w występujących w lasach, zarówno tych obecnych jak i historycznych (szczególnie przy braku dokumentacji fotogrametrycznej czy innej) może dawać podstawy do dalszych prowadzenia dalszych analiz, choćby na tematy bardzo aktualne jak bioróżnorodność czy adaptacja poszczególnych gatunków drzew do zmian klimatu. Nie sposób wyobrazić już dziś sobie, że monitorowanie rozległych obszarów górskich jak Beskidy (nie wspominając o Górach Skalistych), mogłoby odbywać się wyłącznie z wykorzystaniem metod tradycyjnych na bazie np. transektów badawczych zakładanych w terenie (*in situ*). Rola tradycyjnych metodyk monitoringu będzie migrować tak jak w zaprezentowanej dysertacji prób automatyzacji modelowania danych wysokościowych i optycznych w kierunku ich wykorzystania jako danych uczących (treningowych) oraz walidacyjnych (testowych) w odejściu uczenia maszynowego (ML) jako elementu szerzej rozumianej sztucznej inteligencji (AI). Istotne jest jednak wciąż, by podnosić jakość danych pozyskiwanych *in situ* choćby zwiększając poprawność ich lokalizacji przestrzennej np. stosując wysokiej klasy odbiorniki GNSS (uwaga na tzw. „spoofing” w obecnych czasach !) czy skanowaniem LiDAR (ULS, TLS, HLS, PLS) tworząc precyzyjne lokalne modele wysokościowe skalując je do zasięgu np. kampanii lotniczych ALS LiDAR (pzgik) czy też unikatowych repozytoriów LiDAR w wybranych Parkach Narodowych w Polsce.

Istotną rzeczą w zastosowaniu rozwiązań opartych na algorytmach klasyfikacyjnych oraz zobrazowaniach teledetekcyjnych jest ich dostępność wynikająca oczywiście z powtarzalności ich pozyskania i dostępu do źródeł. O ile nie ma w warunkach naszego kraju problemu z dostępem do danych fotolotniczych (zdjęcia lotnicze i ortofotomapy) oraz satelitarnych Sentinel-2 (ESA) czy Landsat 8/9 (NASA), to naloty ALS LiDAR wykonywane są co niemal 10 lat (w skali kraju, nie miast czy wybranych Parków Narodowych). Im częściej takie dane będą pozyskiwane, tym większe szanse na ich aplikacyjność i uniknięcie przypadkowości warunków meteorologicznych, fenologicznych czy sprzętowych.

Uważam, że wysiłek podjęty przez Doktoranta jest bardzo cenny dla przyszłych pokoleń badaczy, bo daje podstawy do doskonalenia metod z wykorzystaniem i doбором geodanych i algorytmów doskonalących wyniki swego przetwarzania, często gigantycznych zbiorów danych.

Jak już podkreślałem ważne w badaniach Doktoranta jest poszukiwanie obiektywnych, a nie subiektywnych danych służących do treningu i walidacji algorytmów.

Poszukiwania metod automatycznego (w rozumieniu recenzenta semi-automatycznych) kartowania uszkodzeń lasów od wiatru oraz dynamiki zmian mikro-reliefu w oparciu o dane teledetekcyjne i bazy danych powierzchni referencyjnych są pierwszorzędną potrzebą zarówno badawczą jak i wdrożeniową. Umożliwią one zarówno monitoring jak i podejmowanie decyzji czy dalsze wnioskowanie. Dodatkowo metody kartowania obszarów zniszczeń drzewostanów (na bazie aktualnych zobrazowań satelitarnych czy też historycznych na bazie NMT z chmur punktów ALS LiDAR) zmierzające do wysokiego obiektywizmu są transparentne i sprawdzalne oraz modyfikowalne, co szczególnie w obecnych czasach, przy zwiększającym się zaangażowaniu organizacji NGO i społeczeństwa, jest idealnym rozwiązaniem prowadzenia dyskursu o celach i wyzwaniach ochrony przyrody. Dane teledetekcyjne są w dużej części publicznie dostępne i umożliwiają każdej ze stron dyskusji, sięgnięcie bo niezaprzeczalne argumenty oparte na wynikach publikacji naukowych. Precyzyjne modele wysokościowe (NMT, NMPT czy zNMPT) generowane dziś w oparciu o nowy paradygmat jakim jest lotnicze skanowanie laserowe (ALS LiDAR) nawet w przypadku drzewostanów obecnie niewykazujących uszkodzeń (koron drzew) pozwalają na historyczną ocenę zjawisk jakie zachodziły w tych ekosystemach w przeszłości. Historyczne analizy morfometryczne (nie tylko na obszarach obecnych odsłoniętych wiatrowałów i wiatrołomów – często uprzętniętych w krótkim czasie – poza obszarami ochrony ścisłej) w przypadku bardzo gęstych chmur punktów ALS i „sprzyjającej” LiDAR struktury drzewostanu (np. niezbyt gęste runo, braki podszytu i podrostu) przy doborze odpowiednich algorytmów klasyfikujących (łącznie z wykorzystaniem uczenia maszynowego ML/AI) mogą wnieść znaczący wkład w wiedzę na temat historycznych uwarunkowań i procesów zachodzących w przeszłości. Wykrycie obiektów w terenie różniących się zaledwie o kilka cm wysokości (np. miejsc wypału węgla drzewnego – limierzy) jest w zasadzie niemożliwe w terenie w sytuacji występowania pokrywy runa (np. borówki czernicy lub paproci). Lotnicze skanowanie laserowe (ALS) umożliwia często „spisanie historii miejsca” poprzez detekcję takich miejsc nie wspominając już o obiektach większych jak rowy, wykroty, szanice, okopy, miejsca kultu religijnego czy wręcz osady (grodziska) tak ważne dla archeologii. Oczywiście są pewne uwarunkowania takie jak gęstość i wielkości plamki systemu ALS LiDAR, kąty wysyłania impulsu światła, ilości rejestrowanych ech sygnału, typ systemu skanującego (np. zapis *full waveform*), równomierność rozłożenia wiązki (tzw. *pattern*), wysokość lotu sensora czy też cechy samego drzewostanu (okres wegetacji, np. LEAF-OFF szczególnie ważny w przypadku drzewostanów liściastych), wysokości, gatunków drzew, klasy wieku i wynikającej z niego budowy wysokościowej i zwarcia poziomego koron, występowania cech szczególnych (np. porosty) jak i choćby pory roku (np. zalegająca pokrywa śniegu wykluczająca poprawne modelowanie gruntu). Tak więc LiDAR – obecny nowy paradygmat nie tylko w geodezji (numeryczne

modele terenu), ale i w leśnictwie (np. wysokości drzewostanów, klasy wieku i zwarcia, historia drzewostanu) czy nawet archeologii i w końcu geomorfologii i związanej z nią morfometrii wnosi całkowicie nowe podejście w badaniach ale i we wdrożeniach nowoczesnych metod zarządzania przestrzenią leśną czy monitorowaniem przemieszczeń gruntu (np. osuwisk jak projekt SOPO PIG) jak i modelowaniu morfometrycznym.

Ocena pracy doktorskiej

Wartość naukowa dysertacji

Wartość naukowa przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej zaprezentowanej w formie Autoreferatu oraz powiązanego z sobą cyklu 3 publikacji spełnia stawiane tego typu opracowaniom naukowym wymagania i **oceniam ją wysoko**. Dysertacja wyróżnia się **innowacyjnością w zakresie dyscypliny nauk o Ziemi** na styku interdyscyplinarności z leśnictwem czy gleboznawstwem leśnym, hydrologią czy szerzej pojętą geomorfometrią.

Na podstawie szczegółowo zaplanowanych badań niewątpliwie skonsultowanych z doświadczonym w tym obszarze badań Promotorem głównym **Panem dr hab. Łukaszem Pawlikiem, prof. UŚ** oraz Promotorem pomocniczym: **Dr Brain Buma** - Autor zaproponował rozwiązania metodyczne zarówno doboru danych teledetekcyjnych (satelitarnych i lotniczych) jak i algorytmów klasyfikacyjnych i procesu przetwarzania. Walidacja opierała się na zebranych w terenie danych *in situ* za co jest ważne w każdych badaniach i za to należy pochwalić Doktoranta.

Autor w swoim Autoreferacie na stronie 14 przytacza **cel** jaki przyświecał mu przygotowując 3 publikacje stanowiące spójny cykl czyli definiuje go jako - opracowanie ilościowej i jakościowej metodyki wykorzystania danych teledetekcyjnych do oceny wpływu wiatrowałów na biomorfodynamikę stoków dla 3 głównych komponentów, tj.: obszarów wiatrowałowych, wykrotów oraz topografii kopców i zagłębień.

Cele metodologiczne dysertacji obejmowały wg Doktoranta:

1. testowanie i modyfikację detekcji wiatrowałów przy zastosowaniu optycznych danych satelitarnych;
2. zaproponowanie i testowanie metod wspierających detekcję form terenowych wynikających z oddziaływania silnych wiatrów (wykroty drzew, topografia kopców i zagłębień) wraz metodami umożliwiającymi szacowanie transportowanego materiału glebowo-skalnego przy wykorzystaniu danych LiDAR.
3. automatyzację wszystkich opracowanych metod pod kątem potencjalnego w analizach czasowo-przestrzennych oraz
4. zbadanie czynników technicznych i środowiskowych wpływających na dokładności proponowanych metod.

Zastosowanie nowego podejścia w badaniach kartowania wykrotów korzeniowych drzew jako zjawiska środowiskowego i geomorfologicznego występującego w rejonach górskich, Autor dysertacji realizował poprzez następujące cele poznawcze:

1. ocenę przestrzennego rozmieszczenia powalonych drzew, wykrotów, poznania topografii kopców i zagłębień w aspekcie analizy mikrorzeźby, rozwoju gleby, mikroprocesów hydrologicznych oraz regeneracji drzewostanu.
2. ilościową ocenę biotransportu tj. oszacowanie objętości gleby oraz materiału skalnego przemieszczanego poprzez powstawanie wykrotów.

Przy takim zbudowaniu metodologii i celów poznawczych należałoby postawić jasne hipotezy badawcze. Zwykle w tego typu opracowaniu jak dysertacja definiuje się poszczególne hipotezy czy też pytania badawcze, na które poszukuje się odpowiedzi. Wyjaśnienia bądź nie (gdy nie udowodni się stawianej hipotezy) spodziewamy się potem odnaleźć w poszczególnych publikacjach cyklu. W przypadku recenzowanej dysertacji Pana mgr Janusza Godźka **brak jest wyodrębnionych jasnych hipotez badawczych** poza celami badawczymi opracowania zawartymi w konstrukcji samej metodologii czy celami poznawczymi. Zresztą z częścią celów poznawczych jak rozwój gleby czy mikroprocesów hydrologicznych oraz regeneracji drzewostanu - recenzent nie odnalazł w 3 publikacjach stanowiących cykl. Brak było wyników czy danych referencyjnych w tym zakresie więc trudno uznać, że ten cel poznawczy jak tempo regeneracji drzewostanu był choćby dodatkowym zadaniem badawczym.

W przekonaniu recenzenta ostatnia publikacja doktoranta (2025) przedstawiona w cyklu jako pierwsza (nr 1) jakby oczekiwał recenzent, nie wpisuje się idealnie w powyżej zacytowane z autoreferatu cele naukowe. Stawiając bowiem cel poznawczy jako *"ocena przestrzennego rozmieszczenia powalonych drzew"* recenzent oczekiwał by detekcji pojedynczych kłód czy koron drzew a nie zasięgu powalonego drzewostanu. Szczególnie, iż rozdzielczość przestrzenna S-2 ESA nie pozwala na detekcje pojedynczych kłód. Słowa więc należy odpowiednio ważyć, szczególnie że recenzent jest ekspertem w tematyce leśnictwa gdzie wyrażenie „drzewa” oraz „drzewostan” nie znaczą tego samego. Owszem detekcja wiatrołomów w oparciu o obrazy S-2 (ESA) może być pierwszym krokiem w procesie detekcji obszarów potencjalnie uznanych za dotknięte zmianą mikrorzeźby (często mamy do czynienia jednak również z wiatrołomami, na których gleba nie jest naruszona) gdyby jednak kontynuować na tym obszarze detekcję na ortofotomapach lotniczych (np. metoda GEOBIA) lub nawet wykrotów oraz topografii kopców i zagłębień oparto na danych ALS LiDAR. W takim podejściu spójnego cyklu, publikację nr 1 można traktować jako trochę zbyt oddaloną od głównego nurtu poszukiwania dynamiki zmian mikrorzeźby i biotransportu gleby z frakcją skały macierzystej. Gdyby jeszcze Autor zaproponował w Autoreferacie jakiś schemat przechodzenia od ogółu do szczegółu czyli od danych satelitarnych po fotogrametryczne (ALS LiDAR), to byłoby to bardziej spójne. W zaproponowanym podejściu oczekiwać można było bardziej użycia zobrażeń satelitarnych uznawanych za bardzo wysokorozdzielcze (tzw. VHRS; np. Neo-Pleiades, WV-3 ok. 30 cm GSD), na których byłaby szansa dokonywać detekcji większych obiektów (wykrotów) a nawet większych kłód. Rozdzielczość przestrzenna 10 m GSD wybranych kanałów Sentinel-2 nie jest w stanie zapewnić detekcji wykrotów aczkolwiek z powodzeniem może być stosowana do określania zasięgu zjawiska wiatrołomów czy wiatrołomów, co doktorant udowodnił, ale nie przeprowadził wszystkich eksperymentów na jednym obiekcie.

W rozdziale Metodyka (strona 15 Autoreferatu) Autor przedstawia grafikę (Ryc. 2) jednak nie jest to typowy „work-flow”, na bazie którego można zorientować się, co wynika z czego, a jedynie czytanie od lewej do prawej może nasunąć pewne wnioski. Brak numeracji bloków oraz brak podpisania typu danych teledetekcyjnych nie wspomaga procesu dedukcji i recenzji. Z grafiki wnioskować więc można, iż cały proces przeprowadzono w jednym miejscu, jednak tak się nie stało i do pierwszego etapu kartowania wiatrowałów wybrano teren w Kolorado (Góry Skaliste, USA) a dla pozostałych 2 Parki Narodowe w Polsce. Myślę, iż bardziej zrozumiałe byłoby skoncentrowanie się na tym samym obiekcie badań. Na obronę Autora prawdopodobnie zadziałały czynniki obiektywne, tj. brak gęstych danych ALS LiDAR dla obiektu badań w USA czy brak dużych obszarów wiatrowałów zarejestrowanych na obrazach Sentinel-2 dla obszaru Babiej Góry czy Gorców w ostatnich latach (okres pozyskiwania danych ALS).

Reasumując, uważam iż przedstawione w cyklu publikacje nr 2 i 3 byłyby w pełni wystarczające do stworzenia cyklu i bardziej spójne tematycznie i skoncentrowane na problemie kartowania wykrotów oraz biotransportu gleby. Poniżej przedstawiam ocenę publikacji zgłoszonych do cyklu.

Publikacja nr 1 (2025) - Godziek, J., Pawlik, Ł., & Buma, B. (2025). The Mapping and Analysis of the Infrequent, Large-Scale Blowdown Event in the Colorado Front Range. *Land Degradation & Development*, 36(10), 3604-3620. <https://doi.org/10.1002/ldr.5623>

W pierwszej publikacji cyklu (nr 1), która jak już wspomniałem tak naprawdę jest ostatnią opublikowaną pracą cyklu (2025), Autorzy postawili sobie za cel identyfikację uwarunkowań meteorologicznych i orograficznych, które spowodowały uszkodzenia wiatrowałowe lasów iglastych w Kolorado (Góry Skaliste, USA) oraz opracowanie metodyki kartowania powalonych drzewostanów w oparciu o zobrazowania średnio-rozdzielczego satelity Sentinel-2 (ESA) a także porównania uzyskanych wyników utraty obszarów leśnych (loss) do ogólnie dostępnego produktu Global Forest Change (FGC). Dodatkową przesłanką artykułu było pogłębienie zrozumienia wpływu topografii na efekt powalenia drzewostanów oraz zrozumienie związku pomiędzy naruszeniem struktury gleby a wielkością powalonych drzew.

Autorzy artykułu wykorzystali dwa zobrazowania Sentinel-2 (ESA) z podobnego okresu fenologicznego przed zdarzeniem w lipcu 2020 r. oraz po wiatrowale z lipca 2021 r.) celem uniknięcia wpływu zmian odbicia spektralnego roślinności niezniszczonej związanych z jej rozwojem. Każde zobrazowanie satelitarne składało się z 12 pasm spektralnych (choć co ciekawe S-2 charakteryzuje się 13 kanałami czyli pominięto jeden z nich). Wszelkie analizy prowadzono w rozdzielczości przestrzennej 10 m GSD odpowiednio przepróbkowując kanały o niższych rozdzielczościach (20 i 60 m GSD) do wyższej (10 m GSD).

Do klasyfikacji zniszczeń wiatrołomowych wybrano metodę znaną jako *Change Vector Analysis* (CVA; Solano-Correa et al. 2014; Zanetti et al. 2015). Metoda ta polega nie tylko na

wykryciu zmiany na obrazie, ale pozwala na ich kwantyfikację za pomocą wektora złożonego z dwóch elementów: kierunku/kąta (*dir*) i wielkości (*mgt*). Składowa kierunku (kąta; *direction*) jest wyliczana jest na podstawie względnej zmiany jasności (jaskrawości) analizowanych pojedynczych kanałów spektralnych. Składowa wielkości (*mgt*; *magnitude*) wyjaśnia wielkość zmiany na skali ciągłej (Bovolo i Bruzzone 2007; Solano-Correa i in. 2019) i odnosi się do wielkości zmiany obserwowanej wzdłuż wektora co jest interpretowane jako wielkość zmiany wynikająca z zaistniałego zakłócenia. Jako danych referencyjnych użyto ortofotomap lotniczych NAIP (USA), na których za pomocą narzędzi QGIS wylosowano 780 punktów walidacyjnych oddalonych od siebie co najmniej 20 m i manualnie wskazywano na uszkodzenie lub jego brak. Niestety, Autorzy publikacji nie podali jaka była data wykonania zdjęć lotniczych ani jaka była rozdzielczość przestrzenna (GSD) tych danych referencyjnych. Z charakterystyki produktów NAIP można założyć że było to 1.0 m lub 0.5 m GSD, co na warunki UE lub Polski raczej nie pozwala ich zaliczyć do wysokorozdzielczych ortofotomap lotniczych. Dane referencyjne mają podstawowe znaczenie w ocenie jakości wyników.

Łącznie Autorzy testowali 66 par jako kombinacji złożonych z 12 kanałów spektralnych (a nie 13?). Metoda zakłada połączenie wygenerowanych rastrów kierunku zmiany oraz wielkości zmiany. Najlepsze względem przyjętej referencji (780 punktów) okazała się kombinacja pary kanałów 11 oraz 12 czyli obu pasm SWIR S-2 (ESA) wskazującej pośrednio na wilgotność roślinności i gleb oraz potencjalnie na niektóre minerały w odsłoniętej glebie. W porównaniu do produktu GFC opartego na 30 m GSD obrazach Landsat (NASA) autorzy osiągnęli wynik na poziomie około 67% zgodności pozytywnej (FPR) i bardzo niskiego błędu (fałszywych detekcji FPR) poniżej 1% przy czym w przypadku GFC błąd FPR był 3x większy niż metoda CVA. Odpowiednie wartości zmiennych wynosiły $40 < drct < 47$ oraz $mgt > 0.1$. Testowanie innych pasm tj. kanału 5 i kanału 12 wykazało możliwości osiągnięcia wyższej zgodności (*true* – TPR) na poziomie 88,7% ale jednocześnie towarzyszyły tym wzrostom znacząco wyższe błędy (*false* - FPR) osiągające 17,8%.

Wyniki w zakresie wpływu reliefu na przebieg wiatrowału wykazały, iż lasy nieuszkodzone dominowały na wysokościach poniżej 3000 m n.p.m. i powyżej 3350 m n.p.m. Statystyki opisowe wykazały, że pierwszy kwartył, mediana i trzeci kwartył były wyższe dla obszarów wiatrowałów (3053, 3156 i 3239 m n.p.m.) niż dla lasów nieuszkodzonych (2952, 3098 i 3222 m n.p.m.). Rozkład nachylenia terenu dla obszarów powalonych i niepowalonych był podobny, co potwierdził brak istotności statystycznej ($p = 0,098$). W przypadku ekspozycji stoków zaobserwowano istotne różnice między obszarami uszkodzonymi i nieuszkodzonymi ($p < 0,0001$) gdzie wiatrowały zajmowały głównie ekspozycje NE (15° – 50°) choć występowały też na N i NW dość często.

W procesie badawczym realizowano też pomiary terenowe pod kątem wpływu wielkości wybranych parametrów taksacyjnych drzewostanów na zaburzenia gleby w obszarze AOI. Losowo wybrano powierzchnię kołową o promieniu 5 m, na której znajdowało się około 15 powalonych drzew, dla których zmierzono kierunek upadku drzewa, pierśnicę drzewa i wykroty (wysokość, szerokość i głębokość). Niestety była to tylko jedna dostępna

powierzchnia i jak sami Autorzy zauważają w publikacji nie powinna być traktowana jako reprezentatywna a jedynie pogładowa. Analizowano też pochodne NMT (1 m GSD) pod kątem wpływu orografii na powstałe wiatrołomy. Wyniki publikacji wskazują także, iż na 60 pomierzonych wykrotach obliczona objętość gleby zgromadzonej wokół wyrwanych korzeni była stosunkowo niewielka i wahała się w zakresie 0,1–0,8 m³. Największy wykrot korzeniowy miał objętość 1,29 m³ choć dotyczył dwóch przerośniętych korzeniami drzew. Określono, że wielkość wykrotu była wprost proporcjonalna do powierzchni przekroju pierśnicowego drzewa (g_{1.3}) wykazując wartość R² = 0,7. Pomierzony azymut 75 powalonych kłód (71 związanych z wykrotami i 4 połamanych pni) wykazał, iż prawie wszystkie drzewa przewróciły się w kierunku NW, SW lub W (najczęstszy przedział azymutu 275° do 305° oraz 245° do 255°). Jednocześnie Autorzy zwracają uwagę, iż wielkości wykrotów w Górach Skalistych były znacznie mniejsze od tych spotykanych w Europie co może wynikać zarówno z innego składu gatunkowego jak również dość płytkiej gleby.

Pomimo, iż jak deklarują Autorzy, publikacja nr 1 cyklu była pierwsza implementacją metody CVA w USA, to jednak trzeba zauważyć, iż istnieje wiele podejść metodycznych klasyfikacji obrazów satelitarnych. Poza podejściem pikselowym jakie zostało zaprezentowane w publikacji istnieje szereg innych być może bardziej sprawnych i analizujących wiele zmiennych jednocześnie jak choćby metody ML czy podejście obiektowe (GEOBIA). Autorzy nie porównywali swoich wyników CVA do innych niż GFC ani też nie testowali innych metodyk, stąd unikatowość metody CVA jako pierwszej w USA nie może być zdaniem recenzenta stawiana jako „oryginalne” rozwiązanie, gdyż jest w zasadzie implementacją metody (nie zmodyfikowanej) w innej lokalizacji geograficznej, mało różniącym się od ekosystemów leśnych gór Europy, gdzie była wcześniej używana. W zasadzie użycie w każdym innym kraju też by można uznać za oryginalne a przecież oryginalność nie polega na miejscu a metodzie. Niewątpliwie jednak metoda CVA ma swoje zalety w sytuacji braku zestawu powierzchni uczących i testujących w dużej liczbie jakich wymagają metody z zakresu ML czy AI. Trudno dostępny teren po wiatrowale stwarza zagrożenia dla osoby zbierającej dane in situ, stąd poszukanie metod detekcji zmian niezależnych od danych uczących (treningowych) działających uniwersalnie w różnych strefach geograficznych i w różnych ekosystemach jest godne uwagi. Produkt GFC ma swoje zalety pomimo, iż ma sporo wad związanych ze stosunkowo niską rozdzielczością przestrzenną (zależna od Landsat 30 m GSD) i czasową (potencjalnie co 16 dni), stąd każda demonstracja praktycznego użycia europejskich satelitów z programu Copernicus (np. Sentinel-2 ESA) jest godne pochwały, gdyż zarówno ich rozdzielczość przestrzenna (dostępne kanały 10m GSD) jak i czasowa czy spektralna są znacznie lepsze niż serie Landsat (NASA), aczkolwiek nie oferują one pasma TIR.

Publikacja nr 2 - Godziek, J. (2024). Root plates of uprooted trees – Automatic detection and biotransport estimation using LiDAR data and field mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 131, 103992. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103992>

W jedno-autorskim artykule numer 2 (2024) przedstawiono i zweryfikowano innowacyjną, zautomatyzowaną metodę wykrywania i kwantyfikacji objętości wykrotów korzeniowych drzew powalonych przez wiatr przy wykorzystaniu bardzo gęstych chmur punktów lotniczego skanowania laserowego ALS LiDAR, wypełniając tym samym istniejącą lukę metodologiczną w dziedzinie zarówno ekologii lasu jak i geomorfologii (morfometrii). Zastosowanie nowoczesnych technologii teledetekcyjnych opartych na całkowicie nowym paradygmacie jakim jest precyzyjne pomiarowa chmura punktów 3-D do kartowania wykrotów świerkowych w polskich Karpatach umożliwiła przeprowadzenie obiektywnej analizy zjawiska biotransportu polegającego na przemieszczaniu gleb i fragmentów skały macierzystej. Innowacyjnością w tego typu badaniach środowiskowych jest fakt, iż zastąpił on z powodzeniem tradycyjne czaso- i kosztochłonne kartowanie terenowe.

Do swoich badań Autor wybrał obszary w 2 Parkach Narodowych (Babiogórski i Gorczański PN) dla których istniały repozytoria wyjątkowo gęstych chmur punktów ALS LiDAR pochodzących z projektów realizowanych z funduszy UE oraz NFOŚ. Łącznie Doktorant realizował badania na 1 ha obiektach, tj. w dwóch zlokalizowanych w BgPN oraz jednym w GPN. We wszystkich wypadkach były to obszary po rozpadzie drzewostanów zdominowanych przez świerka pospolitego, które finalnie uległy powaleniu przez wiatr. Wykorzystane chmury punktów ALS LiDAR charakteryzowały się bardzo wysoką gęstością tj. około 56 pkt/m² w BgPN do 132 pkt/m² w GPN. Autor nie bazował na przekazanej klasyfikacji chmur lecz przeprowadził ją samodzielnie w środowisku R (pakiety m. in. lidR) wykorzystując zaimplementowane algorytmy do klasyfikacji gruntu oraz w konsekwencji innych klas roślinności). W ramach prac terenowych Doktorant pozyskał dane referencyjne wykorzystując w tym celu odbiornik GNSS, podając lokalizacje łącznie 317 wykrotów korzeniowych z deklarowaną dokładnością $\pm 0,05$ m.

W tym miejscu recenzent dokona krótkiego komentarza: Autor niestety nie wspomina nic o typie odbiornika GNSS i metodzie samego pomiaru, na przykład czy był on realizowany w trybie post-processing czy też w trybie RTK. Nie jest jasne, czy podana dokładność 5 cm odnosi się do współrzędnych XY czy też rzędnej Z, która odwrotnie niż w przypadku chmur punktów ALS LiDAR jest obciążona błędem większym niż rzędne płaskie (zwykle 150% błędu). W rozumieniu recenzenta dokładność pomiarowa RMS XYZ nawet rzędu ± 10 cm jest w pełni akceptowalna gdyż przy gęstości chmury ALS około 50 pkt/ 1 m² odległości pomiędzy punktami (zakładając ich równomierność) wynoszą około 15 cm XY. Tak więc niezmiernie trudno jest zweryfikować nawet dokładność chmury punktów w drzewostanie na wiatrowale ze względu na brak typowych obiektów na jakich dokonuje się walidacji (dachy przeciwstawne połączone budynków). Reasumując, w pracach naukowych należy podawać pełną charakterystykę sprzętu (łącznie z producentem), metod pomiarowych a nawet oprogramowania co zwykle jest wymagane przez redaktorów czasopism.

Doktorant innowacyjne kartowanie wykrotów oparł na modelu różnicowym (DM = NMPT - NMT), przez co udało mu się wyizolować obiekty < 2.0 m od gruntu (wykroty korzeniowe, pniaki, kłody oraz niską niską roślinność). Na bazie znormalizowanego modelu

(zNMPT < 2.0m) wygenerował on linie warstwiczne w określonym cięciu, które identyfikowały potencjalne poligony wykrotów, następnie poddawane filtracji przy zastosowaniu empirycznych progów powierzchni oraz zwartości. Podejście walidacyjne zostało krok po kroku zoptymalizowane ale jak rozumiem nie zautomatyzowane. Łącznie doktorant przetestował 1454 kombinacji reguł w celu uzyskania najlepszego kompromisu pomiędzy wskaźnikiem poprawności wykrywalności (*positiv*) a liczbą fałszywych (*false*) detekcji, a następnie zweryfikował je przy użyciu zestawu danych referencyjnych kartowanych w terenie wykrotów (pomiar GNSS). Autor porównał trzy różne metody szacowania objętości (biotransportu gleby i skał) przy zastosowaniu podejścia: wzoru na pół-elipsę (pomiar terenowy) oraz metody oparte na LiDAR: warstwicach (CNT – contour lines) oraz analizach strefowych (ZS – Zonal Statistics), którą w sumie można nazwać metodą wokselową, gdyż sumowała ona wartości znormalizowanych wysokości wykrotów reprezentowanych przez piksele o oczku 25 cm. Otrzymane wyniki wskazały na wysoką skuteczność zaproponowanych autorskich metod detekcji uzyskując poziom sukcesu w zakresie 70,3% do 79,1% w stosunku do wykrotów korzeniowych skartowanych w terenie (odbiornik GNSS). Najmniejsze błędy detekcji wykrotów występowały w terenach pozbawionych roślinności drzewiastej (około 22% błędów detekcji - „false”) a w terenach z odnawiającym się drzewostanem, wartości błędów rosły aż do 40%. Objętości brył tworzonych przez wykroty obliczane na bazie pochodnych z chmur punktów ALS LiDAR były systematycznie wyższe niż wyniki oparte na pomiarze terenowym. Średnia objętość obliczana metodą warstwic (CNT) wyniosła 2,99 m³, a wokselową (ZS) - aż 3,35 m³ przy czym pomiary terenowe wykazywały wartości średnie na poziomie 2,2 m³. Przyczyna tych rozbieżności prawdopodobnie tkwiła w uwzględnianiu odbić plamki LiDAR od roślinności zielnej i odnowienia czyli niewłaściwej klasyfikacji czy filtracji. Być może bardziej właściwe byłoby poluzowanie reguł klasyfikacji gruntu umożliwiając zwiększenie kata interakcyjnego pomiędzy sąsiadami i wygenerowanie niewłaściwego przebiegu gruntu obejmującego także wykroty a potem odjęcie NMT generowanego na modelach historycznych (np. z lat 2012-2014). Oczywiście, zdaniem recenzenta metod dojścia do zamierzonego celu jest co najmniej kilka jak choćby w pierwszej kolejności normalizacja chmury punktów lub wspomniana zmiana (adaptacja) reguł klasyfikacyjnych a nawet użycie algorytmów ML/AI (podejście współczesne stosowane już szeroko w oprogramowaniu komercyjnym).

Doktorant zaproponował bardzo interesującą analizę pod kątem testowania optymalnej gęstości chmury punktów ALS LiDAR dla celów efektywnej detekcji i uniknięcia błędów wskazania wykrotu drzewa. Wskaźnik wykrywalności wykrotu korzeniowego osiągnął najwyższy poziom w przypadku gęstości chmury punktów ALS w zakresie 8 do 20 pkt/m². Odsetek wyników fałszywie dodatnich zmniejszał się wraz ze wzrostem gęstości chmury punktów. Najwyższy wskaźnik wykrywalności wykrotów > 85% osiągnięto w Gorcach (G1) w przypadku zestawu chmury punktów wynoszącej 20 pkt/m². W przypadku obiektu testowego na Babiej Górze (B1) najwyższy wskaźnik wykrywalności wyniósł niemal 80% przy gęstości zaledwie 17 pkt/m². Co ciekawe w przypadku obiektu B2 chmura ALS o gęstości 8 pkt/m² dawała najwyższy wskaźnik wykrywalności 75%. Gdy gęstość chmury punktów ALS rosła w zakresie 18–25 pkt/m² to wykrywalność wykrotów spadała. W Gorcach (G1) sytuację taką

obserwowano w przedziale gęstości chmury punktów wynoszącym 20–30 pkt/m². Na wszystkich badanych obiektach (B1, B2 oraz G1) gęstości chmury punktów > 25 pkt/m², powodowały, iż wskaźnik wykrywalności wykrotów był stały i oscylował na poziomie 70 do 85%. Spadek udziału wyników fałszywie dodatnich był największy w przedziale gęstości chmury punktów wynoszącym 0,1–18 pkt/m². Jak się więc okazuje dążenie do możliwie wysokiej gęstości chmur punktów niekoniecznie przynosi liniowy wzrost sukcesu wykrywania wykrotów a zbyt duża liczba punktów LiDAR zaczyna sprawiać kłopot (niekoniecznie ze względu na wzrost mocy obliczeniowych ale ilość rejestrowanych odbić np. od wysokich traw). Być może tak różne wyniki pomiędzy obiektami wynikają z różnej struktury pionowej drzewostanu i faz rozpadu lub regeneracji. Te dwie chmury punktów ALS były wykonywane innym sprzętem przez różnych wykonawców stąd trudno je z sobą porównywać i wcześniej musiałyby zostać poddane harmonizacji pod kątem choćby gęstości.

Zaproponowana przez Doktoranta w artykule nr 2 metodologia **stanowi niezmiennie innowacyjne narzędzie w badaniach z zakresu geomorfologii, gleboznawstwa, leśnictwa czy zarządzania zasobami naturalnymi, umożliwiając obiektywne i skuteczne monitorowanie zdarzeń związanych z wywrotami drzew, przemianami gleby i poznaniem historii drzewostanów podlegających zaburzeniom**. Proponowane podejście metodyczne jest szczególnie przydatne w przypadku obszarów chronionych, choć z pewnością wymaga testowania w różnych warunkach środowiskowych przy udziale innych gatunków lasotwórczych w górach (np. dla buka wrażliwego na śniegołomy w sytuacji posiadania ulistnionej korony i przedwczesne opady śniegu). Należy pamiętać, że zmiany klimatu prowadzą do coraz częstszego powstawania ekstremalnych zjawisk jak nawałne wiatry (tornado, huragany) przez co nawet odporne obecnie na wiatr gatunki (np. modrzew będący swoistym żebrzem usztywniającym drzewostany świerkowe przed „efektem domina” wiatrołowałów, czy też jodła o silnym sercowym systemie korzeniowym) mogą nie poradzić sobie ze zbyt dużą siłą wiatru. Badania nad automatyzacją kartowania wykrotów pozwalają także na szerokie wykorzystanie produktów pochodnych w modelowaniu hydrologicznym (choć niektóre procesy modelowania takie jak *pit-filling* czy *pit-carving* dążą właśnie do pozbycia się zagłębień będących efektem wykrotów w procesie przygotowania NMT do modelowania kierunku i akumulacji spływu).

Publikacja nr 3 (2023) - Godziek, J., & Pawlik, Ł. (2023). Indicators of wind-driven forest disturbances – pit-mound topography, its automatic detection and significance. *CATENA*, 221, 106757. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106757>

Artykuł przedstawia i testuje nowatorską metodę automatycznego wykrywania zagłębień i pagórków w środowisku leśnym przy użyciu chmur punktów ALS LiDAR o bardzo wysokiej gęstości. Powstające w wyniku działania wiatru wykroty korzeni drzew generują dynamikę mikrorzeźby terenu, które są bardzo ważne w badaniach nad zaburzeniami w obszarach leśnych i w badaniach procesów ekologicznych jak np. regeneracją zbiorowisk leśnych czy dynamiką procesów hydrologicznych i glebowych. Autorzy artykułu wybrali dwa obszary testowe położone w Babiogórskim Parku Narodowym, tj. obiekt Markowa

(powierzchnia 62,5 ha) i obiekt Stonów (44,9 ha) – położone na północnych stokach masywu Babiej Góry w Karpatach Zachodnich. Obiekt Markowa (wysokość w przedziale 779 do 911 m n.p.m.) charakteryzował się drzewostanami w młodszych klasach wieku (30–55 lat) złożonych głównie ze świerka pospolitego i jodły pospolitej. Obiekt badawczy Stonów (wysokość 799 do 905 m n.p.m.) posiadał znacznie starsze drzewostany (świerk pospolity w wieku 130 lat oraz buk zwyczajny – wiek 120 lat). Obszar testowy Markowa był już wcześniej prawdopodobnie dotknięty wiatrowałem bądź gradacją owadów co było przyczyną relatywnie młodego wieku drzewostanów na obszarze chronionym (BgPN). Wiek (zweryfikowany przez recenzenta w bazach BgPN) nie potwierdza aż tak odległej przyczyny (podawany jest rok 1936) a raczej wskazuje na usunięcie poprzednich drzewostanu w latach 90-tych czyli już w okresie istnienia BgPN.

W procesie kartowania zagłębień i pagórków jako pozostałości po wykrotach wykorzystano chmury punktów dostępne w repozytoriach pzgik pochodzących z lat 2012 oraz 2014 (projekt ISOK). Gęstość chmury punktów ALS wyniosła ok. 4 pkt/m², przy zapewnieniu dokładności pionowej (Z) lepszej niż 0,15 m oraz poziomej (XY) ok. 0,5 m. Autorzy wykorzystali środowisko R oraz pakiet „lidR” do generowania 3 modeli wysokościowych NMT o rozdzielczości przestrzennej: 0,5 m, 0,25 m oraz 0,10 m GSD przy czym wykorzystano wyłącznie punkty zaklasyfikowane do klasy 2 „grunt” oraz 9 „obszary pod wodami”. Generowanie modeli o rozdzielczości 10 cm GSD przy założeniu że punkty znajdują się od siebie w odległości około 75-100 cm jest dość ryzykowne, gdyż nie wszystkie odbicia dochodzą do gruntu w drzewostanie albo też nie wszystkie są wykorzystywane przez algorytm (to z kolei uzależnione było od wykonawcy nalotu i przekazywanego modelu do pzgik).

W rozumieniu recenzenta, klasyfikacja chmury punktów jaką pobrano z pzgik nie podlegała edycji czy weryfikacji przez autorów artykułu. Wygenerowano dodatkowo kilka pochodnych NMT, tj. warstwy: spadków terenu, ekspozycji, wskaźnika ekspozycji na wiatr (WEI), wskaźnika wilgotności topograficznej (TWI) oraz wskaźnik heterogeniczności (nierówności) topograficznej (TRI). Wygenerowano także rastrową warstwę Indeksu Pozycji Topograficznej (TPI), która świetnie wskazuje występujące koło siebie ekstrema (pozytywne i negatywne) aproksymowanej rzeźby terenu (pagórki – pozytywne wartości wyższe niż średnia wysokość; zagłębienia – negatywne wartości).

W artykule zaproponowano metodę hipsometryczną (CM) do detekcji par zagłębień i pagórków jako pozostałości wykrotów korzeniowych w następujących krokach metodycznych:

- Wyodrębnianie zamkniętych warstw: na podstawie modeli NMT generowano zamknięte linie warstwowe w trzech cięciach: 0,25 m; 0,1 m oraz 0,05 m.
- Filtrowanie według długości warstwy: zachowano tylko warstwy w wybranych zakresach długości (1,5 do 25 m; 2,5 do 20 m oraz 3,5 do 15 m), odpowiadające oczekiwanym rozmiarom zagłębień / pagórków (kopców).

- Konwersja wielokątów: zamknięte linie warstwiczne przekształcono w poligony, z których każdy był potencjalnym zagłębieniem lub kopcem.
- Klasyfikacja: każdy poligon sklasyfikowano następnie jako „zagłębienie” lub „pagórek” poprzez porównanie odległości najwyżej i najniżej położonego punktu od granicy poligonu.
- Parowanie: zagłębienia i pagórki oddalone od siebie o mniej niż 1,5 m zostały ze sobą sparowane, odzwierciedlając fizyczne relacje występujące w naturze.
- Wariantowanie: przetestowano 27 kombinacji (wszystkie permutacje rozdzielczości przestrzennej NMT, interwału cięcia warstwicznego i interwału jej długości).

Manualną ekranową walidację wyników prowadzono na drodze identyfikacji par zagłębień i kopców na łącznie dziesięciu 1 ha poletkach badawczych (po 5 poletek na obszar badań), przy użyciu indeksu pozycji topograficznej (TPI) i warstw generowanych z modelu NMT jako pomocy wizualnej. W tym miejscu recenzent chciałby zwrócić uwagę, iż lepiej jest używać słowa „zwiększenie automatyzacji” niż „automatyzacja”, która kojarzy się z procesem całkowicie pozbawionym ingerencji operatora. Przy obecnym stanie zaawansowania algorytmów w tym i prezentowanych pracach raczej mamy do czynienia z tzw. semi-automatycznymi procesami na określonych fragmentach procesu (*work-flow*).

Wyniki detekcji zmian mikrorzeźby jakie otrzymali Autorzy przy wykorzystaniu standardowej chmury punktów ALS LiDAR z zasobów pzgik (Standard I; 4 pkt/m²) są zaskakująco dobre, gdyż tą autorską metodą wykryto więcej par zagłębień i pagórków niż w przypadku wzrokowej ekranowej wektoryzacji, zwłaszcza w terenie o niewielkim spadku. Najlepszym wariantem w metodzie CM okazał się NMT o rozdzielczości 0,1 m GSD, interwale cięcia warstwicznego 0,05 m oraz długości konturów 1,5 do 25 m). W obiekcie Markowa wykryto 95,2% zagłębień i 90,5% pagórków oraz 85,7% wszystkich par (zagłębienie/pagórek). W obiekcie Stonów wyniki były jeszcze lepsze i wynosiły odpowiednio: 96,9%, 93,8% i 90,6% dla par. Wzorce przestrzenne mikrorzeźby można opisać poprzez gęstość zagłębień i pagórków, która wynosiła maksymalnie 16,5 par/ha (obiekt Markowa) oraz 12,8 par/ha (obiekt Stonów) i była wyższa na terenie o mniejszym spadku niż na bardziej stromych zboczach. Procesy przemieszczania się materiału glebowego działają szybciej i miejsca te uległy zatarciu (gromadzenie się biomasy w zagłębieniach) i erozja pagórków. Autorzy łącznie przetestowali 27 wariantów algorytmów. Wskaźniki wykrywalności mikrorzeźby były najwyższe przy NMT o najwyższej rozdzielczości przestrzennej i najmniejszym cięciu warstwicznym.

Zaprezentowane przez Autorów publikacji podejście oparte na analizie hipsometrii generowanej z wysokorozdzielczych modeli NMT (ALS LiDAR) umożliwia uzyskanie wysokiej dokładności i zapewnienie obiektywnego kartowania topografii zagłębień i pagórków powstałych w wyniku powstania wykrotów korzeniowych spowodowanych silnym wiatrem. Metoda sprawdziła się najlepiej w przypadku łagodnie nachylonych stoków, wykrywa więcej obiektów niż metody wzrokowej wektoryzacji ekranowej i ułatwia znacznie badania ekologiczne i geomorfologiczne na większych obszarach, szczególnie trudnodostępnych.

Uwagi ogólne do publikacji

W opinii recenzenta w zakresie oceny autorskiej metodologii badań wykrotów, istnieje oczywiście wciąż wiele ograniczeń zarówno od strony jakości (głównie gęstości) chmury punktów LiDAR jak i ich klasyfikacji zależnej z kolei od wielu parametrów. Szczególnie trudno jest utrzymać homogeniczność gęstości rozkładu przestrzennego chmury punktów regularność impulsów w leśnych terenach górskich. Dodatkowo istnieje wiele problemów z penetracją wiązki LiDAR przez gęste drzewostany iglaste (np. jodłowo-świerkowe) czy utrudnienia powodowane wielopiętrową budową „starolasów” jak też występującym podszytem lub podrostem i runem leśnym (np. gęste zbiorowiska paproci, jeżyny czy borówki czernicy i innych roślin generujących zwartą warstwę pokrywającą grunt) a także zalegającymi na gruncie gałęziami, połamanyimi kłódami czy drewnem martwym.

Dodatkowe ograniczenia powodowane są stosowaniem przez wykonawców ALS LiDAR różnych algorytmów (programów) do klasyfikacji chmur punktów, szczególnie najważniejszej klasy jaka jest „grunt” (nr 2 wg ASPRS). Zdarza się bowiem, iż algorytmy mają wprowadzone takie ustawienia, które powodują „wygładzanie” gruntu poprzez pomijanie w detekcji punktów kluczowych albo też aproksymują powierzchnię gruntu zbyt wysoko „wspinając” się np. po przylegających do gruntu leżących kłódach drzew czy nasadach pni (niepoprawnie ustawione kąty interakcyjne). Ważne jest więc, aby przed przystąpieniem do analiz poprawności NMT zweryfikować poprawność klasyfikacji klasy „grunt” w chmurze ALS LiDAR szczególnie w trudnych terenach leśnych i najlepiej aby taki obszar poddać lustracji terenowej w celu zrozumienia potencjalnych problemów z klasyfikacją. Walidacja danych wysokościowych zgromadzonych w pzgik polega na pomiarze GNSS (także w obszarach leśnych), które powodują często duże problemy z odbiorem sygnału od satelitów czy danych korekcyjnych z sieci RTN. Stosowanie więc odbiorników GNSS nawet klasy geodezyjnej w drzewostanach o dużym zwarcie i wysokiej biomasie często napotyka duże problemy ze względu na przesłonięcie widoczności do satelitów zarówno przez pni i korony drzew jak i rzeźbę terenu (np. północne stoki Babiej Góry bardzo utrudniają obserwacje południowego horyzontu w reglu górnym). Dodatkowym ograniczeniem jest często brak sygnału GSM przy stosowaniu korekcji przy pomiarach RTK, co dziś częściowo można próbować rozwiązywać tworzeniem lokalnych stacji korekcyjnych z nadajnikiem radiowym ustawionym na grani lub wykorzystania dostępu do sieci Internet przez konstelację Starlink.

Tak czy inaczej najważniejszym parametrem okazują się być: gęsta, dobrze wyrównana chmura punktów ALS LIDAR o odpowiedniej gęstości zapewniająca odpowiednią penetrację drzewostanu i podszytu (także podrostu i runa) oraz sprawdzone algorytmy klasyfikacji, a także duże doświadczenie operatora i znajomość terenu.

Część uwag szczegółowych, które przedstawiłem powyżej nie mają charakteru obniżającego treść dysertacji a są jedynie polemiką z Autorem i współautorami.

Na całościowa moją ocenę dysertacji składa się wiele czynników a wśród nich, m.in.:

- odpowiednio zaplanowane badania;
- innowacyjność technologiczna w badaniach geomorfologicznych;
- wykorzystanie do badań narzędzi i danych ALS LiDAR oraz zobrazowań satelitarnych S-2 ESA;
- opanowanie nietatwego warsztatu geoinformatycznego;
- rozumienie złożonych procesów przyrodniczych zachodzących na przestrzeni i w czasie w leśnych ekosystemach górskich podlegającym gwałtownym przemianom;
- pozyskanie danych referencyjnych *in situ*;
- umiejętne wnioskowanie na bazie uzyskanych wyników.

Konkluzja

Po przeanalizowaniu przedłożonej dysertacji o dobrych podstawach w zakresie metodycznym jak i wnikliwych analizach uzyskiwania optymalnie dokładnych wyników klasyfikacji obrazu czy też w zakresie stosowania chmur punktów ALS do analiz morfometrycznych oraz przeprowadzonych badań *in situ* – **stwierdzam jednoznacznie, że wkład Doktoranta w zakresie nauk związanych z kartowaniem obszarów wiatrowałów, detekcją wykrotów korzeniowych, oceny ich objętości oraz zmian mikrorzeźby „kopce-zagłębienia” na bazie wielo-źródłowych danych teledetekcyjnych (satelitarnych Sentinel-2 ESA oraz ALS LiDAR), retrospektywnych danych klimatycznych, zmiennych topograficznych oraz danych referencyjnych - w celu opracowania uniwersalnej metodyki oceny zmian w morfometrii obszarów podlegających wiatrowałom - jest znaczący.**

Przedstawiona rozprawa doktorska Pana mgr Janusza Godźka jest oryginalnym rozwiązaniem istotnego problemu naukowych badań nad kartowaniem obszarów wiatrowałów w obszarach górskich jak też ich efektów wywieranych w zakresie zmian mikrorzeźby i biotransportu materiału glebowego i skalnego z wykorzystaniem zarówno optycznych zobrazowań satelitarnych jak i chmur punktów ALS LiDAR oraz pochodnych z modelowania morfometrycznego a także pomiarów terenowych (*in situ*).

Wątpliwości recenzenta nie budzi wiedza Doktoranta oraz samodzielność prowadzenia badań naukowych z zakresu przetwarzania i modelowania zobrazowań satelitarnych oraz chmur punktów ALS LiDAR, w tym syntezy wyników - **w zakresie Dyscypliny Naukowej Nauki o Ziemi i Środowisku, szczególnie w zakresie kartowania rozpadu drzewostanów jako efektu wiatrów nawalnych oraz ich skutków dla mikrorzeźby gruntu poprzez detekcję i kwantyfikowanie wykrotów korzeniowych drzew pod kątem ilościowym, przestrzennych wzorców oraz objętości materiału podlegającemu przemieszczeniom (biotransportowi).**

Tym samym stwierdzam, iż recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pana mgr Janusza Godźka, przygotowana pod opieką jego promotora - Pana dr hab. Łukasza Pawlika (UŚ) oraz Promotora Pomocniczego – Dr Brian Buma (UC; USA) - spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) - w związku z czym, wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Nauk o Ziemi, Wydziału Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk o Ziemi i środowisku.



Signed by /
Podpisano przez:

Piotr Węzyk

Date / Data:
2026-01-12 23:51

dr hab. inż. Piotr Węzyk, prof. URK