



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Katedra Geomatyki i Systemów Informacyjnych

Warszawa, 11.05.2022

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr. Macieja Adamiaka**

pod tytułem: **Wykorzystanie technik uczenia maszynowego i teledetekcji do wspomagania interpretacji przestrzeni geograficznej** przygotowanej pod kierunkiem:
dr. hab. inż. Krzysztofa Będkowskiego, prof. UŁ i dr Anny Majchrowskiej
na Wydziale Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego

Rozprawa doktorska liczy 166 stron maszynopisu tekstu bazującego na cyklu pięciu artykułów opublikowanych w czterech anglojęzycznych czasopismach: Land (70 punktów MEiN), dwa artykuły w Remote Sensing (100 punktów MEiN), Geosciences (70 punktów MEiN) oraz autorski artykuł w Czasopiśmie Geograficznym (70 punktów MEiN). Skumulowany CiteScore wyniósł 19,9.

Układ pracy jest typowy dla rozpraw doktorskich i obejmuje następujące części:

- Strona tytułowa, spis treści rozprawy doktorskiej, podziękowania, streszczenia wraz ze słowami kluczowymi w języku polskim i angielskim oraz spis publikacji stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego.
- Rozdział 1: *Wprowadzenie*; Doktorant przedstawia podstawowe pojęcia z zakresu geoinformatyki, a także motywację podjęcia się tematu badań.
- Rozdział 2: *Problem badawczy*. W tej części Autor zwraca uwagę na nowe rozwiązania w uczeniu maszynowym, które z powodzeniem są stosowane w teledetekcji. Na podstawie tych innowacyjnych rozwiązań Doktorant identyfikuje problemy badawcze w procesie nadzorowanej klasyfikacji, jak również wyzwania analizy przestrzeni geograficznej na podstawie różnorodnych danych przetworzonych algorytmami głębokiego uczenia. W celu znalezienia odpowiedzi na postawione problemy został zaprojektowany cykl eksperymentów badawczych mających na celu ocenę sieci splotowych do analiz pokrycia terenu (publikacja: Krysiak, S., Papińska, E., Majchrowska, A., Adamiak, M., Koziarkiewicz, M. (2020). *Detecting Land Abandonment in Łódź Voivodeship Using Convolutional Neural Networks*, Land, 9(3), 82. <https://doi.org/10.3390/land9030082>). Wyniki tego eksperymentu pozwoliły zawęzić kryteria badawcze, czego efektem były dwie kolejne publikacje: Adamiak, M., Biczkowski, M., Leśniewska-Napierała, K., Nalej, M., Napierała, T. (2020). *Impairing Land Registry: Social, Demographic, and Economic Determinants of Forest Classification Errors*. Remote Sensing, 12(16), 2628, <https://doi.org/10.3390/rs12162628> oraz Adamiak, M., Jażdżewska I., Nalej M. (2021). *Analysis of Built-Up Areas of Small Polish Cities with the Use of Deep Learning and Geographically Weighted Regression*, Geosciences, 11(5), 223,



<https://doi.org/10.3390/geosciences11050223>. W ostatnim kroku Doktorant przetestował potencjał nienadzorowanej klasyfikacji do rozróżniania poszczególnych form pokrycia terenu (Adamiak, M., Będkowski, K., Majchrowska, A. (2021). *Aerial Imagery Feature Engineering Using Bidirectional Generative Adversarial Networks: A Case Study of the Pilica River Region, Poland*. *Remote Sensing*, 13(2), 306, <https://doi.org/10.3390/rs13020306>).

- Rozdział 3: *Metody badawcze* obejmuje autorską publikację (Adamiak, M. (2021). *Głębokie uczenie w procesie teledetekcyjnej interpretacji przestrzeni geograficznej – przegląd wybranych zagadnień*, *Czasopismo Geograficzne*, 92(1), 49, <https://doi.org/10.12657/czageo-92-03>) w której Doktorant w sposób przeglądowy opisał kluczowe elementy uczenia maszynowego w badaniach środowiska przyrodniczego. Ważnym elementem opracowania jest szeroka analiza dostępnej literatury bazująca na kluczowych metodach, które rozwijane są w ostatnich latach.
- Rozdział 4: *Wyniki*. Ta część pracy podzielona została na trzy podrozdziały opisujące najważniejsze osiągnięcia uzyskane w publikacjach:
 - Krysiak, S., Papińska, E., Majchrowska, A., Adamiak, M., Koziarkiewicz, M. (2020). *Detecting Land Abandonment in Łódź Voivodeship Using Convolutional Neural Networks*, *Land*, 9(3), 82. <https://doi.org/10.3390/land9030082>. W artykule tym zaprezentowana została ocena przydatności splotowych sieci neuronowych (CNN) do identyfikacji pokrycia terenu, w tym detekcji odłogów w województwie łódzkim, co stanowi duże wyzwanie z racji na heterogeniczność obszaru badań, obejmującego zarówno pierwotne, jak i wtórne etapy sukcesji roślinności. Autor wykorzystał 4 zakresy spektralne (VNIR), a uzyskane wyniki są na satysfakcjonującym poziomie.
 - Adamiak, M., Biczkowski, M., Leśniewska-Napierała, K., Nalej, M., Napierała, T. (2020). *Impairing Land Registry: Social, Demographic, and Economic Determinants of Forest Classification Errors*. *Remote Sensing*, 12(16), 2628, <https://doi.org/10.3390/rs12162628>. Artykuł ten koncentruje się na ocenie czynników społecznych, demograficznych i ekonomicznych na proces klasyfikacji obszarów leśnych. W wyniku przeprowadzonych procedur zidentyfikowane zostały rangi wpływu procesów urbanizacyjnych, rozwoju społeczeństwa obywatelskiego, edukacji, własności gruntów oraz kultury i planowania przestrzennego.
 - Adamiak, M., Jażdżewska I., Nalej M. (2021). *Analysis of Built-Up Areas of Small Polish Cities with the Use of Deep Learning and Geographically Weighted Regression*, *Geosciences*, 11(5), 223, <https://doi.org/10.3390/geosciences11050223>. Artykuł ten jest merytoryczną kontynuacją poprzedniej publikacji, gdyż Autorzy skoncentrowali się na ocenie wpływu czynników społeczno-ekonomicznych na obszary zabudowane w 665 małych miastach Polski z dokładnością analizy na poziomie gminy. Autorzy zastosowali szereg analiz wpływu poszczególnych składowych modelu, szczególnie warstw z Bazy Danych Obiektów Topograficznych.
 - Adamiak, M., Będkowski, K., Majchrowska, A. (2021). *Aerial Imagery Feature Engineering Using Bidirectional Generative Adversarial Networks: A Case*



Study of the Pilica River Region, Poland. Remote Sensing, 13(2), 306, <https://doi.org/10.3390/rs13020306>. W przeciwieństwie do poprzednich artykułów, w których Doktorant wraz ze współautorami skupił się na wyznaczeniu wzorców treningowych, w niniejszym artykule proces tworzenia wzorców został przekazany dla sieci współzawodniczącej, która bazując na ogromnej liczbie danych wejściowych, generowała wspólne cechy analizowanej przestrzeni. Jest to cenne podejście w przypadku złożonych systemów i dużego prawdopodobieństwa wprowadzenia błędnych danych.

- Rozdział 5: *Dyskusja*. Rozdział ten w swojej strukturze przypomina przegląd literatury, gdyż prezentuje kolejne rozwiązania stosowane przez poszczególnych badaczy. Autor zaproponował ciekawy schemat procedowania badań naukowych integrujących technologię uczenia maszynowego, teledetekcję i różnorodne dane przestrzenne. Końcowa część rozdziału analizuje i podsumowuje uzyskane znaczące wyniki.
- Rozdział 6. *Wnioski*. Doktorant w sposób zwięzły wskazał kluczowe elementy przygotowanej rozprawy potwierdzając przyjęte założenia pracy.
- Rozdział 7. *Literatura*. Autor zacytował 66 pozycji referencyjnych, z czego 54 stanowią publikacje (44% stanowią artykuły opublikowane w ciągu ostatnich 5 lat, od 2018 r.).
- Rozdział 8. *Kopie publikacji tworzących rozprawę doktorską*.
 - Publikacja nr 1: Krysiak, S., Papińska, E., Majchrowska, A., Adamiak, M., Koziarkiewicz, M. (2020). *Detecting Land Abandonment in Łódź Voivodeship Using Convolutional Neural Networks*, Land, 9(3), 82. <https://doi.org/10.3390/land9030082>, MEiN: 70, IF'20: 3,398, CiteScore'20: 3,0. Autorzy zaproponowali model uczenia maszynowego bazującego na architekturze Convolutional Neural Network (CNN) oraz ortofotomapie pozyskanej z Geoportalu oraz obrazów satelitarnych Sentinel-2 w celu oceny prawdopodobieństwa występowania gruntów porolnych w oczkach siatki o powierzchni 15–25 ha. Obszarem treningowym i weryfikacyjnym był teren województwa łódzkiego. Uzyskane wyniki klasyfikacji były satysfakcjonujące (0,78 dokładności dla zestawu danych testowych, w tym zweryfikowane terenowo) co pozwoliło wygenerować mapę cold-, hotspotów oceniających 9 czynników przyczyniające się zarówno do niskiego, jak i wysokiego ryzyka porzucania gruntów na powierzchniach przekraczających 50 km². Przeprowadzona dyskusja wyników potwierdziła, prawidłowość metodyki i skuteczność sieci CNN do automatycznej detekcji gruntów porolnych.
 - Publikacja nr 2: Adamiak, M., Biczkowski, M., Leśniewska-Napierała, K., Nalej, M., Napierała, T. (2020). *Impairing Land Registry: Social, Demographic, and Economic Determinants of Forest Classification Errors*. Remote Sensing, 12(16), 2628, <https://doi.org/10.3390/rs12162628>, MEiN: 100, IF'20: 4.848, CiteScore'20: 6,6. W tej pracy Doktorat wraz ze współautorami skoncentrowali się na ocenie przydatności splotowej sieci neuronowej (U-Net), danych satelitarnych Sentinel-2 oraz wybranych czynników społecznych, demograficznych i ekonomicznych determinujących różnice między identyfikacją lasów na podstawie technik teledetekcyjnych i ewidencji gruntów. Uzyskane wyniki zagregowane zostały do poziomu gmin i porównane zostały



z danymi z ksiąg wieczystych dostarczonych w Banku Danych Lokalnych przez GUS. Metody regresji pozwoliły wyjaśnić zróżnicowanie wpływu determinant badanych błędów: procesy urbanizacyjne, rozwój społeczeństwa obywatelskiego, edukacja, własności gruntów oraz kultury i jakości planowania przestrzennego. Autorzy potwierdzili, że na terenach słabiej rozwiniętych, w mniejszym stopniu przestrzegane są zasady planowania przestrzennego oraz dokładności ewidencji gruntów. Wysoki poziom wykształcenia społeczeństwa stymuluje ochronę przed błędami klasyfikacji lasów w ewidencji gruntów.

- Publikacja nr 3: Adamiak, M., Jażdżewska I., Nalej M. (2021). Analysis of Built-Up Areas of Small Polish Cities with the Use of Deep Learning and Geographically Weighted Regression, *Geosciences*, 11(5), 223, <https://doi.org/10.3390/geosciences11050223>, MEiN: 70, CiteScore'21: 3,4. Autorzy skoncentrowali się na weryfikacji wpływu wybranych czynników społeczno-gospodarczych na udział terenów zabudowanych w 665 małych miastach Polski. Podobnie jak w poprzednich przypadkach wykorzystane zostały zobrazowania satelitarne Sentinel-2, dane z Bazy Danych Obiektów Topograficznych oraz Banku Danych Lokalnych GUS. Analizy polegały na segmentacji uczenia maszynowego, analizie hot spot i regresji ważonej geograficznie. Uzyskane wyniki pozwoliły istotny związek między gęstością zaludnienia a udziałem terenów zabudowanych na obszarze badanych miast. Było to możliwe dzięki analizie czynników związanych z populacją, rozwojem przestrzennym, gospodarczym i standardem życia na udział obszarów zabudowanych na obszarze małych miast.
- Publikacja nr 4: Adamiak, M., Będkowski, K., Majchrowska, A. (2021). *Aerial Imagery Feature Engineering Using Bidirectional Generative Adversarial Networks: A Case Study of the Pilica River Region, Poland*. *Remote Sensing*, 13(2), 306, <https://doi.org/10.3390/rs13020306>, MEiN: 100, IF'20: 4.848, CiteScore'21: 6,9. W niniejszej publikacji Autorzy zaproponowali nowe podejście, które jest komplementarne do poprzednich analiz, gdyż zaprojektowali i przetestowali nienadzorowaną procedurę zdolną do tworzenia nowych funkcji poprzez analizę ortofotomap w ukrytej przestrzeni generatywnych sieci kontradycyjnych (GAN). Pozwoliło to na opisanie całego obszaru badawczego jako zbioru wektorów utajonych i przeprowadzenie analizy nie na obrazach RGB, ale na ich reprezentacji w postaci wektorów w niższych wymiarach. W efekcie uzyskane informacje potwierdziły dużą zgodność z danymi referencyjnymi i nadzorowanymi metodami.
- Publikacja nr 5: Adamiak, M. (2021). *Głębokie uczenie w procesie teledetekcyjnej interpretacji przestrzeni geograficznej – przegląd wybranych zagadnień*, *Czasopismo Geograficzne*, 92(1), 49, <https://doi.org/10.12657/czageo-92-03>, MEiN: 70. Publikacja ta jest przeglądem stosowanych obecnie rozwiązań z zakresu różnych metod uczenia maszynowego. Jest to cenne kompendium wiedzy dla geografów i przyrodników poszukujących automatyzacji prowadzonych analiz środowiskowych.



Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Doktorant podjął się ambitnego zadania jakim było opracowanie i przetestowanie zaawansowanych metod klasyfikacji pokrycia terenu. Temat ten wpisuje się w kanon aktualnie rozwijanych zagadnień naukowych, a rozprawa doktorska, mimo że składa się z cyklu publikacji przygotowanych przez różne zespoły autorskie, wyraźnie zarysowuje ciągłość koncepcji metodycznej polegającej na doborze zaawansowanych i intensywnie rozwijanych algorytmów uczenia maszynowego. Metody te są zastosowane do klasyfikacji pokrycia terenu bazując na różnych danych wektorowych oraz satelitarnych obrazach Sentinel-2 oraz lotniczych ortofotomapach. W pierwszych trzech publikacjach Doktorant stosuje metody nadzorowane wymagające właściwych wzorców treningowych, co wiąże się z koniecznością zapewnienia odpowiednio reprezentatywnych próbek do uzyskania satysfakcjonujących wyników. W czwartej publikacji Autor proponuje metodę nienadzorowaną, pozwalając tym samym, by system wygenerował optymalne wzorce i przeprowadził właściwy proces klasyfikacji. Jest to cenne rozwiązanie, gdyż operator klasyfikacji świadomie lub też nieświadomie zawsze wprowadza błędy do wzorców, np. klasyfikując łąkę trudno usunąć wszystkie piksele lub też miksele reprezentujące inne obiekty, np. odkrytą glebę choćby na drodze, kretowiskach, czy innych niewielkich powierzchniach, co w efekcie zmienia wartość spektralną rejestrowanego piksela (przesuszone gleba w stosunku do roślinności odbija większą ilość promieniowania elektromagnetycznego w zakresie widzialnym, a mniej w podczerwieni); podobnie sytuacja wygląda z innymi obiektami występującymi na łące, np. różnobarwny okwiat, cienie, czy też pojedyncze krzaki.

Prowadząc analizy w skalach regionu lub też całej Polski Doktorant miał do dyspozycji duże zbiory danych co pozwoliło zachować odpowiednio liczne próbki przetwarzanych danych, a z drugiej strony wymagało stosowanie algorytmów kompresji i selekcji najbardziej informacyjnych danych. Jest to cenna rzecz w stałym monitoringu środowiska. Z pewnością zasoby GUS czy BDOT nie są aktualizowane z taką dokładnością jak pozyskiwane co kilka dni obrazy satelitarne Sentinel-2, więc należało się spodziewać pewnych nieścisłości, ale te niedokładności zostały zidentyfikowane przez Doktoranta, co umożliwia wskazanie obszarów wymagających aktualizacji, dlatego uzyskane wyniki nie tylko dostarczają nowych, jakościowo cennych danych, ale także wskazują, które dane przestrzenne (dostępne w oficjalnych zasobach Polski) wymagają aktualizacji, co więcej opracowane metody wskazują konkretne fragmenty, które nie korelują się z aktualnymi danymi satelitarnymi. Jest to cenne osiągnięcie metodyczne.

Powyższe elementy są bardzo dobrze udokumentowane źródłami literaturowymi cytowanymi nie tylko w rozprawie, ale także w publikacjach stanowiących główny trzon analizowanej pracy. Warto podkreślić, że wszystkie te artykuły opublikowane są w bardzo dobrze znanych czasopismach międzynarodowych, gdzie profesjonalny skład redakcyjny, jak i zestaw międzynarodowych recenzentów dopracował zarówno stronę merytoryczną, graficzną, jak i redakcyjną publikacji. Potwierdza to wysoką pozycję osiągnięcia naukowego i jego potencjał naukowy. Z racji na fakt, iż publikacje zostały opublikowane w ostatnich kilkunastu miesiącach, cytowania poszczególnych opracowań nie są znaczące, tj. na dzień 10.05.2022 baza Web of Science wykazuje 8 cytowań, w tym 5 bez autocytowań. Jednakże nie mam wątpliwości, że z racji na zawartość merytoryczną wartości te będą szybko rosły.



UNIwersytet Warszawski

Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością tła teoretycznego przygotowanej rozprawy, dotyczy to zarówno stosowanych metod i ich alternatywnych rozwiązań, jak i znajomości literatury. Są to cenne elementy świadczące o aktualności proponowanych rozwiązań.

Z punktu widzenia recenzenta pewnym wyzwaniem jest ocena wkładu autorskiego Doktoranta w opracowaniu, tym bardziej, że poszczególni współautorzy w swoich oświadczeniach w sposób opisowy wykazali swój wkład, co w wielu przypadkach się pokrywa, ale na uwagę zwraca fakt, iż Doktorant jest pierwszym autorem trzech publikacji, w jednej publikacji jest jedynym autorem, a w pierwszej, gdzie wykazany jest na 4 z 5 pozycji, to wyraźnie wskazane jest, że pierwszych czterech współautorów ma identyczny wkład w powstanie publikacji. Pewnym zaskoczeniem jest to, że Promotor rozprawy, który odpowiada za kształt i zakres badań nie znajduje się w gronie współautorów większości publikacji. Myślę, że taka sytuacja nie jest właściwa, gdyż młody badacz powinien zdobywać swoje doświadczenie naukowe pod okiem doświadczonego badacza.

Mocną stroną opracowania jest fuzja danych rastrowych i wektorowych, danych obiektywnie identyfikowalnych w środowisku przyrodniczym, jak i miar społeczno-gospodarczych.

Pracę czyta się dobrze, jest ona zrozumiała i ciekawa merytorycznie. Pojedyncze błędy stylistyczne, językowe czy też edycyjne nie wpływają na jakość pracy.

W recenzowanej pracy nie znajduję słabych punktów, natomiast kilka rzeczy powinno być przedmiotem dyskusji:

- Zastosowane metody i badania bazują na bardzo bogatej treści struktury i tekstury kilkukanałowych obrazów, najczęściej z zakresu widzialnego i bliskiej podczerwieni, co jest typowe dla wysokorozdzielczych zobrazowań lotniczych czy też satelitarnych. Jest to zgodne z aktualnie rozwijanymi kierunkami badań w światowej nauce, ale zabrakło mi porównania z bogatą rozdzielczością spektralną obrazów Sentinel-2, czy też wieloczasowymi analizami bazującymi na danych Sentinel-2, które oferują bardzo dobre wyniki poprzez uchwycenie fenologicznej zmienności środowiska. Jest to bardzo cenne w kartowaniu pokrycia terenu i istotne podczas analiz obejmujących duże powierzchnie terenu pokryte przez roślinność.
- Doktorant znaczną część analiz oparł o wysokorozdzielcze ortofotomapy kartując formy w średnich skalach. Z jednej strony wykorzystane dane cechują się centymetrowymi dokładnościami przestrzennymi, umożliwiającymi identyfikację poszczególnych części koron drzew, a z drugiej strony efektem prac są mapy w skalach, w których trudno identyfikować całe drzewa. Myślę, że interesującym rozwiązaniem mogłoby być porównanie osiągniętych wyników ze scenariuszem bazującym na skompresowanych obrazach PCA i specjalistycznych teledetekcyjnych wskaźnikach roślinności.

Uwagi

- Rozdział 2. *Problem badawczy* powinien nazywać się *Założenia pracy*, gdyż oprócz jasno zdefiniowanych problemów, Doktorant zaprezentował swoją koncepcję pracy



UNIwersytet Warszawski

(wybór narzędzi oraz obszarów badań), a także cele pracy, które powinny być dokładniej wyeksponowane.

- Dyskusja uzyskanych wyników powinna zawierać więcej bezpośrednich odniesień do własnych, najcenniejszych wyników i porównać je do wyników uzyskanych przez innych badaczy w celu wykazania przewagi zaproponowanych rozwiązań, które zdecydowanie należą do najważniejszych obecnie stosowanych rozwiązań.
- W spisie literatury, w kilku pozycjach brakuje danych bibliometrycznych, np. Szaleniec, M., Tadeusiewicz, R. (2015). *Lexicon on Neural Networks*;
- W ramach osiągnięcia naukowego publikacja nr 5 powinna być wykazana jako pierwsza, gdyż jest to przegląd literatury, kładący fundament pod aktualnie stosowane rozwiązania metodyczne. Publikacja ta uzasadnia stosowanie zaproponowanych rozwiązań przez Doktoranta.

Wniosek wraz z uzasadnieniem co do spełnienia przez recenzowaną rozprawę doktorską warunków określonych w przepisach prawa

Osobiście bardzo pozytywnie oceniam rozprawę mgr. Macieja Adamiaka, pt.: *Wykorzystanie technik uczenia maszynowego i teledetekcji do wspomaganie interpretacji przestrzeni geograficznej*, ponieważ Doktorant w sposób metodyczny łączy zarówno dane rastrowe, jak i wektorowe w celu uzyskania nowych jakościowo informacji. Całość jest dobrze osadzona w teorii, a także udokumentowane są poszczególne składowe i skutecznie jest oceniany proces przetwarzania danych. Autor zebrał bogaty materiał dokumentacyjny, który został gruntownie przeanalizowany, zastosował odpowiednie procedury i zaproponował własne autorskie rozwiązania, które pozwoliły osiągnąć zamierzone cele. Uzyskane wyniki znajdują praktyczne zastosowania w badaniach środowiska, w planowaniu przestrzennym, modelowaniu środowiska przyrodniczego, a także w rozwoju gospodarczym Polski.

Rozprawa doktorska prezentuje bogatą wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie nauk o Ziemi i środowisku oraz potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej; dotyczy to realizacji dobrze zaplanowanych badań bazujących na prawidłowo zdefiniowanym problemie naukowym, a także oryginalności stosowanych rozwiązań, które znajdują zastosowania w sferze gospodarczej i społecznej.

Zgodnie z odpowiednimi dokumentami, w tym przepisami ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. w pełni popieram kontynuację przewodu doktorskiego zmierzającego do publicznej obrony, jednocześnie wnoszę o wyróżnienie pracy za swoją oryginalność zastosowanych rozwiązań teoretycznych i praktycznych, a także społeczno-gospodarczy potencjał uzyskanych wyników i opracowanych metod.

Z poważaniem

B. Zagajewski
Dr. hab. *Bogdan Zagajewski*