

Kraków, 20.04.2024

dr hab. inż. Krystian Koziół, prof. AGH  
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**kpt. mgr inż. Wojciech DAWID**

pt.

**„OPRACOWANIE METODYKI WYZNACZANIA  
PRZEJEZDNOŚCI TERENU PRZY UWZGLĘDNIENIU  
MIKORZEŻBY”**

Recenzję wykonano na podstawie pisma z dnia 21 lutego 2024 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej, Geodezji i Transportu Pana płk prof. dr hab. inż. Michała Kędzierskiego oraz stosownych umów o dzieło.

Rozprawa doktorska mgr inż. Wojciecha DAWIDA przedstawia zagadnienia związane z opracowaniem metodyki wyznaczania przejezdności terenu przy uwzględnieniu mikrorzeźby terenu, a jej promotorem jest płk dr hab. inż. Krzysztof POKONIECZNY Prof. WAT oraz promotorem pomocniczym ppłk dr inż. Marek WYSZYŃSKI,

Planowanie operacji reagowania kryzysowego stanowi jeden z kluczowych elementów zapewnienia skuteczności działań ratowniczych oraz operacyjnych w sytuacjach kryzysowych. Wymaga ono nie tylko dogłębnej analizy dostępnych zasobów i potencjału reakcji, ale również szczegółowego zrozumienia warunków w jakich działania będą realizowane. Istotnym aspektem, który zyskuje na znaczeniu w kontekście skutecznego planowania i realizacji operacji, jest uwzględnienie ukształtowania terenu. Teren, jego specyfika i mikrorzeźba, stają się kluczowymi czynnikami, które mogą determinować zarówno możliwości poruszania się jednostek reagowania kryzysowego, jak i efektywność prowadzonych działań. Rozwój technologii w ostatnich latach, a w szczególności postępy w dziedzinie lotniczego skaningu laserowego otworzyły nowe możliwości w zakresie precyzyjnego modelowania terenu. Lotniczy skaningu laserowy, znany także jako LiDAR (Light Detection and Ranging), pozwala na tworzenie szczegółowych numerycznych modeli terenu (NMT). Te wysokiej rozdzielczości modele oferują bezprecedensowy wgląd w strukturę terenu, umożliwiając detekcję i analizę nawet najdrobniejszych elementów mikrorzeźby. Jest to o tyle istotne, że mikrorzeźba terenu może mieć znaczący wpływ na możliwości poruszania się pojazdów terenowych oraz na planowanie dróg ewakuacyjnych i tras dostaw pomocy. Współczesne systemy informacji geograficznej (GIS)

wykorzystują te zaawansowane modele terenu, oferując narzędzia do zautomatyzowanego przetwarzania danych i detekcji przeszkód terenowych. Dzięki temu, planowanie operacji reagowania kryzysowego może być znacznie usprawnione przez automatyzację procesów analizy terenu, co pozwala na szybką ocenę warunków terenowych i identyfikację potencjalnych problemów.

Jednak mimo tych zaawansowanych narzędzi i technologii, istnieje szereg wyzwań związanych z modelowaniem przejezdności terenu. Wiele z istniejących rozwiązań pozwala jedynie na ogólną ocenę warunków przejezdności na wybranych obszarach, nie uwzględniając w pełni wpływu mikrorzeźby terenu w kontekście przestrzennym. Ponadto brakuje narzędzi, które w czasie rzeczywistym umożliwiałyby wyznaczanie optymalnych tras dla różnych rodzajów pojazdów kołowych, biorąc pod uwagę nie tylko istniejące drogi, ale również przejezdność bezdroży z uwzględnieniem mikrorzeźby. Rozwój technologii i metod analizy terenu niesie za sobą potencjał do przekształcenia sposobu, w jaki podejmowane są decyzje w kontekście planowania i realizacji operacji reagowania kryzysowego. Istnieje potrzeba opracowania nowych modeli i algorytmów, które pozwolą na integrację danych z numerycznych modeli terenu z innymi zmiennymi, takimi jak typy pojazdów, ich możliwości terenowe, a także dynamiczne zmiany w środowisku, takie jak pogoda czy zmiany sezonowe. Taki zintegrowany system umożliwiłby nie tylko dokładniejsze modelowanie przejezdności terenu, ale również oferowałby możliwość wyznaczania tras w czasie rzeczywistym, dostosowanych do bieżących warunków i specyfiki operacji. Na przestrzeni najbliższych lat możemy spodziewać się dalszego rozwoju technologii skaningu laserowego i systemów GIS, co przyniesie nowe możliwości w zakresie analizy i modelowania terenu. Kluczowe będzie jednak stworzenie wielodyscyplinarnych zespołów ekspertów - geografów, informatyków, specjalistów ds. zarządzania kryzysowego - którzy wspólnie będą pracować nad nowymi rozwiązaniami. Dzięki temu możliwe będzie nie tylko dokładniejsze rozumienie wpływu terenu na operacje reagowania kryzysowego, ale także rozwój nowych narzędzi i metod, które uczynią te operacje jeszcze bardziej efektywne i bezpieczne.

Podsumowując, planowanie operacji reagowania kryzysowego w obliczu rosnącego skomplikowania sytuacji kryzysowych wymaga nieustannego dostosowywania metod i narzędzi do nowych wyzwań. Uwzględnienie ukształtowania terenu i jego wpływu na możliwości działania stanowi kluczowy element tego procesu. Rozwój sztucznej inteligencji oraz technologii lotniczego skaningu laserowego oraz systemów informacji geograficznej otwiera nowe perspektywy w tym zakresie, oferując możliwość lepszego zrozumienia i wykorzystania terenu w planowaniu i realizacji działań ratowniczych. Wyzwaniem pozostaje jednak integracja i wykorzystanie tych narzędzi w praktycznych aplikacjach, co będzie wymagało ciągłej pracy i innowacji.

Tematyka rozprawy jest zatem aktualna i mieści się w dyscyplinie, w ramach której została zgłoszona. W trakcie badań wykorzystano, w sposób prawidłowy, różne metody badawcze, począwszy od krytycznej i systematycznej analizy literatury, poprzez metodę eksperymentu i prototypowania, aż po metody statystyczne, analizy i syntezy do opracowania wyników.

Opracowanie metodyki szczegółowych map przejezdności terenu zostało zrealizowane na fundamentach geometrii analitycznej w przestrzeni trójwymiarowej, wykorzystując do tego celu

wysokorozdzielcze numeryczne modele terenu (NMT) oraz parametry trakcyjne pojazdów. Głównym założeniem metody było zamodelowanie płaszczyzny podwozia analizowanego pojazdu i przeprowadzenie analizy potencjalnego zahaczenia o podłoże w różnych miejscach terenu. W toku prac wykazano, że opracowana metoda efektywnie identyfikuje obszary nieprzejezdne, potwierdzając przydatność modelowania w określaniu ograniczeń przejezdności. Dodatkowo udowodniono, że optymalne rezultaty można osiągnąć przez zastosowanie danych wysokościowych o rozdzielczości 1 metra, uzyskanych za pomocą lotniczego skaningu laserowego LIDAR. Ta konkluzja podkreśla znaczenie precyzji danych wysokościowych oraz zaawansowanych technik analizy terenu w procesie projektowania map przejezdności, otwierając nowe perspektywy dla planowania operacji w terenie z uwzględnieniem specyfiki i ograniczeń ruchu pojazdów. Warto zwrócić uwagę na użyteczny charakter przedstawionych badań. Autor zaproponował metodykę opracowania szczegółowych map przejezdności terenu oraz przeprowadził odpowiednie eksperymenty.

## 1. Ocena merytoryczna i opis przeprowadzonych badań

Recenzowana rozprawa składa się ze streszczenia, pięciu rozdziałów merytorycznych oraz załączonych publikacji, stanowiących zasadniczą część rozprawy. Rozdział 1 pełni rolę wprowadzenia, ostatni piąty rozdział przedstawia podsumowanie i wnioski. Publikacje w całości wraz z oświadczeniami współautorów o udziale stanowią załączniki. Całość wydana jest w formie monografii zawierającej łącznie ze spisami 58 stron + załączone publikacje i oświadczenia.

Rozprawa rozpoczyna się od wprowadzenia w rozdziale pierwszym do problematyki dysertacji, przedstawiając zapotrzebowanie na automatyzację procesów w zakresie podjętego przez Doktoranta przedmiotu badań. Wprowadzenie ukierunkowane jest na przedstawienie genezy tematu oraz problematyki badawczej w tym zakresie w literaturze światowej, uzasadniając podjęcie badań przedstawionych w rozprawie i zmierzając do postawienia w kolejnym rozdziale tezy oraz przedstawienia problemów badawczych.

Autor w rozdziale drugim zdefiniował dwa cele główne - „*istniejące rozwiązania, które umożliwiają automatyczne modelowanie przejezdności terenu, nie uwzględniają wpływu mikrorzeźby i parametrów trakcyjnych pojazdów w aspekcie przestrzennym*” (publikacje 1 i 5) oraz „*brak rozwiązań, które umożliwiłyby wyznaczanie optymalnych tras dla określonych rodzajów pojazdów kołowych po bezdrożach z jednoczesnym uwzględnieniem elementów mikrorzeźby w czasie rzeczywistym*” (publikacje nr 2, 3, 4 oraz 5). Doktorant rozumie przez to potrzebę opracowania nowych rozwiązań, które umożliwią określanie optymalnych tras dla pojazdów poruszających się po obszarach, które są słabo rozwinięte pod kątem infrastruktury transportowej. Jego praca skupia się na przekroczeniu istniejących ograniczeń technologicznych i metodologicznych, co ma na celu stworzenie bardziej elastycznego i skutecznego systemu planowania tras, który mógłby znacząco poprawić skuteczność reagowania na sytuacje kryzysowe w trudnych warunkach terenowych. Rozwiązania proponowane przez doktoranta mogą mieć szerokie zastosowanie, nie tylko w działaniach ratowniczych, ale również w planowaniu działań wojskowych, logistyczne czy zarządzaniu kryzysowym na terenach pozbawionych rozwiniętej

infrastruktury drogowej.

Na podstawie założeń dotyczących wykorzystania wysokorozdzielczych danych wysokościowych i parametrów trakcyjnych wybranych pojazdów kołowych, doktorant formułuje tezę badawczą, która zakłada, że *„wykorzystanie wysokorozdzielczych danych wysokościowych i parametrów trakcyjnych wybranych pojazdów kołowych umożliwia opracowanie szczegółowego modelu przejezdności terenu oraz wyznaczanie tras przejazdu”*. W celu udowodnienia tej tezy, określa dwa główne cele badawcze: zaproponowanie sposobu opracowania szczegółowego modelu przejezdności terenu oraz opracowanie metod wyznaczania tras dotarcia dla określonych rodzajów pojazdów kołowych.

W ramach tych celów głównych, Doktorant precyzuje szereg celów szczegółowych, które mają na celu kompleksowe rozwiązanie problemu modelowania przejezdności terenu i wyznaczania tras. Cele te obejmują:

- opracowanie metody, która wykorzystując dane wysokościowe i parametry trakcyjne pojazdów, umożliwi dokładne modelowanie przejezdności terenu,
- wybór najbardziej odpowiedniego źródła i rozdzielczości danych wysokościowych, co jest kluczowe dla opracowania precyzyjnych map przejezdności,
- rozwój metody automatycznego generowania tras w różnych warunkach terenowych, opierając się na wcześniej przygotowanych mapach przejezdności,
- stworzenie narzędzia do automatycznego wyznaczania optymalnych tras dotarcia do obszarów niedostępnych transportem, co ma kluczowe znaczenie dla działań ratowniczych,
- optymalizacja procesu generowania map przejezdności poprzez redukcję punktów wysokościowych w numerycznym modelu terenu, co może przyczynić się do zwiększenia efektywności całego procesu,
- opracowanie metody pozwalającej na wyznaczanie tras bezpośrednio na podstawie numerycznych modeli terenu (NMT), co eliminuje potrzebę wcześniejszego przygotowywania map przejezdności.
- prezentacja kompleksowej metodologii wyznaczania przejezdności terenu oraz weryfikacja jej użyteczności na podstawie różnorodnych danych wejściowych.

Doktorant dąży do stworzenia zaawansowanej metodyki, która umożliwi efektywne planowanie tras w warunkach ograniczonej dostępności infrastruktury transportowej, co ma istotne znaczenie dla poprawy szybkości i skuteczności reagowania na sytuacje kryzysowe. Rozprawa ta ma potencjał aby wpłynąć na rozwój metod planowania tras oraz modelowania terenu, oferując nowe rozwiązania dla zarządzania kryzysowego, logistyki, a także działań ratowniczych i wojskowych.

Udowodnienie przedstawionej tezy oraz osiągnięcie celów badawczych poprzez cele

szczegółowe Doktorant uzyskał w cyklu pięciu powiązanych logicznie publikacjach. Cykl publikacji stanowiących zasadniczą treść rozprawy stanowi pięć współautorskich opracowań, z czego cztery opublikowano w czasopismach wyróżnionych w Journal Citation Report. Są to międzynarodowe czasopisma punktowane przez MEiN, a trzy z nich mają impact factor powyżej trzech 3: P3 - *International Journal of Digital Earth* (100 pkt, IF = 5.1), P1 - *Remote Sensing* (100 pkt, IF = 5.0), P2 - *Sensors* (100 pkt, 3.9), P4 - *Advances in Military Technology* (40 pkt, IF = 0) oraz jedna publikacja P5 w czasopiśmie *Aviation and Security Issues* według przedstawionej dokumentacji punktowana 100 pkt, jednakże nie mogę potwierdzić tej wartości. Wszystkie publikacje dostępne są w ramach Open Access, a Doktorant jest wiodącym autorem we wszystkich z nich. Całkowita punktacja cyklu wg listy MEiN, przy uwzględnieniu procentowego udziału to 272 pkt, IF to 11,2 (w sumie dla cyklu 340 pkt i IF=14,0). Wskaźniki te są bardzo dobre i świadczą o wysokiej jakości prezentowanych badań. Zgodnie z oświadczeniami współautorów, Doktorant we wszystkich artykułach był odpowiedzialny za kluczowe aspekty - zaprojektowanie badania, opracowanie metodyki i wykonanie analiz. Zawsze brał udział w przygotowaniu manuskryptu, często będąc za niego odpowiedzialnym. Warto zauważyć, że niektóre publikacje już są cytowane przez autorów z całego świata (liczba cytowani według WoS 17). Cykl jest spójny i kompletny - przedstawia w sposób całościowy badania zrealizowane zgodnie z zaproponowaną metodologią.

**W mojej opinii wszystkie elementy konstrukcji logicznej badań od problemów i założeń badawczych przez tezę oraz cele główne i szczegółowe są logiczne i spójne oraz przedstawiają dojrzałość i dociekliwość badawczą Pana magistra Wojciecha DAWIDA. Postawiona w rozprawie teza w pełni spełnia warunki tezy naukowej, a wykazanie jej słuszności ma zarówno aspekt poznawczy jak i duże znaczenie praktyczne.**

W Rozdziale 3, zatytułowanym "Metodyka Badań", doktorant przedstawia autorską metodykę wyznaczania przejezdności terenu na poziomie szczegółowym. Metodyka ta obejmuje szeroki zakres działań, począwszy od wyboru optymalnego źródła i rozdzielczości danych wysokościowych, przez ocenę dokładności numerycznych modeli wysokościowych, aż po opracowanie szczegółowych map przejezdności terenu. Kładzie się nacisk na automatyzację procesu opracowania tych map dla różnych typów pojazdów kołowych oraz wybór skutecznych algorytmów znajdowania najkrótszej ścieżki. Doktorant proponuje także metody wyznaczania tras przejazdu w różnych warunkach, w tym do obszarów odległych od istniejącej infrastruktury transportowej oraz koncepcje optymalizacji modeli terenu poprzez redukcję punktów wysokościowych.

Kluczowym elementem pracy jest przedstawienie opracowanych metod w formie spójnej metodyki oraz weryfikacja ich działania za pomocą studiów przypadku i weryfikacji terenowej. Prace badawcze zostały zrealizowane etapami, zgodnie z kolejnymi celami szczegółowymi (A-G), które składają się na całościowy projekt badawczy. Każdy z tych etapów przyczynia się do rozwiązania problemów badawczych i osiągnięcia głównego celu, jakim jest udoskonalenie procesu planowania tras w różnych warunkach terenowych. Doktorant podkreśla, że wyniki jego pracy mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w kontekście działań wojskowych, ale również w działaniach związanych z reagowaniem na sytuacje kryzysowe. Taka interdyscyplinarna

użyteczność badań podkreśla ich znaczenie i potencjalny wpływ na poprawę skuteczności planowania i realizacji operacji w trudnych warunkach terenowych. Zestawienie problemów badawczych, celów szczegółowych oraz metod i sposobów ich rozwiązania jest szczegółowo przedstawione w tabeli 3.1. w rozprawie, co umożliwia czytelnikom dogłębne zrozumienie metodyki i podejścia przyjętego przez Doktoranta do rozwiązania postawionych problemów badawczych.

W następnym rozdziale rozprawy doktorskiej dokładnie omówiono metody rozwiązania problemów badawczych, które były przedmiotem analizy w serii publikacji. Szczególną uwagę poświęcono opisowi technik opracowywania szczegółowych map przejezdności terenu, biorąc pod uwagę elementy mikrorzeźby oraz dokonano analizy danych wysokościowych pod kątem ich źródła i rozdzielczości. Wyselekcjonowano najbardziej odpowiednie dane dla zastosowanego algorytmu. W kolejnej części, autor proponuje metodykę wyznaczania tras przejazdu, uwzględniając różne poziomy trudności tras, opierając się na uprzednio stworzonych mapach przejezdności. Prezentacja tych metod znajduje się w podrozdziale 4.2. Podrozdział 4.3 skupia się na sposobach dotarcia do obszarów odizolowanych od standardowej sieci transportowej. Przedstawia też studium przypadku, które służy do weryfikacji efektywności zaproponowanych metod. W podrozdziale 4.4 przedstawiono technikę redukcji punktów wysokościowych w numerycznym modelu terenu, co przyczynia się do efektywniejszego modelowania terenu. Dodatkowo, opisano metodę wyznaczania tras przejazdu bazującą na uogólnionym modelu wysokościowym. Ostatnia sekcja, podrozdział 4.5, zawiera kompleksowy opis metodyki wyznaczania przejezdności terenu, prezentując jej praktyczne zastosowanie z wykorzystaniem różnych zestawów danych wejściowych. Celem tej części jest pokazanie uniwersalności opracowanej metodyki i jej zdolności do adaptacji do różnorodnych warunków i potrzeb użytkowników.

W pierwszej publikacji Doktorant przedstawił cel badawczy skupiający się na automatyzacji procesu tworzenia szczegółowych map przejezdności terenu, wykorzystując wysokorozdzielcze dane wysokościowe i analizując wpływ mikrorzeźby oraz parametrów trakcyjnych pojazdów. Cel ten obejmował badanie przydatności danych z lotniczego skaningu laserowego LIDAR oraz danych fotogrametrycznych do generowania map, a także ustalenie, jak zmiana rozdzielczości numerycznego modelu terenu wpływa na dokładność i wydajność procesu. Wspomniane badanie miało na celu przede wszystkim zautomatyzowanie procesu tworzenia szczegółowych map przejezdności terenu. Doktorant, rozumiejąc ograniczenia istniejących metod, które nie uwzględniały mikrorzeźby terenu ani specyfiki trakcyjnej pojazdów, postanowił zastosować nowoczesne technologie jak LIDAR i fotogrametria z bezzałogowych statków powietrznych, aby uzyskać dane o wysokiej rozdzielczości, to umożliwiło mu szczegółową analizę terenu. Za pomocą tych technologii, doktorant przeprowadził badania na trzech rodzajach terenu, co pozwoliło na przetestowanie opracowanego algorytmu w różnych warunkach – od skarp po rów melioracyjny i obszary płaskie. Dzięki temu możliwe było nie tylko sprawdzenie poprawności algorytmu, ale także ocena, które źródło danych (LIDAR czy fotogrametryczne) jest bardziej efektywne przy tworzeniu map przejezdności. Kolejnym aspektem badań było ustalenie, jak bardzo można zmniejszyć rozdzielczość numerycznych modeli terenu, nie tracąc przy tym na

wartości szczegółowości map przejezdności oraz efektywności procesu.

Wykorzystując dane z różnych źródeł, Doktorant porównywał szczegółowość i dokładność uzyskanych modeli, biorąc pod uwagę różne rozdzielczości. To pozwoliło na zidentyfikowanie optymalnej rozdzielczości danych wysokościowych, co jest krytyczne dla skuteczności i wydajności całego procesu. Analiza pokazała, że modele o wyższej rozdzielczości oferują lepszą dokładność, jednak czas ich generowania jest znacznie dłuższy. Doktorant starał się znaleźć złoty środek, który umożliwiłby szybką reakcję w sytuacjach wymagających natychmiastowego działania, przy jednoczesnym zachowaniu niezbędnej dokładności. W publikacji tej Doktorant przedstawił opracowany algorytm wyznaczania map przejezdności. Algorytm automatyzuje proces tworzenia szczegółowych map przejezdności terenu. Wykorzystuje on geometrię współrzędnych 3D do oceny, czy podwozie pojazdu styka się z podłożem, biorąc pod uwagę ruch pojazdu w czterech głównych kierunkach i ignorując różnice w zwisach przednich i tylnych dla uproszczenia. Algorytm przetwarza dane wysokościowe na tablicę 2D, oblicza pozycje kół i współrzędne z za pomocą interpolacji IDW i określa najlepiej dopasowaną płaszczyznę dla podwozia w oparciu o punkty styku opon. Jeśli jakkolwiek punkt na terenie jest wyższy niż prześwit podwozia, jest on uznawany za nieprzejezdny. Proces generuje plik tekstowy oznaczający teren jako przejezdny lub nie, ułatwiając identyfikację nieprzejezdnych obszarów.

W drugim artykule pt. "Methodology of Using Terrain Passability Maps for Planning the Movement of Troops and Navigation of Unmanned Ground Vehicles" przedstawiono nowatorskie podejście do wykorzystania map przepustowości terenu w celu planowania ruchu wojsk oraz nawigacji bezzałogowych pojazdów naziemnych (UGV). Publikacja, ukazująca się w czasopiśmie "Sensors" w 2021 roku, skupia się na rozwijaniu metodologii, która integruje różne techniki i technologie do optymalizacji tras przemieszczania się jednostek i pojazdów w zróżnicowanych warunkach terenowych. Doktorant szczegółowo omawia proces tworzenia map przepustowości, które są kluczowe dla efektywnego planowania operacji wojskowych i mogą znacząco wpływać na bezpieczeństwo i skuteczność działań. Metodologia bazuje na analizie i ocenie terenu pod kątem jego przejezdności, co obejmuje klasyfikację terenu na obszary o różnym stopniu przepustowości: przejezdne (GO), trudne do przejazdu (SLOW GO) i nieprzejezdne (NO GO). Autorzy zastosowali modelowanie cyfrowe terenu, wykorzystując dane z różnych źródeł, w tym zdjęcia satelitarne, topograficzne bazy danych i dane hydrograficzne. Kluczowym aspektem pracy jest rozwój algorytmów znajdowania ścieżki, takich jak algorytmy Dijkstry i A\*, które umożliwiają wyznaczanie optymalnych tras przemieszczenia z uwzględnieniem zarówno długości trasy, jak i jej bezpieczeństwa. Autorzy proponują także funkcje modyfikujące indeksy przepustowości terenu (IOP), które pozwalają na dostosowanie trasy do specyficznych wymagań operacji, np. wybór trasy o wyższym poziomie bezpieczeństwa, omijającej trudne do przejazdu obszary. Dodatkowo, artykuł porusza kwestię zastosowania opracowanej metodologii w rzeczywistych warunkach, demonstrując jej uniwersalność i możliwości adaptacji do specyficznych potrzeb wojskowych oraz cywilnych zastosowań, takich jak zarządzanie kryzysowe. Przedstawione badania pokazują, jak nowoczesne technologie mogą wspierać planowanie i realizację operacji w terenie, znacząco podnosząc ich efektywność dzięki precyzyjnemu modelowaniu i analizie danych terenowych.

Trzeci artykuł koncentruje się na opracowaniu metodyki wyznaczania optymalnych tras dostępu do trudno dostępnych obszarów, które znajdują się poza regularną siecią transportową, dla celów zarządzania kryzysowego. Autorzy przedstawiają kompleksową analizę dostępności terenowej dla obszarów położonych w pobliżu stolic trzech europejskich krajów o różnym poziomie rozwoju gospodarczego: Niemiec, Polski i Ukrainy. W badaniu uwzględniono różne parametry, takie jak Produkt Krajowy Brutto (PKB), wskaźnik rozwoju społecznego (HDI) oraz współczynnik jakości dróg, aby określić stopień rozwoju badanych obszarów. Metodologia opiera się na wykorzystaniu istniejącej sieci dróg, map przepustowości terenu oraz cyfrowych modeli terenu o wysokiej rozdzielczości wraz z parametrami trakcji pojazdu, co umożliwia przeprowadzenie szczegółowej analizy mikroreliefu i wykluczenie obszarów niedostępnych. Autorzy opracowali system, który w sposób zautomatyzowany generuje trasy dostępu zarówno po drogach, jak i w terenach bezdrożnych. Prezentowany przypadek ilustruje praktyczne zastosowanie opracowanej metodologii, która została zaimplementowana podczas rzeczywistej sytuacji kryzysowej. Szczegółowo opisano proces wyznaczania trasy dla pojazdu MAN TGM 15.290, który brał udział w działaniu ratunkowym w budynkach położonych około 500 metrów od utwardzonych dróg.

W czwartym artykule Doktorant przedstawia skutki zastosowania generalizacji cyfrowego modelu wysokościowego (DEM) w procesie wyznaczania tras przejazdu w terenach pozbawionych dróg, co ma istotne znaczenie w planowaniu operacji wojskowych i zarządzaniu kryzysowym. Autorzy skupili się na optymalizacji i automatyzacji procesu, który wykorzystuje wysokorozdzielczy DEM i parametry trakcyjne pojazdów do generowania map przepustowości oraz wyznaczania tras w czasie rzeczywistym. Generalizacja DEM polega na redukcji liczby punktów wysokościowych w obszarach o małych wariacjach wysokości, co pozwala na znaczące przyspieszenie analizy mikroreliefu, zachowując jednocześnie dokładność wyznaczanych tras. Proces ten skutkowało znacznym skróceniem czasu potrzebnego na generowanie tras – w badaniach osiągnięto redukcję czasu o około trzykrotność. Zastosowanie generalizacji DEM umożliwiło efektywniejsze wykorzystanie zasobów obliczeniowych oraz szybsze przetwarzanie danych, co jest kluczowe w sytuacjach wymagających szybkiego reagowania, jak operacje wojskowe czy zarządzanie sytuacjami kryzysowymi. Wyniki eksperymentów pokazały, że mimo redukcji danych wejściowych, dokładność wyznaczonych tras pozostała na wysokim poziomie, co potwierdza, że generalizacja DEM nie wpływa negatywnie na jakość i bezpieczeństwo planowanych operacji.

W ostatnim artykule przedstawiono całościową metodykę wyznaczania przejezdności terenu, skoncentrowaną na opracowaniu map przejezdności dla różnych pojazdów i terenów. Metodyka ta wykorzystuje szczegółowy numeryczny model terenu (DEM) o rozdzielczości 1 m oraz parametry trakcyjne pojazdów do analizy mikrorzeźby i wyznaczania tras. Badania przeprowadzono na pięciu testowych obszarach o zróżnicowanych charakterystykach, obejmujących: tereny rolne, leśne, pagórkowate, bagniste i miejskie. Każdy z obszarów miał kształt kwadratu o boku 1000 m. Wykorzystano w nich dane przestrzenne uzyskane z bazy danych obiektów topograficznych w skali 1:10 000, co umożliwiło ekskluzywną analizę terenów potencjalnie nieprzejezdnych. Analizy przeprowadzono dla trzech różnych typów pojazdów szeroko stosowanych w Polskich Siłach Zbrojnych: ciężarówka Star 266, pojazdu terenowego



HMMWV (Humvee) oraz bojowego wozu piechoty Rosomak. Pojazdy te różnią się parametrami takimi jak prześwit, szerokość toru i rozstaw osi, co wpływa na ich zdolności do przejazdu przez różne typy terenów. Metodologia wykorzystana w badaniach składa się z dwóch głównych etapów: identyfikacji obszarów nieprzejezdnych dla danego pojazdu oraz wyznaczania tras omijających te przeszkody. Kluczowym elementem jest generalizacja numerycznego modelu terenu, która pozwala na zredukowanie ilości danych, przyspieszając tym samym analizę, przy jednoczesnym zachowaniu kluczowych cech terenu. Generalizacja opiera się na lokalnych nachyleniach terenu, a jej celem jest zredukowanie liczby punktów wysokościowych, szczególnie na obszarach o mniejszych różnicach w wysokości. Testy przeprowadzone na różnorodnych terenach pokazały, że metodyka jest efektywna i umożliwia zautomatyzowane generowanie map przejezdności oraz tras przejazdu, które są dostosowane do specyficznych parametrów trakcyjnych analizowanych pojazdów. Wyniki te potwierdzają przydatność opracowanej metodyki dla organów odpowiedzialnych za planowanie operacji wojskowych i zarządzanie kryzysowe, podkreślając jej uniwersalność i adaptacyjność do różnych warunków terenowych.

Podsumowując, zastosowanie generalizacji DEM znacząco poprawia efektywność procesów decyzyjnych związanych z planowaniem ruchu i logistyki w trudno dostępnych obszarach, jednocześnie zachowując niezbędną precyzję i nie wprowadzając znaczących błędów w wyznaczane trasy. Wyniki te otwierają nowe możliwości dla dalszych badań i rozwoju metod optymalizacji przetwarzania danych przestrzennych w różnych zastosowaniach wojskowych i cywilnych. Opracowana metodyka może znaleźć szerokie zastosowanie w zarządzaniu kryzysowym, gdzie działania ratunkowe często wymagają szybkiego dotarcia jednostek ratunkowych do odległych miejsc. Wyniki badań wskazują na możliwość znacznego zwiększenia efektywności i bezpieczeństwa działań ratunkowych dzięki precyzyjnemu planowaniu tras dostępu w oparciu o szczegółową analizę danych terenowych i sieci drogowej. Praca Doktoranta stanowi istotny wkład w rozwój metod analitycznych w dziedzinie geoinformatyki wojskowej, oferując nowe narzędzia do optymalizacji i automatyzacji procesów decyzyjnych w kontekście planowania operacji wojskowych i cywilnych. Rozwój i implementacja przedstawionej metodologii może przyczynić się do znaczącej poprawy skuteczności operacji na różnych szczeblach dowodzenia, od taktycznego po strategiczny.

## **2. Ocena rozprawy pod kątem redakcyjnym**

Rozprawa prezentuje się na wysokim poziomie redakcyjnym. W monografii znajdziemy nie tylko kluczowe rozdziały, ale również streszczenia w języku polskim i angielskim, podziękowania, spis treści, obszerną bibliografię oraz aneksy, które zawierają między innymi przedruki artykułów z serii i oświadczenia współautorów. Język użyty w rozprawie jest odpowiedni dla prac naukowych, charakteryzuje się dojrzałością i precyzją. Rozwinięcie argumentów jest logiczne i spójne. Publikacje w języku angielskim, wchodzące w skład pracy, są przygotowane zgodnie z naukowymi standardami i obejmują: wprowadzenie, opis metodologii badań, przebieg eksperymentów, ich wyniki oraz wnioski i podsumowanie. Wnioski są trafne i celne, a obrona tezy opiera się na solidnych argumentach. Czytelność pracy jest na dobrym poziomie, co sprawia, że

lektura jest ciekawa. Jedyłą uwagę w tym kontekście można mieć do niektórych wykresów oraz rycin (np. P1 str. 14-16, 19, P4 str. 8-9,12-13 ). W polskiej wersji językowej rozprawy zastosowano pogrubienie ważniejszych fragmentów tekstu, co znacznie ułatwia orientację w tekście. Rozprawa jest logicznie zorganizowana i dobrze zbalansowana pod względem układu treści. Części wprowadzająca i opisowa efektywnie integrują ze sobą poszczególne publikacje, podkreślając ich spójność tematyczną i tworząc jednolity korpus badawczy. W pracy często powracają odniesienia do postawionych hipotez i celów badań. Wstęp i podsumowanie skutecznie przygotowują czytelnika do zgłębienia głównych treści naukowych zawartych w publikacjach, a sformułowane wnioski adekwatnie odzwierciedlają wyniki badań.

### **3. Polemika i pytania do Autora**

W dysertacji poruszone zostały bardzo istotne z punktu widzenia zarządzania kryzysowego problemy badawcze związane z przejezdnością, dodatkowo zostały one przedstawione w sposób zrozumiały. Pomimo tego, według mojej oceny brakuje opisu lub zdefiniowania pojęcia mikrorzeźby terenu. Pojęcie to jest obecnie dość często stosowane, np. w wizualizacji i analizie stanowisk archeologicznych i ich kontekstu przestrzennego lub morfologii terenu.

W czwartej publikacji składającej się na cykl, Doktorant przedstawił metodę do automatycznej redukcji punktów wysokościowych, prawidłowo opierając redukcję punktów wysokościowych na podstawie lokalnych odchyłeń standardowych spadków. Jednakże z przeznaczenia zastosowanego procesu wynika, że może on wpływać negatywnie na zanikanie mikrorzeźby. Dlatego też bardzo proszę o ustosunkowanie się do możliwości zastosowania innych pochodnych numerycznego modelu terenu takich jak np. Multiscale Topographic Position Index, Positive – Negative Openness lub Sky View Factor w weryfikacji generalizacji jak i w całym procesie wyznaczania przejezdności.

### **4. Wnioski końcowe i podsumowanie**

Po przestudiowaniu przedstawionej rozprawy stwierdzam, że Autor wykazał się w niej bardzo dobrą znajomością warsztatu badawczego oraz rzetelnością w realizacji badań. Artykuły przedstawione w cyklu zostały przygotowane na wysokim poziomie, zgodnie z przyjętymi zasadami i opublikowane w wysoko punktowanych i cytowanych czasopismach. W rozprawie opracowano metodykę wyznaczania przejezdności terenu przy uwzględnieniu mikrorzeźby poprzez udowodnienie założonej tezy badawczej, która zakłada, że „*wykorzystanie wysokorozdzielczych danych wysokościowych i parametrów trakcyjnych wybranych pojazdów kołowych umożliwia opracowanie szczegółowego modelu przejezdności terenu oraz wyznaczanie tras przejazdu*”. W dysertacji Doktorant osiągnął założone dwa główne cele badawcze: zaproponowanie sposobu opracowania szczegółowego modelu przejezdności terenu, opracowanie metod wyznaczania tras dotarcia dla określonych rodzajów pojazdów kołowych oraz założone cele szczegółowe. Przedstawiony cykl publikacji jest kompletny i stanowi zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Wyniki przedstawione w rozprawie pozwoliły na postawienie istotnych wniosków o charakterze naukowym i utylitarnym dotyczących metodyki wyznaczenia przejezdności terenu przy uwzględnieniu mikrorzeźby wraz z optymalizacją procesu.

Reasumując powyższe stwierdzam, iż **rozprawa doktorska kpt. mgr inż. Wojciech DAWID „Opracowanie metodyki wyznaczania przejezdności terenu przy uwzględnieniu mikrorzeźby”**, której promotorem jest **plk dr hab. inż. Krzysztof Pokonieczny, Prof. WAT**, spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z. 2021 r., poz. 478 z późn. zm.) i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Krystian Koziół, Prof. AGH