

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Joanna Pluto-Kossakowska

ORCID: 0000-0002-6533-1332, Scopus ID: 57190382736

2. Dyplomy i stopnie naukowe lub artystyczne

30/05/2023 Certificate of Masters of Didactics in Excellent Teaching. Centre for Educational Development, Aarhus University, Denmark.

12/12/2003 Doktor nauk technicznych w zakresie geodezji i kartografii, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. Praca doktorska pt.: „Analiza metod przetwarzania i interpretacji zdjęć satelitarnych SPOT dla potrzeb systemu informacji o glebach”, promotor prof. dr hab. inż. Stanisława Białousza.

30/08/1997 Certificate of Remote Sensing Master Course. Faculty of Geography, Gent University, Belgium.

30/01/1995 Magister inżynier na kierunku geodezja i kartografia, w zakresie fotogrametrii i kartografii, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej. Praca magisterska pt.: „Porównanie mapy użytkowania ziemi wykonanej na podstawie zdjęć satelitarnych metodą interpretacji wizualnej i klasyfikacji numerycznej”, promotor prof. dr hab. inż. Stanisława Białousza.

3. Informacja o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2011 – obecnie Adiunkt w Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

2019-2023 Kierownik ds. B&R w projekcie badawczo-wdrożeniowym “Development of technologies for automatic recognition of objects and their features from photogrammetric and remote sensing data, and construction of models for multi-criteria geo-information analysis” (NCBiR), Cenatorium S.A.

2005-2009 Join Research Centre, EC, Institute for the Protection and Security of the Citizen, MARS (Management of Agriculture with Remote Sensing) Unit, Italy. Project and Technical Officer. Various remote sensing research activities in Common Agriculture Policy.

2004-2005 stanowisko badawczo-techniczne w projektach badawczych realizowanych w Politechnice Warszawskiej: „Obiektowe podejście do klasyfikacji zdjęć satelitarnych VHR, rozwiniecie o elementy wiedzy dodanej i wiedzy

eksperckiej” (projekt KBN), „Opracowanie elementów wektorowych baz danych topograficznych oraz metod i technologii dyskretnej wielospektralnej analizy zmian powierzchniowych w oparciu o wysokorozdzielcze obrazy satelitarne” (projekt KBN).

2001-2003 realizacja zadań zleconych w projektach badawczych realizowanych w Politechnice Warszawskiej, m.in.: „System baz danych przestrzennych dla województwa mazowieckiego” (projekt celowy).

1995-2000 Studia doktoranckie na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

1994-1995 Biuro Geodezyjno-Projektowe GEOINWEST Łomianki, specjalista kartograf.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478).

Jako osiągnięcie naukowe stanowiące wkład w rozwój dyscypliny „inżynieria lądowa, geodezja i transport” przedkładałam dwa cykle tematyczne powiązanych ze sobą artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach z wykazu sporządzonego przez MNiSW. Są to następujące cykle tematyczne:

Cykl 1. Nowatorskie metody przetwarzania zobrażeń SAR do detekcji i analizy obiektów powierzchniowych

Cykl 2. Rozwój metodyk przetwarzania i oceny optycznych zobrażeń satelitarnych w monitorowaniu przestrzeni rolniczej

CYKL 1

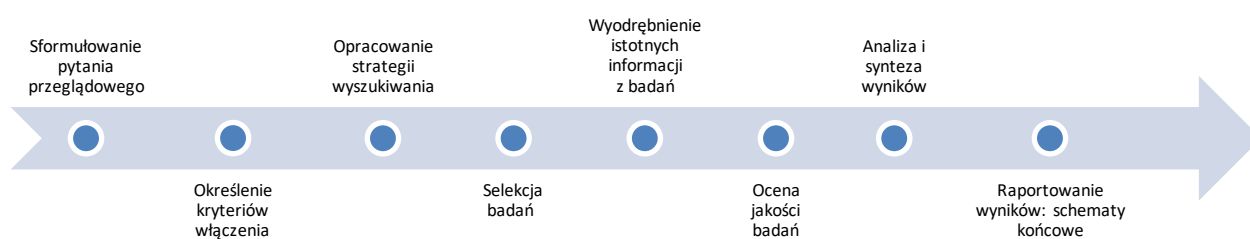
Nowatorskie metody przetwarzania zobrażeń SAR do detekcji i analizy obiektów powierzchniowych

Wstęp

W cyklu tematycznym nr 1 przedstawiam nowatorskie metody przetwarzania zobrażeń radarowych z aperturą syntetyczną (SAR) do detekcji i analizy obiektów powierzchniowych. W cyklu uwzględniłam kluczowe osiągnięcia z lat 2007-2025, przedstawiające moją drogę badawczą począwszy od fundamentalnych technik przetwarzania zobrażeń SAR do zaawansowanych metod głębokiego uczenia w klasyfikacji obszarów miejskich. Badania obejmują innowacje metodyczne w zakresie: (1) rozwoju technik analizy tekstury wykorzystujących macierz współwystępowania poziomów szarości (GLCM) do klasyfikacji obszarów miejskich, (2) oceny wieloczęstotliwościowych systemów SAR (pasma C i X) dla

różnych zastosowań, (3) implementacji zaawansowanych podejść uczenia maszynowego, w tym splotowych sieci neuronowych do segmentacji semantycznej, oraz (4) ustanowienia ram operacyjnych do monitorowania ryzyka powodziowego oraz kartowania katastralnego. Każda publikacja została przedstawiona w skrótowym ujęciu osiągniętych efektów, najważniejszych wniosków wynikających z przeprowadzonych badań oraz mojego oryginalnego wkładu naukowego. Na koniec omówienia cyklu zaprezentowałam syntezę całości, powiązania tematyczne publikacji i innowacje metodyczne, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości implementacyjnych.

Analizę ewolucji metodycznej i tematycznej konsekwencji w zastosowaniach SAR przedstawiłam poprzez systematyczny przegląd własnych artykułów naukowych zgodnie z protokołem PROSPERO¹ jak na Ryc. 1.



Ryc. 1. Schemat przeglądu i analizy publikacji w cyklu tematycznym nr 1..

Kryteria włączenia

- Badania koncentrujące się na metodykach przetwarzania zobrażeń SAR, w tym danych polarymetrycznych;
- Badania obejmujące detekcję obiektów powierzchniowych, klasyfikację i segmentację z wykorzystaniem zobrażeń SAR;
- Zastosowania w dyscyplinie inżynierii lądowej, geodezji i transportu;
- Publikacje recenzowane, aktualne z kompletnymi metodykami.

Kryteria oceny jakości

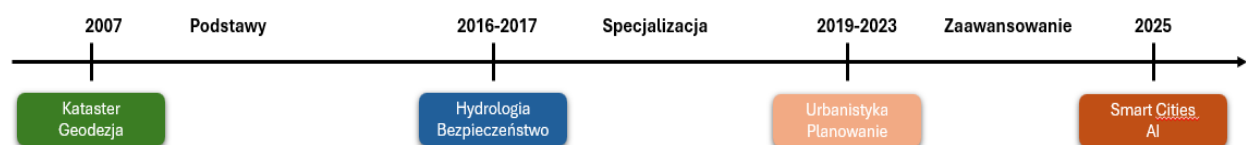
- Rygor metodologiczny i powtarzalność oraz jasny opis technik przetwarzania danych;
- Statystyczna ważność wyników;
- Praktyczne zastosowanie w docelowych dziedzinach;
- Innowacyjność metod przetwarzania danych SAR.

¹ PROSPERO (Prospective Register of Systematic Reviews)- międzynarodowy rejestr przeglądów systematycznych, prowadzony przez ośrodek upowszechniania przeglądów z Uniwersytetu w Yorku <https://www.crd.york.ac.uk/prospero/>

Chronologia prowadzonych badań

Cykl wybranych publikacji obejmuje lata 2007-2025 (Ryc. 2), reprezentując trzy odrębne fazy:

- Faza fundamentalna (2007):** Ustanowienie podstawowych technik przetwarzania SAR do monitorowania pokrycia terenu i pomiarów działek rolnych.
- Faza rozwoju (2016-2019):** Zaawansowane badania porównawcze w zastosowaniach hydrograficznych, tj. do detekcji i monitorowania lodu rzecznego, oraz do detekcji podtopień i oceny ryzyka powodziowego.
- Faza innowacji (2023-2025):** Integracja technik uczenia maszynowego, w tym uczenia głębokiego na przykładzie analizy obszarów miejskich.



Ryc. 2. Ewolucja metodyczna prezentowanych badań w cyklu publikacji nr 1.

Wykaz publikacji tworzących cykl przedstawiono chronologicznie w poniższej tabeli. Pełną analizę bibliometryczną przedstawiam w Załączniku 4.

Lista publikacji cyklu nr 1
[P1]. Pluto-Kossakowska, J. , Grandgirard, D., & Kerdiles, H. (2007). Assessment of Parcel Area Measurement based on VHR SAR Images. W Proceedings of the 2007 Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc 2007). Remote Sensing and Photogrammetry Society. Rozdział w monografii. https://hal.science/hal-04419026v1/document
[P2]. Pluto-Kossakowska, J. , & Kerdiles, H. (2007). Control of Land Cover during Winter using Radar Data. W Conference Proceedings of the 26th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories - New Developments and Challenges in Remote Sensing (s. 481-490). Millpress Science Publishers. Rozdział w monografii. https://www.earsel.org/symposia/2006-symposium-Warsaw/index.html
[P3]. Łoś, H., Osińska-Skotak, K., Pluto-Kossakowska, J. , Bernier, M., Gauthier, Y., Jasek, M., & Roth, A. (2016). Comparison of C-Band and X-Band polarimetric SAR data for river ice classification on the Peace River. ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B7, 543-548. Pkt. MNiSW 15 https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B7-543-2016
[P4]. Łoś, H., Osińska-Skotak, K., Pluto-Kossakowska, J. , Bernier, M., Gauthier, Y., & Pawłowski, B. (2019). Performance evaluation of quad-pol data compared to dual-pol SAR data for river ice classification. European Journal of Remote Sensing, 52 (sup1), 79-95. Pkt. MNiSW 70, IF 2,8 https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1540914

[P5]. Pluto-Kossakowska, J. , Łoś, H., Osińska-Skotak, K., & Weintrit, B. (2017). The concept of SAR satellite data use for flood risk monitoring in Poland. W 2017 Signal Processing Symposium (SPSymo) (s. 1-5). IEEE. Pkt. MNiSW 20 https://doi.org/10.1109/SPS.2017.8053662
[P6]. Pluto-Kossakowska, J. , & Giczán, J. (2023). Analysis of Built-Up Classes in Urbanised Zones Using Radar Images. Quaestiones Geographicae, 42(3), 195-211. Pkt. MNiSW 100, IF 1,2 https://doi.org/10.14746/quageo-2023-0032
[P7]. Pluto-Kossakowska, J. , & Wangiyana, S. (2025). Supervised Semantic Segmentation of Urban Area Using SAR. Remote Sensing, 17(9), 1-21. Pkt. MNiSW 100, IF 4,8 https://doi.org/10.3390/rs17091606

P1: Assessment of parcel area measurement based on VHR SAR images.

Ocena pomiaru powierzchni działek na podstawie obrazowań SAR VHR.

Autorzy: Joanna Pluto-Kossakowska, D. Grandgirard, H. Kerdiles: Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc) Proceedings, Newcastle, United Kingdom. pp. 426. 2007. **Dostęp:** <https://hal.science/hal-04419026v1/document>

Moim oryginalnym wkładem jest opracowanie koncepcji badań, opracowanie metodyki przetwarzania i analizy danych SAR, zaplanowanie i przeprowadzenie testów, analiza i interpretacja wyników, wnioskowanie oraz wiodący udział w przygotowaniu publikacji. Praca powstała w ramach opracowania rekomendacji z wykorzystania obrazowań SAR do pomiaru działek rolnych w Land Parcel Identification System (LPIS) krajów członkowskich UE.

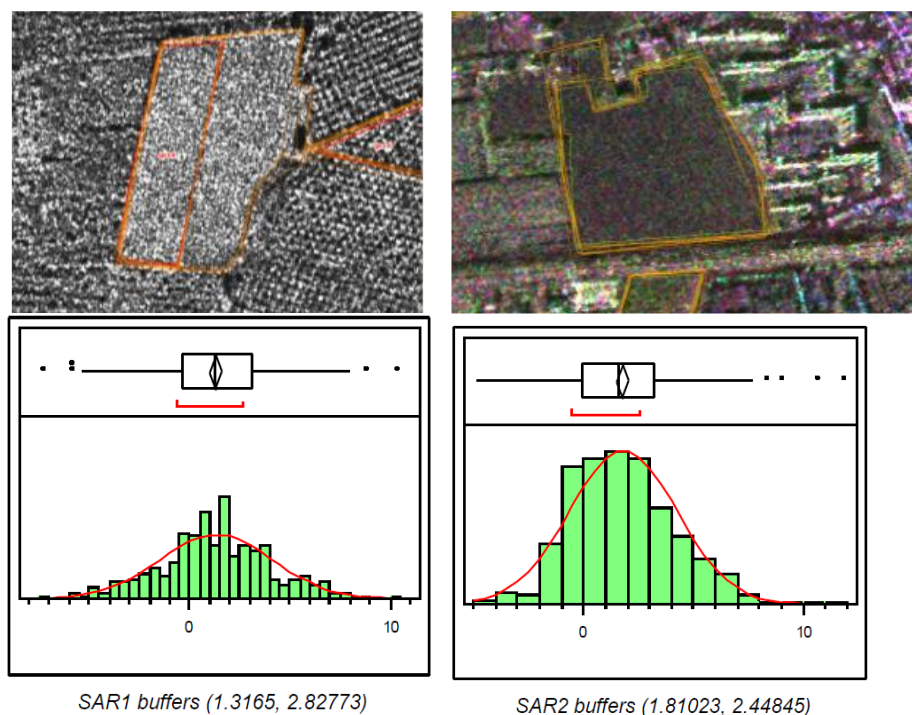
W publikacji przedstawiłam pionierskie badania możliwości wykorzystania obrazowań SAR o bardzo wysokiej rozdzielczości do pomiaru powierzchni działek rolnych w systemie LPIS na obszarach o dużym zachmurzeniu, jako alternatywy dla obrazów optycznych VHR. Celem badania było ustalenie, czy działki rolnicze można skutecznie zidentyfikować na podstawie danych VHR SAR, podobnie jak w przypadku identyfikacji na podstawie danych optycznych VHR oraz statystyczna ocena dokładności pomiarów powierzchni uzyskanych na podstawie tych obrazowań. W badaniu wykorzystałam dane z lotniczych sensorów SAR w paśmie X, pozyskane z obszarów testowych we Francji. Działki pomierzono wielokrotnie przez niezależnych operatorów zarówno na przetworzonych obrazowaniach SAR, jak i ortofotomapie lotniczej (ADS40). Celem analizy było wyznaczenie przedziału ufności dla szerokości bufora wokół obwodu działki i określenia granicy tolerancji (Ryc. 3) zgodnie z wymaganiami WPR². Do sprawdzenia normalności wartości buforów wykorzystano testy statystyczne, w tym m.in. Shapiro-Wilka. Przeprowadzono analizę wariancji (ANOVA) w celu zidentyfikowania czynników wpływających na zmienność pomiarów.

² WPR – Wspólna Polityka Rolna Unii Europejskiej, zamiennie z CAP – Common Agricultural Policy

Kluczowe rezultaty

1: Precyzyjny pomiar powierzchni działek na zobrazeniach VHR SAR

Opracowałam metodykę wyznaczania granic działek i obliczania powierzchni z wykorzystaniem technik pomiaru powierzchni na zobrazeniach VHR SAR. Metoda obejmuje techniki interpretacji, kartowania i ekstrakcji granic oraz procedury obliczania powierzchni dla zastosowań w LPIS. W testach osiągnięto submetrową dokładność w obliczeniach powierzchni działek rolnych, z metrykami dokładności spełniającymi standardy geodezyjne dla wyznaczania granic działek. Techniki identyfikacji i kartowania działek rolnych dostosowałam do zobrażeń VHR SAR, w tym uwzględniłam algorytmy przetwarzania i eliminacji zniekształceń geometrycznych oraz przygotowania wizualizacji do pomiaru powierzchni. Średnie wartości bufora były dodatnie, co wskazuje na tendencję do przeszacowywania powierzchni działek w przypadku danych SAR. Szacowane tolerancje wyznaczenia granicy działek tzw. bufora wyniosły 4,8 m dla SAR w pojedynczej polaryzacji (WP³ 1m), 4,1 m dla SAR quad-pol w postaci kompozycji barwnej (WP 2m) i 2,9 m dla ortofotomapy RGB (WP 1m).



Ryc. 3. Przykłady pomiaru działek na danych VHR SAR, kompozycja polarymetryczna (SAR2) po lewej i pojedyncza polaryzacja (SAR1) po prawej. Poniżej rozkład wartości buforowych populacji ze średnią i odchyleniem standardowym (odpowiednio dla SAR1 i SAR2) (P1)

³ WP – wymiar terenowy piksela w zobrazeniu [w metrach] określa, jak duży obszar w terenie jest reprezentowany przez jeden piksel obrazu. W systemach SAR rozdzielczość przestrzenna składa się z dwóch niezależnych komponentów: zakresu (w poprzek toru lotu) i azymutu (wzdłuż toru lotu), które po przetworzeniach ostatecznie skutkują wynikowym wymiarem piksela (WP) w zobrazeniu.

2: Integracja z innymi metodami pomiarowymi

Porównawcze oceny wyników między metodami opartymi na SAR a tradycyjnymi metodami pomiarowymi, pozwoliły ustanowić przedziały ufności, granice błędów i optymalne strategie integracji dla różnych scenariuszy pomiarowych i wymagań dokładności. Analiza wariancji (ANOVA) wykazała, że typ obrazu i rozdzielczość przestrzenna były głównymi czynnikami wpływającymi na dokładność pomiaru powierzchni działek. Nieco lepsze wyniki zaobserwowano w przypadku danych SAR quad-pol (WP 2m) w porównaniu z danymi SAR w pojedynczej polaryzacji (WP 1m). Łączenie pomiarów na obrazowaniach VHR SAR z tradycyjnymi technikami geodezyjnymi (wymaganymi w kontroli in-situ) tworzy hybrydowe podejście, które wykorzystuje zalety zarówno danych SAR, jak i konwencjonalnych metod pomiarowych.

Dyskusja i podsumowanie

Osiągnięta skuteczność wykazała ograniczoną przydatność danych SAR, a badanie ujawniło wyzwania związane z identyfikacją działek i dokładnością pomiaru. Obserwowane tolerancje buforowe przekraczały wymagania LPIS. Stąd do implementacji w ramach WPR rekomendowałam wykorzystanie obrazowań VHR SAR jedynie w sytuacji kiedy nie jest możliwy pomiar na obrazowaniach optycznych lub w terenie. Zasugerowałam konieczność dalszych ulepszeń w zakresie danych SAR, aby umożliwić szersze zastosowanie tej technologii w kontroli gruntów rolnych jako praktyczne wsparcie dla wielkoskalowego pomiaru działek rolnych i obserwacji praktyk rolniczych. Na ówczesne czasy te badania były istotne także ze względu na przygotowywane do wdrożenia satelitarnych systemów CosmoSkyMed i TerraSAR-X.

P2: Control of land-cover during winter using SAR data.

Kontrola pokrycia terenu podczas zimy z wykorzystaniem danych SAR.

Autorzy: Joanna Pluto-Kossakowska, H. Kerdiles, EARSeL Symposium Conference Proceedings: New Developments and Challenges in Remote Sensing, ISBN 978-90-5966-053-3, (s. 481-490). Millpress Science Publishers, 2007. Dostęp:
<https://www.earsel.org/symposia/2006-symposium-Warsaw/index.html>

Moim oryginalnym wkładem jest: koncepcja badań, opracowanie metodyki przetwarzania danych SAR, przeprowadzenie testów, analiza i opracowanie wyników oraz wnioskowanie, a także przygotowanie publikacji. W badaniu zweryfikowałam przydatność obrazów SAR do monitorowania pokrycia terenu, w szczególności do detekcji zaoranych działek i odkrytej gleby w okresie zimowym. Reforma WPR (KE) z 2005 r. wprowadziła program utrzymania dobrych praktyk rolniczych i środowiskowych (GAEC), zobowiązujący rolników do ochrony gleby przed erozją, co obejmuje m.in. utrzymywanie pokrywy roślinnej oraz zakaz orania niektórych gruntów ornych. Celem badań była ocena skuteczności danych SAR w identyfikacji zaoranych działek i z odkrytą glebą oraz opracowanie rekomendacji dla agencji płatniczych w krajach członkowskich w wykorzystaniu obrazowań SAR. Ówczesnie lista wyzwań jakie trzeba było pokonać przy opracowaniu metodyki monitorowania użytków gruntowych w okresie zimy zawierała m.in. proces przetwarzania danych SAR z uwzględnieniem sezonowych zmian warunków meteorologicznych oraz charakterystyki odbiciowości podczas dużego zachmurzenia i częstych opadów.

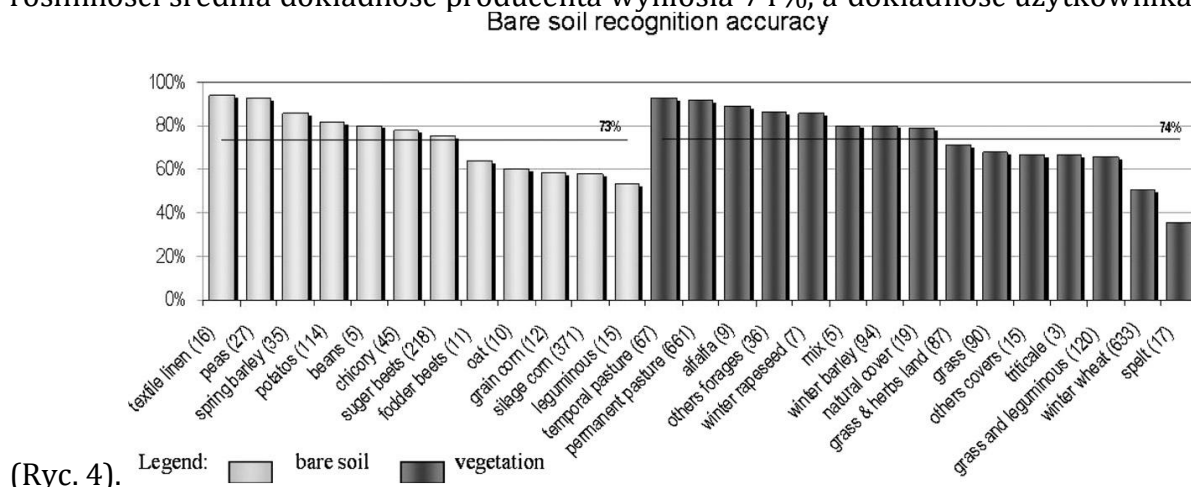
Kluczowe rezultaty

1: Metodyka sezonowego przetwarzania danych SAR do monitorowania użytkowania na gruntach ornych w zimie

Techniki przetwarzania danych dostosowałam do warunków zimowych oraz norm dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (GAEC). Opracowałam proces przetwarzania danych SAR, który uwzględniał sezonowe zmiany warunków na powierzchni, w tym wpływ śniegu i lodu na wartości wstecznego rozpraszania (σ_0). Metoda obejmowała procesy kalibracji i klasyfikacje w podejściu nadzorowanym i nienadzorowanym na danych wieloczasowych. Skalibrowane parametry przetwarzania danych SAR oraz specyficzne sygnatury uwzględniające wpływ pokrywy śnieżnej, zamrożonego gruntu czy tworzenia się lodu wspierały proces automatycznej klasyfikacji danych SAR w okresie zimy.

2: Możliwości wykrywania zmian zimowych

Opracowane algorytmy wykrywania zmian pokrycia terenu podczas okresów zimowych przy użyciu charakterystyk danych SAR, uwzględniały sezonowe zmiany sygnatur i zimowe warunki w terenie. Sygnatury wieloczasowe dla gruntów zaoranych wykazywały ogólnie wyższe wartości współczynnika wstecznego rozpraszania (σ_0) w porównaniu z roślinnością. Wskazano progi wykrywania zmian i metryki dokładności dla zimowego monitorowania nieuprawnionych zmian w użytkowaniu terenu, jak np. orka. W podejściu nadzorowanym zidentyfikowano zaorane działki osiągając dokładność producenta 75%. Jednak dokładność użytkownika była niska wskazując, że 33% działek zidentyfikowanych jako zaorane było faktycznie w takim stanie w terenie. Omyłki dotyczyły głównie gruntów obsianych (z niską roślinnością) z powodu podobnych wartości współczynnika rozproszenia wstecznego. Średnia dokładność producenta dla klasy odkrytej gleby wyniosła 73%. W przypadku klasy roślinności średnia dokładność producenta wyniosła 74%, a dokładność użytkownika 84%.



(Ryc. 4). Legend: bare soil vegetation
 Ryc. 4. Ocena dokładności detekcji odkrytej gleby i roślinności w klasyfikacji nienadzorowanej k-Means. W nawiasach liczba działek dla każdego rodzaju uprawy do walidacji oraz średnia dokładność oznaczona linią ciągłą. (P2)

Dyskusja i podsumowanie

W badaniu wykazałam możliwości dla zimowego monitorowania użytkowania gruntów ornych opartego na danych SAR, rozwiązując krytyczne ograniczenia misji optycznych i

zapewniając ciągłość dla zarządzania obszarami rolniczymi w sezonie o niekorzystnych warunkach meteorologicznych. Rozróżnienie odkrytej gleby od działek z roślinnością niską jest wykonalne, przy dokładności ogólnej wynoszącej powyżej 70%. Identyfikacja takich działek wspiera selekcję i minimalizuje konieczność wizyt terenowych na obszarach wysokiego ryzyka nieprzestrzegania praktyk dobrej kultury rolnej (GAEC). Podsumowując, dane SAR stanowią alternatywę dla obrazowania optycznego w rozpoznawaniu i monitorowaniu odkrytej gleby w okresie zimowym.

P3: Comparison of C-band and X-band polarimetric SAR data for river ice classification on the Peace River.

Porównanie polarymetrycznych danych SAR pasma C i X w klasyfikacji lodu rzeczno-

Autorzy: H. Łoś, K. Osińska-Skotak, **Joanna Pluto-Kossakowska**, M. Bernier, Y. Gauthier, M. Jasek, A. Roth. ISPRS International Archives, 2016
DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B7-543-2016

Moim autorskim wkładem jest: udział w koncepcji badań i opracowaniu metodyki przetwarzania danych SAR i interpretacji wyników. W publikacji przedstawiono badania dot. skuteczności danych polarymetrycznych SAR w paśmie C i X w klasyfikacji lodu rzeczno-. Porównano wyniki klasyfikacji Wishart na danych TerraSAR-X (pasmo X) i RADARSAT-2 (pasmo C) w celu oceny ich przydatności do identyfikacji rodzajów lodu rzeczno- na rzece Peace w Kanadzie. Głównym celem była analiza danych pozyskanych w pasmach X i C oraz w różnych konfiguracjach polaryzacyjnych, a także ocena ich przydatności w monitorowaniu lodu na rzece.

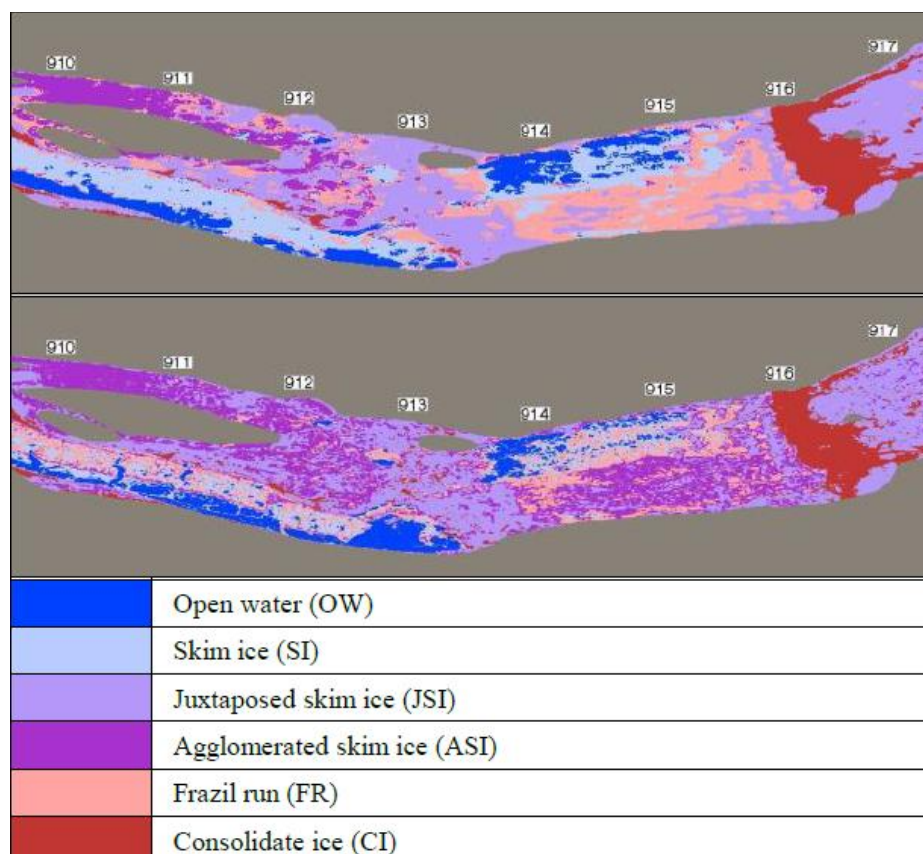
Kluczowe rezultaty

1: Analiza sygnatur rozpraszania wstecznego do klasyfikacji lodu

Analiza wartości współczynnika rozpraszania wstecznego dla różnych typów lodu została wykonana dla danych z obu sensorów TerraSAR-X i RADARSAT-2 w polaryzacjach HH i VV. Podobne wartości rozpraszania wstecznego zaobserwowano dla ustalonych klas lodu zarówno w paśmie C, jak i paśmie X. Lód skonsolidowany (CI) wykazał najwyższe wartości rozpraszania wstecznego (około -5 dB do 0 dB) ze względu na chropowatość powierzchni, co sprawia, że jest on dobrze odseparowany od innych klas. Otwarta woda (OW) miała najniższe wartości (-30 dB do -20 dB). Przy wyższych kątach padania lód cienki/inicjalny (SI) wykazywał wartości rozpraszania wstecznego podobne do otwartych wód. Inne klasy, takie jak śryż, lód połączony i lód stłoczony, wykazywały wartości od -25 dB do -5 dB. Wysokie kąty padania (29° dla TerraSAR-X, 40° dla RADARSAT-2) powodowały, że wartości lodu inicjalnego (skórnego) zbliżały się do sygnatur otwartej wody. Szczegółowa charakterystyka rozpraszania wstecznego zapewniła podstawę dla automatycznej klasyfikacji lodu. Zidentyfikowano trzy główne wyzwania klasyfikacji Wishart: podobieństwo sygnatur lodu inicjalnego i otwartej wody, słaba identyfikacja lodu aglomerowanego (ASI) oraz granic lodu inicjalnego i śryżu (Ryc. 5). W badaniu zaproponowano rozwiązania, w tym selekcję optymalnego kąta padania i wykorzystanie dwupolaryzacji.

2: Porównanie wieloczęstotliwościowych danych SAR do klasyfikacji lodu

Innowacja metodyczna obejmowała analizę potencjału danych SAR TerraSAR-X (pasmo X) i RADARSAT-2 (pasmo C) w monitorowaniu lodu rzecznego na rzece Peace. Wykorzystano nadzorowaną klasyfikację Wishart z dodatkowym przetwarzaniem filtrem Lee. Porównano metryki skuteczności i optymalne parametry przetwarzania dla każdego pasma X i C. Ogólna dokładność przekroczyła 80% dla wszystkich zbiorów danych z obu systemów satelitarnych, z podobnymi wzorcami błędów klasyfikacji. Lód skonsolidowany konsekwentnie osiągał najlepsze wyniki klasyfikacji w obu częstotliwościach. Najwyższa dokładność użytkownika i producenta była dla klasy lodu skonsolidowanego (CI), niezależnie od zestawu danych (częstotliwości i polaryzacji). Zidentyfikowano kilka problemów, w tym błędną klasyfikację między lodem cienkim/inicjalnym (SI) a otwartą wodą (OW) ze względu na ich podobne gładkie powierzchnie i słabe rozpraszanie wsteczne. Rozróżnienie między lodem stłoczonym pływającym (ASI) a lodem połączonym pływającym (JSI) również było trudne, ponieważ oba rodzaje lodu pochodzą z lodu pływającego, ale różnią się stopniem koncentracji płyt lodowych. Ponadto lód pływający i śrzyż były czasami błędnie klasyfikowane, szczególnie na granicach, gdzie chropowatość powodowała wyższe rozpraszanie wsteczne.



Ryc. 5. Wynik klasyfikacji lodu rzecznego 08.12.2013 r. z danych RADARSAT-2 (górny obraz) i TerraSAR-X (dolny obraz). (OW) Woda otwarta, (SI) Lód inicjalny, (JSI) Lód zestawiony, (ASI) Lód stłoczony, (FR) Śrzyż, (CI) Lód skonsolidowany (P3)

Dyskusja i podsumowanie

Badanie potwierdziło, że zarówno dane TerraSAR-X, jak i RADARSAT-2 wykazały podobne możliwości w zakresie monitorowania lodu na rzece Peace w Kanadzie. Chociaż

zaobserwowano pewne różnice w klasyfikacji, ogólna dokładność pozostała podobna dla obu systemów. Dodatkowe analizy wykazały, że kąt padania ma większy wpływ na wartości rozpraszania wstecznego niż częstotliwość oraz przewagę danych o podwójnej polaryzacji nad danymi o pojedynczej polaryzacji dla lepszego rozróżnienia rodzajów lodu. Przeprowadzone badanie zapewniło wytyczne dla wyboru systemów SAR dla zastosowań monitorowania lodu rzeczno. Wykazana równoważność między systemami umożliwia elastyczną selekcję danych na podstawie dostępności, kosztów i wymagań pokrycia obszaru zobrazowaniami.

P4: Performance evaluation of quad-pol data compared to dual-pol SAR data for river ice classification.

Ocena danych SAR dual-pol w porównaniu z danymi quad-pol do klasyfikacji lodu rzeczno.

Autorzy: H. Łoś, K. Osińska-Skotak, **Joanna Pluto-Kossakowska**, M. Bernier, Y. Gauthier, B. Pawłowski, European Journal of Remote Sensing, 2019.

DOI: 10.1080/22797254.2018.1540914

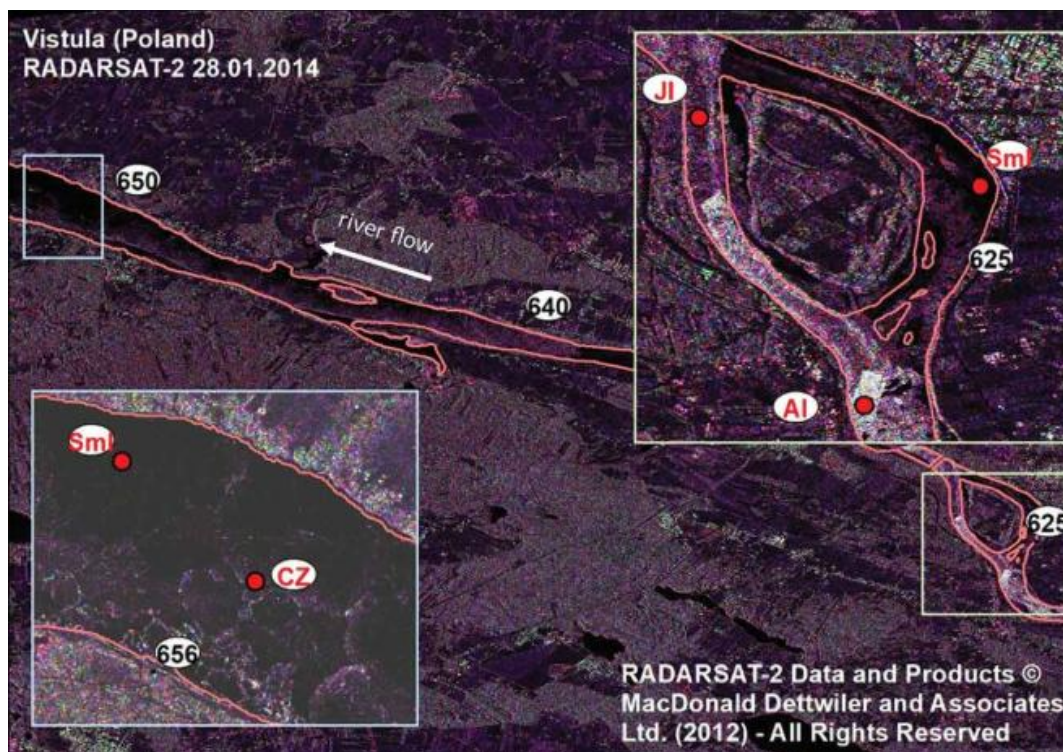
Moim autorskim wkładem jest: udział w koncepcji badań i opracowania metodyki przetwarzania danych SAR, wnioskowanie oraz przygotowanie publikacji. W badaniu oceniono wydajność danych SAR o dwóch polaryzacjach (dual-pol) w porównaniu z danymi o czterech polaryzacjach (quad-pol) w klasyfikacji lodu rzeczno. Badanie miało na celu zrozumienie wpływu liczby kanałów polaryzacyjnych na charakter i ilość informacji niezbędnych do poprawnej klasyfikacji lodu rzeczno. Metodyka obejmowała udoskonalone filtrowanie macierzy kowariancji podejściem Lee i kompleksową ocenę cech polarymetrycznych do rozróżnienia typów lodu. Do klasyfikacji nadzorowanej wykorzystano klasyfikator Wisharta, oparty na podejściu Bayesa. Pola treningowe i kontrolne zostały wybrane niezależnie poprzez wizualną interpretację danych SAR, uzupełnioną fotointerpretacją danych Landsat i zdjęć lotniczych na dwóch obszarach badawczych (Peace River, rzeka Wisła). Ocena końcowa obejmowała analizę rozdzielności klas przy użyciu odległości Hellingera i odległości Bhattacharyya, a także oszacowanie dokładności klasyfikacji nadzorowanej Wisharta.

Kluczowe rezultaty

1. Charakterystyka typów lodu i ich klasyfikacja

Szczegółowa charakterystyka typów lodu rzeczno w funkcji zwartości i chropowatości, tj.: lód gładki, lód skonsolidowany (zbity) i śryż, została opracowana przy użyciu współczynnika wstecznego rozpraszania z danych RADARSAT-2 w czterech konfiguracjach polaryzacji: VV, VH, HH, HV (Ryc. 6). To opracowanie rozwiązywało wyzwania klasyfikacyjne, w tym efekty graniczne i przejścia typów lodu. Ustalono konkretne zakresy współczynnika wstecznego rozpraszania (σ_0) dla każdego typu lodu. Lód skonsolidowany wykazywał najwyższe wartości σ_0 z powodu szorstkości powierzchni. Badanie zidentyfikowało trzy główne wyzwania klasyfikacyjne: rozróżnienie lodu inicjalnego i otwartej wody, rozróżnienie lodu zbitego i śryżu oraz efekty graniczne lodu inicjalnego i śryżu. Szczegółowa charakterystyka

typów lodu przedstawiona w publikacji zapewnia naukową podstawę dla automatycznych metod detekcji typów lodu.



Ryc. 6. Rodzaje pokrywy lodowej obserwowane na Wiśle: Sml – lód gładki. CZ – strefy styku między polami lodu gładkiego. JI – lód zestawiony głównie ze słomy. AI – lód zagregowany (wyższa chropowatość powierzchni niż słoma – JI). RADARSAT-2, 28.01.20214 w kompozycji RGB: HH-HV-VV. (P4)

2. Ocena polarymetrycznych danych SAR dla rozróżnienia typów lodu

Innowacja metodyczna polegała na zaawansowanej analizie danych SAR w czteropolaryzacji (quad-pol) i dwupolaryzacji (dual-pol) dla potrzeb klasyfikacji lodu rzecznej. Wykorzystano techniki dekompozycji polarymetrycznej i nadzorowaną klasyfikację Wishart'a. Ogólna dokładność klasyfikacji (OA) dla wszystkich zbiorów danych i mieściła się w zakresie od 81% do 99% ze współczynnikami kappa w zakresie 0,77-0,99. Metody porównawcze obejmowały także analizę rozdzielności (odległość Hellingera, odległość Bhattacharyya). Stwierdzono, że dane dual-pol i quad-pol dostarczają równoważnych informacji w przypadku jednolitej pokrywy lodowej jak na rzece Wiśle. Ogólna dokładność klasyfikacji była powyżej 80% dla wszystkich trybów polaryzacji. Zarówno zagregowany lód (AI), jak i lód gładki (Sml) zostały dobrze wykryte przez oba zestawy danych. Różnice zaobserwowano w przypadku złożonej pokrywy lodowej o dużej różnorodności i zmienności typów lodu jak na rzece Peace. Podczas gdy dane quad-pol wykazały rozdzielność dla wszystkich par klas, w niektórych kombinacjach dual-pol (np. HH+VV, VH+VV) była trudność z rozróżnieniem otwartej wody (OW) i lodu inicjalnego (SI). Jedynie kombinacja dual-pol HH+HV pozwoliła na lepsze rozróżnienie tych dwóch ostatnich klas. Rozróżnienie między otwartą wodą a gładkim lodem pozostawało wyzwaniem nawet w przypadku danych quad-pol, co było problemem zauważonym również w poprzednich badaniach (P3). Badanie wykazało również, że niektóre klasy lodu, takie jak różne stopnie lodu cienkiego (JSI) i (ASI),

nie były prawidłowo sklasyfikowane w klasyfikacji nadzorowanej, niezależnie od trybu polaryzacji. Łód skonsolidowany konsekwentnie osiągał najwyższą dokładność klasyfikacji we wszystkich konfiguracjach polarymetrycznych powyżej 93%.

Dyskusja i podsumowanie

Badanie wykazało, że dane quad-pol nie poprawiły znacząco dokładności klasyfikacji lodu rzecznego w porównaniu z danymi dual-pol, a dokładność klasyfikacji była bardzo podobna we wszystkich trybach polaryzacji. Problem błędnej klasyfikacji gładkiego lodu i otwartej wody nie został rozwiązany przez dane quad-pol. Badanie wykazało, że dane dwupolaryzacyjne zapewniają wystarczającą dokładność rozpoznania lodu na rzekach przy jednoczesnym zmniejszeniu złożoności metodyki. Co z kolei ma znaczące implikacje dla opłacalnego wdrożenia systemowego rozwiązania monitorowania lodu z wykorzystaniem danych SAR, jak np. Sentinel-1, które zapewniają zobrazowania w trybie dual-pol o szerokości pasma 250 km i częstym pozyskiwaniu co 2-3 dni na średnich szerokościach geograficznych.

P4: The concept of SAR satellite data use for flood risk monitoring in Poland.

Koncepcja wykorzystania danych satelitarnych SAR do monitorowania ryzyka powodziowego w Polsce.

Autorzy: Joanna Pluto-Kossakowska, H. Łoś, K. Osińska-Skotak, B. Weintrit: Signal Processing Symposium (SPSymposium), IEEE, 2017 **DOI:** 10.1109/SPS.2017.8053662

Moim oryginalnym wkładem jest: znaczący udział w opracowaniu metodyki przetwarzania danych SAR, analiza i opracowanie wyników oraz wnioskowanie, a także przygotowanie publikacji. W publikacji opisano koncepcję wykorzystania danych satelitarnych SAR do monitorowania ryzyka powodziowego w Polsce, opracowaną w ramach projektu SAFEDAM „Zaawansowane technologie wspomagające przeciwdziałanie zagrożeniom związanym z powodzią”. Projekt SAFEDAM (2015-2020) miał na celu stworzenie prototypowego systemu monitorowania wałów przeciwpowodziowych przy użyciu metod nieinwazyjnych, w tym danych z bezzałogowych platform powietrznych i obrazów satelitarnych (optycznych i radarowych). System został zaprojektowany tak, aby zapewnić automatyczne analizy danych przestrzennych i wizualizacji 3D dla służb hydrologicznych (IMGW) i zarządzania kryzysowego (Straż Pożarna), a także aby umożliwić udział społeczeństwa w monitorowaniu wałów przeciwpowodziowych. Wyniki były przetestowane przez jednostki obu służb i zostały przyjęte do dalszego rozwoju.

Kluczowe rezultaty

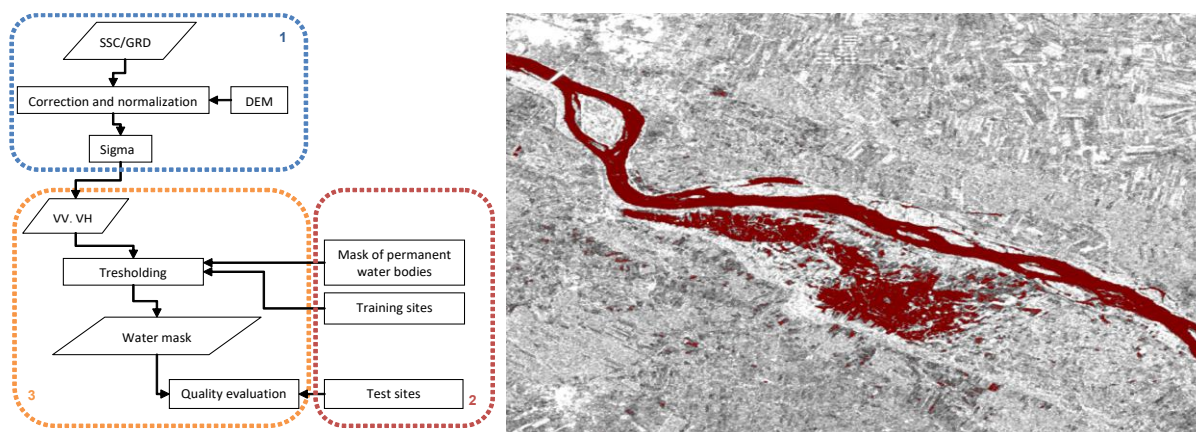
1: Monitorowanie ryzyka powodziowego

Innowacja polegała na opracowaniu nowej koncepcji wykorzystania danych satelitarnych SAR dla zastosowań monitorowania ryzyka powodziowego w różnorodnych warunkach hydrologicznych Polski. Ramy koncepcyjne integrowały technologię SAR z istniejącymi krajowymi systemami zarządzania kryzysowego i ustanawiały procedury przetwarzania operacyjnego (Ryc. 7). Ustanowiono parametry bazowe i specyfikacje przetworzeń danych SAR dostosowane do systemów rzecznych, topografii i wzorców powodziowych w Polsce.

Opracowano wskazania dla integracji z krajową infrastrukturą monitorowania w celu zapewnienia kompatybilności i skuteczności całego systemu.

2: Strategia integracji operacyjnej

Opracowano protokoły przetwarzania danych satelitarnych oraz połączenia ich wyników z systemami wspomagania decyzji. Proces obejmował przetwarzanie danych SAR do obrazów przedstawiających granice powierzchni wody z zastosowaniem progów wartości σ_0 (Ryc. 7). Warstwy zasięgu wody były porównywane z danymi referencyjnymi, oraz zdefiniowanymi zakresami dla stanów ostrzegawczych i alarmowych, a także z numerycznym modelem terenu (NMT) w połączeniu z wysokościami poziomu wody. W przypadku przekroczenia wartości progowych uruchamiany jest proces szczegółowego monitorowania wałów przeciwpowodziowych z wykorzystaniem danych o wyższej rozdzielczości przestrzennej np. z bezzałogowych statków latających (BSL). Analiza obrazów SAR potwierdza ich przydatność w identyfikacji obszarów zalanych i nasączonych wodą w wyniku powodzi lub podtopień. Dane Sentinel-1 są cenne do określenia zasięgu powierzchni wody, ale nie pozwalają one na szczegółową diagnozę stanu wałów przeciwpowodziowych lub szkód na małą skalę. Duże uszkodzenia powierzchniowe lub liniowe (co najmniej 20-30 metrów) można wykryć dopiero po wystąpieniu zdarzenia. Opracowane przez nas specyfikacje techniczne obejmowały harmonogramy przetwarzania danych, wymagania dokładności i metody integracji systemów odpowiednie dla monitorowania powodzi w skali kraju, wspierając prewencyjną ochronę dóbr.



Ryc. 7. Po lewej: Koncepcja przetwarzania danych SAR w systemie pozyskiwania informacji o obszarach zagrożonych powodzią. Po prawej: Wynik działania automatycznego wyodrębnienia maski wody na podstawie danych ENVISAT z dnia 16.06.2010 r. (P4)

Dyskusja i podsumowanie

Opracowana innowacyjna metodyka monitorowania ryzyka powodziowego w Polsce z wykorzystaniem danych SAR z Sentinel-1 może być skuteczna w wykrywaniu rozległych obszarów objętych powodzią. Jej ograniczenia w zakresie szczegółowej oceny stanu wałów przeciwpowodziowych wskazują na potrzebę wykorzystania dodatkowych źródeł danych, w tym także danych SAR o wyższej rozdzielczości przestrzennej, np. z samolotów czy BSL.

Proponowane ramy koncepcyjne stanowiły znaczący krok w kierunku operacyjnego monitorowania powodzi opartego na danych SAR w skali kraju. Strategia integracji zapewniła praktyczne wytyczne dla implementacji w odpowiednich instytucjach. Jest to niezbędne, aby czerpać korzyści z technologii SAR dla zarządzania ryzykiem powodziowym. Podejście w skali krajowej zapewnia kompleksowe wsparcie zarówno dla natychmiastowej reakcji do ochrony ludności, oceny szkód i planów odbudowy, jak i długoterminowego planowania infrastruktury przeciwpowodziowej.

P6: Analysis of built-up classes in urbanised zones using radar images.

Analiza klas zabudowy w strefach zurbanizowanych na obrazach radarowych.

Autorzy: Joanna Pluto-Kossakowska, J. Giczan. Quaestiones Geographicae, 2023

DOI: 10.14746/quageo-2023-0032

Moim oryginalnym wkładem jest: postawienie problemu badawczego, metodyka badań i koncepcja przetwarzania danych SAR, analiza i interpretacja wyników, wnioskowanie oraz redakcja publikacji. Głównym celem badań było określenie potencjału danych SAR w klasyfikacji obszarów zabudowanych rozróżnionych pod względem funkcji i gęstości zabudowy. Badanie miało również na celu sprawdzenie, czy cechy takie jak gęstość zabudowy i układ przestrzenny z obrazów teksturowych mogą poprawić identyfikację tych klas poza samymi wartościami odbicia.

Kluczowe rezultaty

1: Analiza tekstury GLCM w obszarach zurbanizowanych

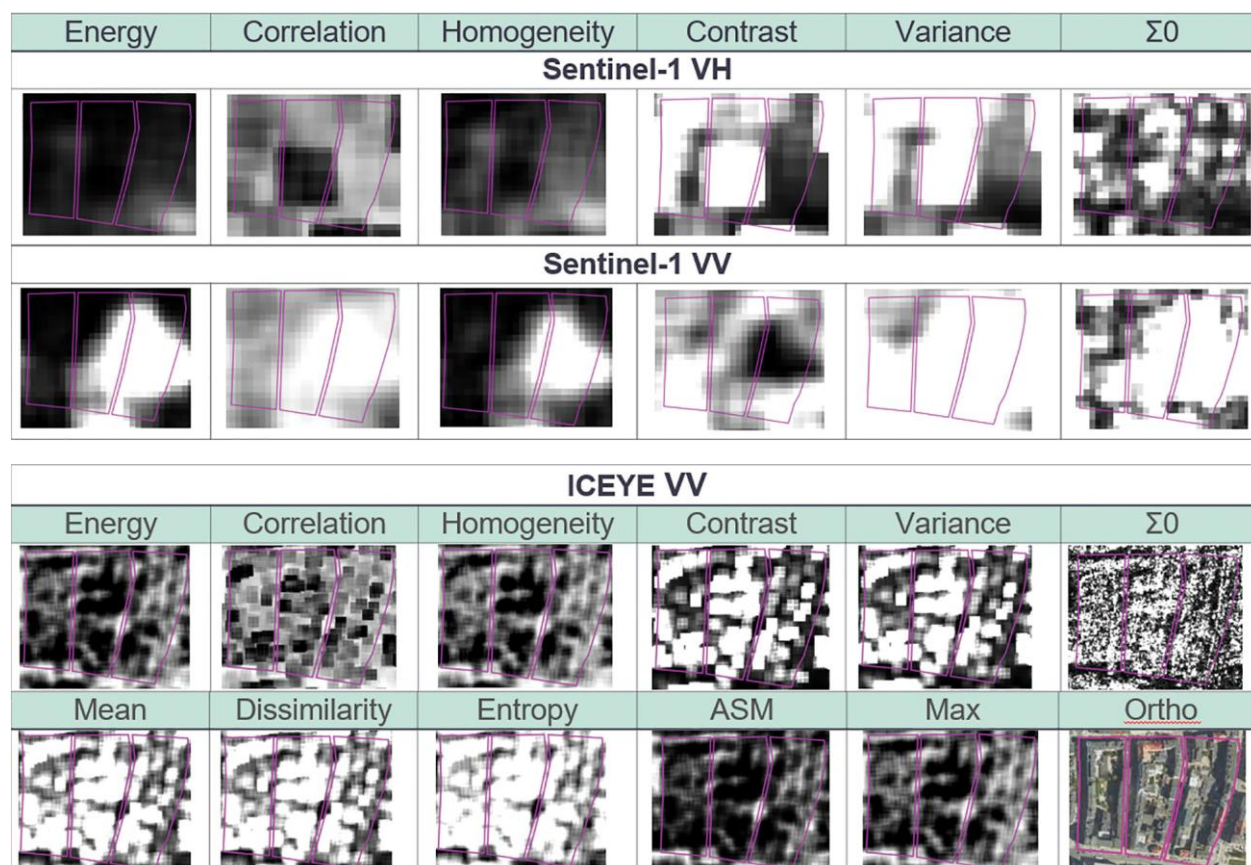
Zastosowanie macierzy współwystępowania poziomów szarości (GLCM) do analizowania charakterystyk tekstury klas zabudowy umożliwiło pomiar szorstkości i kierunkowości w obszarach zabudowanych w pojedynczym procesie obliczeniowym. To podejście wykraczające poza prostą analizę intensywności wstecznego rozpraszania (σ_0) umożliwiło wskazanie relacji przestrzennych jako wzorców strukturalnych charakterystycznych dla różnych stref zabudowy miejskiej w kontekście jej zagęszczenia. Analiza tekstury GLCM (Ryc. 8) zapewnia ilościowe miary organizacji przestrzennej obszarów miejskich niezbędne dla planowania i oceny zagęszczenia szarej infrastruktury⁴. Metryki tekstury wykorzystano do oceny gęstości zabudowy, klastrowania skupień szarej infrastruktury i budowania wzorców tkanki miejskiej do automatycznego rozpoznania kategorii pokrycia terenu.

2: Ocena porównawcza wyników klasyfikacji zabudowy

Do oceny dokładności danych SAR Sentinel-1 (C) i ICEYE (X) w klasyfikacji obszarów miejskich uwzględniłam wyniki metod Random Forests (RF) oraz minimalnej odległości (MD). Klasyfikator MD osiągnął 64% ogólnej dokładności dla Sentinel-1 w porównaniu do 51% dla danych ICEYE. Metoda MD okazała się lepsza od nieparametrycznej metody RF. Wyniki ilościowe wskazały na wybranych klasyfikatorach, że w przypadku obrazów

⁴ **Szara infrastruktura** tu rozumiana jest jako całość zabudowy bez rozróżniania jej poszczególnych komponentów tj. budynki, budowle, place, szlaki komunikacyjne oraz wszelkie inne obiekty antropogeniczne.

Sentinel-1 (10m) z analizą tekstury GLCM osiągnięto wyższy poziom ogólnej dokładności (OA) niż w przypadku zobrazowań ICEYE (2m). Obrazy tekstury z danych Sentinel-1 w trybie podwójnej polaryzacji (VV, VH) wykazały lepszą komplementarność z cechami klas obszarów miejskich w porównaniu do wysokorozdzielczych zobrazowań ICEYE w trybie pojedynczej polaryzacji (VV). ICEYE wykazał słabą zgodność z danymi referencyjnymi, wskazując na wyzwania związane z wysokorozdzielczymi danymi dla funkcjonalnej klasyfikacji obszarów zabudowanych. Wysoka rozdzielczość ICEYE okazuje się wartościowa dla detekcji budynków i pojedynczych elementów szarej infrastruktury.



Ryc. 8. Zmienne wygenerowane dla danych Sentinel-1 oraz dla danych ICEYE wybrane do klasyfikacji oraz kontury klasy ciągłej tkanki miejskiej o największej gęstości zabudowy. Ortofotomapa w prawym dolnym rogu prezentuje skalę i kształt obiektów. (P6)

3: Udoskonalenie metodyki rozpoznania klas zabudowy

Opracowanie strategii agregacji klas zdefiniowanych w bazie Urban Atlas było niezbędne do rozwiązania problemu złożoności klas i ich zamodelowania jako wzorców do klasyfikacji obszarów miejskich. Klasy te różnią się między sobą funkcją i gęstością zabudowy. Automatyczne pozyskiwanie pól treningowych z bazy danych Urban Atlas jest problematyczne. Agregacja 11 oryginalnych klas UA do czterech szerszych kategorii (gęsto zabudowane obszary miejskie, obszary miejskie o niskiej gęstości zabudowy, obszary przemysłowe i obszary porośnięte roślinnością) znacznie poprawiła spójność kategorii i wyniki klasyfikacji. W badaniu wykazałam, że potencjalny wymiar przestrzenny piksela bezpośrednio związanego z długością fali znacząco wpływa na detekcję obiektów szarej

infrastruktury. Dane z pasma X zapewniają więcej szczegółów terenowych, natomiast dane z pasma C dają lepszą zgodność z definicjami klas zabudowy według funkcji lub gęstości zabudowy, jak w Urban Atlas. Wysoka rozdzielczość danych ICEYE (X) spowodowała stosunkowo niską dokładność wyników, co wskazuje na ich potencjał do klasyfikacji wyizolowanych obiektów szarej infrastruktury. Wyzwania klasyfikacji obszarów miejskich związane są z definiowaniem i charakteryzowaniem klas zabudowy ze względu na ich kompleksowość. Automatyczne pozyskiwanie pól treningowych bezpośrednio z gotowych baz danych jest problematyczne, co sugeruje potrzebę posiadania niezależnych, dobrze zweryfikowanych danych referencyjnych dla kategorii obszarów zabudowanych. Udoskonalenie metodyki zapewnia praktyczne wskazówki dla różnych schematów klasyfikacyjnych użytkowania i pokrycia terenu oraz dla ich funkcjonalnych relacji z tkanką miejską.

Dyskusja i podsumowanie

Badanie pokazuje przydatność zobrazowań SAR i analizy tekstury do klasyfikacji obszarów miejskich, porównując skuteczność danych z Sentinel-1 i ICEYE dla wybranych algorytmów klasyfikacji nadzorowanej. Szczególnie ważne zagadnienie pojawia się między potencjalną rozdzielczością przestrzenną a dokładnością klasyfikacji w funkcji gęstości zabudowy. Analiza tekstury GLCM stanowi wkład metodyczny, zapewniając ilościowe miary organizacji przestrzennej obszarów miejskich, które uzupełniają wartości intensywności wstecznego rozpraszania. Jest to szczególnie wartościowe dla zastosowań, gdzie poszczególne klasy wykazują odrębne wzorce przestrzenne, które mogą być automatycznie wykrywane. Ocena porównawcza wskazuje, że dane z pasma C Sentinel-1 są lepsze do klasyfikacji funkcjonalnej, podczas gdy rozdzielczość pasma X ICEYE wspomaga wykrywanie pojedynczych elementów szarej infrastruktury. Zrozumienie charakterystyk specyficznych dla konkretnych sensorów umożliwia optymalną selekcję systemów dla zastosowań w różnych szeregach skalowych.

P7: Supervised semantic segmentation of an urban area using SAR

Nadzorowana segmentacja semantyczna obszaru miejskiego z wykorzystaniem SAR

Autorzy: Joanna Pluto-Kossakowska, Sandhi Wangiyana, Remote Sensing, 2025

DOI: 10.3390/rs17091606

Moim oryginalnym wkładem jest: postawienie problemu badawczego, koncepcja i metodyka badań, przetwarzanie danych SAR, analiza i opracowanie wyników, dedukcja i wnioski. Redakcja tekstu i wizualizacji do publikacji. Nadzór formalny w projekcie. Wkład drugiego Autora to: budowa architektury uczenia głębokiego (DL), testy algorytmów, walidacja i analiza wyników. Głównym celem badań była ocena rozróżnienia klas obszarów zurbanizowanych w większej skali (na poziomie miasta i dzielnicy) z wykorzystaniem segmentacji danych SAR. Badanie miało także na celu ocenę różnych cech tekstury wygenerowanych z SAR w paśmie X i C do zwiększenia przestrzeni cech klas oraz ocenę wydajności klasyfikatorów nadzorowanych DL.

Kluczowe rezultaty

1: Utworzenie nowatorskiego zbioru danych do segmentacji semantycznej obszarów miejskich

Innowacja metodyczna polega na opracowaniu kompleksowego zbioru danych do nadzorowanej segmentacji semantycznej obszarów miejskich, wykorzystującego bazę danych Urban Atlas (UA) jako referencję. Metodyka obejmowała agregację 27 kategorii użytkowania i pokrycia terenu (LULC) do siedmiu odrębnych klas miejskich, ze szczególnym rozróżnieniem obszarów pod kątem gęstości. Ta agregacja rozwiązała problem niebilansowania klas środowiska miejskiego, gdzie strefy mieszkaniowe dominują nad innymi kategoriami. Sama baza danych Urban Atlas, pochodząca z fointerpretacji bardzo wysokiej rozdzielczości (VHR) satelitarnych zobrazowań optycznych, charakteryzuje się 85% ogólną dokładnością dla klas miejskich zgodnie z jej specyfikacją. Zbiory danych treningowych (T) i walidacyjnych (W) obejmowały duże obszary dla Londynu (T: 188 km² i W: 65 km²) oraz dla Warszawy (T: 202 km² i W: 65 km²), zapewniając właściwą referencję dla budowy modeli uczenia maszynowego. Największe rozbieżności między obszarami badawczymi (Londyn i Warszawa) zaobserwowano w klasach o wysokiej i średniej gęstości. Wykorzystanie publicznie dostępnej bazy danych UA z obrazami SAR do klasyfikacji terenów miejskich jest ograniczone do obszaru Europy. Dodatkowo, aby poprawić spójność wytrenowanego klasyfikatora i zmniejszyć tendencyjność, konieczny jest bardziej rygorystyczny proces kartowania i etykietowania w bazie UA.

2: Ocena zaawansowanych modeli uczenia maszynowego

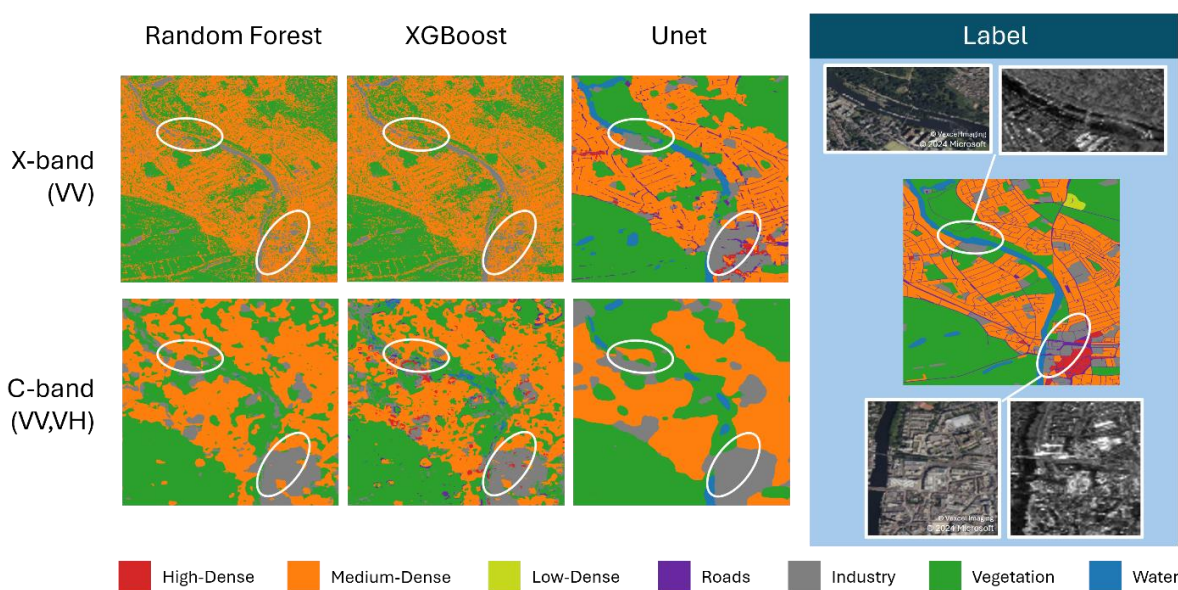
Opracowana metodyka polega na kompleksowej ocenie algorytmów nadzorowanego uczenia maszynowego, w tym Random Forest (RF), Extreme Gradient Boosting (XGB) i U-Net (splotowa sieć neuronowa - CNN) do segmentacji semantycznej obszarów miejskich. W badaniu przeanalizowano skuteczność różnych cech pozyskanych z zobrazowań SAR, w tym intensywności wstecznego rozpraszania (σ_0), rozbieżności plamkowej (ang. speckle divergence) oraz różne obrazy teksturowe jako danych wejściowych do klasyfikatorów. Algorytm U-Net wykorzystujący architekturę backbone ResNeSt26 osiągnął najlepszą skuteczność. Jego najwyższa ogólna dokładność dla zbioru danych w paśmie X (ICEYE) wyniosła 78% i 73% dla zbioru danych w paśmie C (Sentinel-1) w obszarze Londynu. Wyniki dla Warszawy były słabsze o kilka punktów procentowych, co wynika głównie z mniej rygorystycznego podejścia do rozróżnienia klas zabudowy w samej bazie Urban Atlas.

Dla zestawu danych w paśmie X, dodanie rozbieżności plamkowej podniosło ogólną dokładność (OA) do poziomu 78%. Dla pasma C, obrazy teksturowe (GLCM) skutkowały najwyższą dokładnością (OA) na poziomie 73% (dla Warszawy te wyniki były niższe). Algorytmy oparte na drzewach decyzyjnych (DT) wykazały poprawę wydajności przy większej liczbie cech wejściowych, z dwupolaryzacyjnymi danymi SAR pasma C (VV, VH) przewyższającymi jednopolaryzacyjne pasmo X (VV). W paśmie X algorytmy oparte na DT były wrażliwe na rozkład prawdopodobieństwa klas i rozbieżności plamkowej, co skutkowało niską dokładnością. Natomiast w algorytmie U-Net opartym na CNN można było wykorzystać wysoką szczegółowość pasma X do rozpoznawania mniejszych powierzchniowo klas, takich jak drogi czy wyizolowana zabudowa, i osiągnąć najlepszą skuteczność przy połączonych cechach intensywności wstecznego rozpraszania i rozbieżności plamkowej. Odporność warstw splotowych w ekstrakcji cech zmniejsza potrzebę stosowania dodatkowych obrazów pochodnych. Ponadto zastosowano wagi klas, aby poprawić wykrywanie klas mniejszościowych wynikających z naturalnej nierównowagi występowania na obszarach miejskich.

Model U-Net CNN przewyższał inne klasyfikatory, osiągając lepsze wyniki niż RF i XGB. Algorytmy oparte na drzewach decyzyjnych (RF i XGB) wykazały lepszą wydajność przy większej liczbie cech (tj. rozbieżność plamkowa i GLCM). Te dodatkowe cechy miały niewielki wpływ na wydajność CNN, ponieważ modele sieci neuronowych ze swej natury wydobywają cechy przestrzenne, takie jak tekstura i krawędzie. Algorytmy oparte na drzewach decyzyjnych miały trudności z klasyfikacją wody i dróg. Klasy zabudowy o dużej gęstości były często błędnie klasyfikowane jako przemysłowe ze względu na podobne wzorce rozpraszania wstecznego.

3: Optymalizacja cech SAR w klasyfikacji obszarów miejskich

Ocena wpływu poszczególnych cech pozyskanych z obrazów SAR do klasyfikacji pozwoliła porównać: intensywność wstecznego rozproszenia, rozbieżność plamkową i obrazy tekstury wygenerowane z danych w paśmie X (ICEYE) i paśmie C (Sentinel-1). Dla segmentacji semantycznej obszarów miejskich osiągnięto 6% wyższą ogólną dokładność dla pasma X niż w przypadku pasma C. Obrazy tekstury GLCM wykazały znaczący wkład w dokładność klasyfikacji dla danych z pasma C, a rozbieżność plamkowa okazała się bardziej przydatna dla danych z pasma X. Wskazanie optymalnego wyboru cech obrazów SAR umożliwia wstępną selekcję zarówno samych sensorów, jak i generowania z nich obrazów pochodnych. Porównanie wizualne wyników przedstawia Ryc. 9.



Ryc. 9. Porównanie wyników z algorytmów przy użyciu ich optymalnej kombinacji cech. Po prawej stronie dane referencyjne z Urban Atlas wraz z fragmentami obrazów optycznych i SAR dla dwóch wskazanych obszarów. (P7).

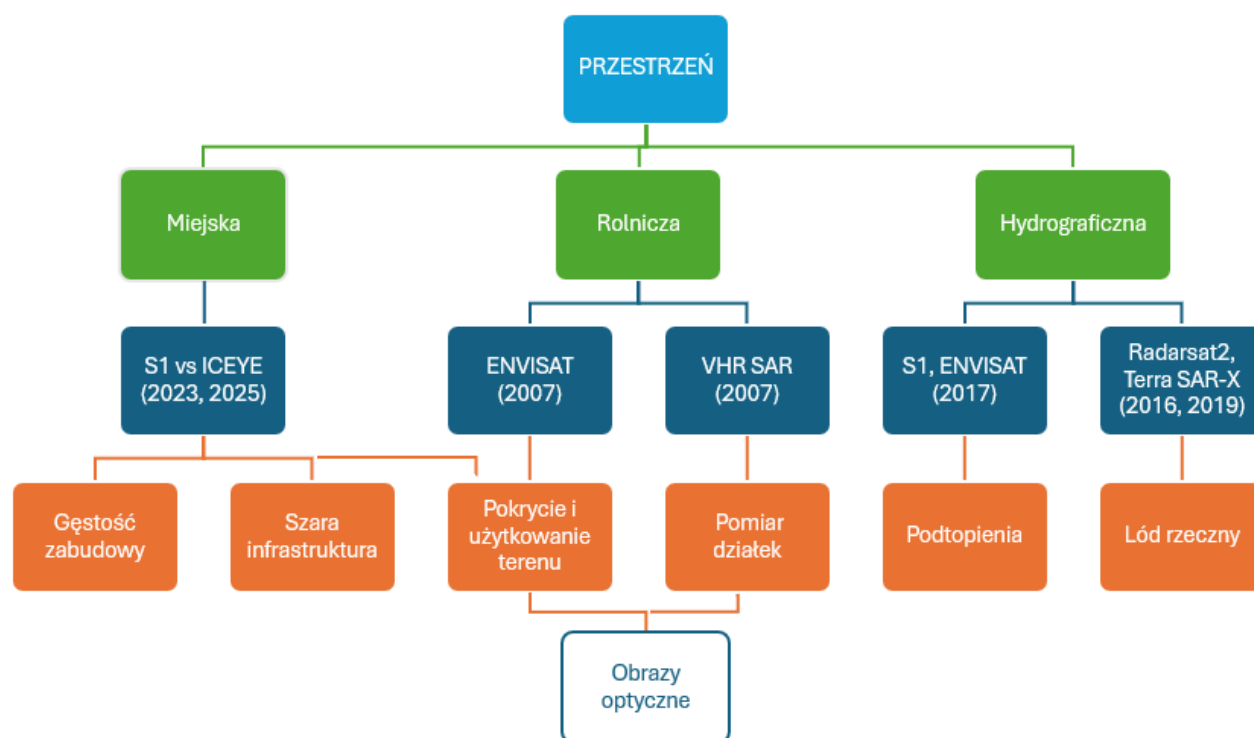
Dyskusja i podsumowanie

Ocena porównawcza systemów SAR rejestrujących w paśmie X i w paśmie C zapewnia wskazówki dla analizy obszarów miejskich. Dane pasma X (ICEYE) zapewniają lepszą detekcję samodzielnie występujących budynków, parkingów i sieci drogowej, podczas gdy dane rejestrowane w paśmie C (Sentinel-1) oferują lepsze pokrycie dla monitorowania miast w skali regionalnej. Wysoka dokładność osiągnięta przy podejściu głębokiego uczenia

zapewnia solidne narzędzie do automatycznego rozpoznawania klas miejskich niezbędnych dla wielkoskalowego monitorowania szarej infrastruktury, w tym efektywnego zarządzania obszarem miejskim, śledzenia jego rozwoju i wykrywania zmian. Przeprowadzone badanie stanowi wkład w metodyki monitorowania obszarów miejskich opartych na zobrazeniach SAR, przechodząc od tradycyjnej klasyfikacji pikselowej do zaawansowanych podejść segmentacji semantycznej.

Synteza badań z cyklu 1

Przedstawiony cykl prezentuje nowatorskie metody przetwarzania zobrażeń SAR w analizie obiektów powierzchniowych i szeroki zakres ich zastosowań dla kluczowych rozwiązań do zarządzania przestrzenią, w tym w szczególności przestrzeni miejskiej, rolniczej i hydrograficznej. Podział badań i osiągnięte wyniki w kontekście przestrzeni, rodzaju wykorzystanych danych oraz celu badawczego przedstawiono schematycznie na Ryc. 10.



Ryc. 10. Zagadnienia badawcze w cyklu publikacji nr 1 w kontekście zarządzania przestrzenią i połączenie ich z cyklem publikacji nr 2 dotyczącym zobrażeń optycznych.

Przestrzeń rolnicza

Badania nad metodami pomiaru powierzchni działek rolnych z wykorzystaniem zobrażeń SAR VHR wskazały na dokładność metrową, co umożliwia ich zastosowanie w systemie identyfikacji działek rolnych (P1, 2007). Opracowano metody analizy zmian użytkowania terenu w warunkach zimowych eliminując ograniczenia sezonowe (P2, 2007). Analiza tekstury GLCM wspomaga automatyczną detekcję różnych klas w mieście, w tym także

obszary użytkowane rolniczo z 64% dokładnością dla danych Sentinel-1, wspierając efektywne zarządzanie gruntami i monitorowanie zmian (P6, 2023).

Przestrzeń rolnicza i możliwości jakie daje teledetekcja w zakresie jej monitorowania jest drugim tematem wiodącym w prowadzonych przeze mnie badaniach. Poza danymi SAR do jej analizowania można wykorzystać także dane z zakresu optycznego i dostosowane do nich metody przetwarzania i analizy. Ponieważ stanowią one szerokie spektrum badań zostały ujęte w odrębnym cyklu tematycznym (nr 2) i przedstawione w dalszej części autoreferatu.

Przestrzeń miejska

W badaniach obszarów miejskich z wykorzystaniem segmentacji semantycznej i algorytmów głębokiego uczenia (U-Net) osiągnięto 79% dokładności dla zobrażeń w paśmie X, umożliwiając automatyczną klasyfikację gęstości zabudowy i typów funkcjonalnych (P7, 2025). Metoda GLCM generowania obrazów teksturowych zapewnia ilościowe miary organizacji przestrzennej. Porównanie systemów Sentinel-1 i ICEYE wykazało przewagę tego pierwszego dla klasyfikacji funkcjonalnej obszarów miejskich nad wysokorozdzielczą detekcją pojedynczych obiektów (P6, 2023).

Hydrografia

Opracowana metoda klasyfikacji lodu rzeczno-jeziernego pozwoliła na osiągnięcie ponad 80% dokładności w systemach rejestrujących w paśmie C i X (P3, 2016 i P5, 2019). Szczegółowa charakterystyka typów lodu wspiera automatyczną detekcję zlodzień na rzekach. Koncepcja systemu monitorowania powodziowego dla Polski integruje dane SAR z istniejącymi systemami ostrzegania, zapewniając proaktywne zarządzanie ryzykiem powodzi i ocenę jej skutków (P4, 2017).

W tabeli przedstawiono sumarycznie wyniki z różnych eksperymentów przedstawionych w cyklu nr 1.

Tabela wyników. Przestrzeń: 🌿 Rolnicza, 💧 Hydrologiczna, 🏙 Urbanistyczna

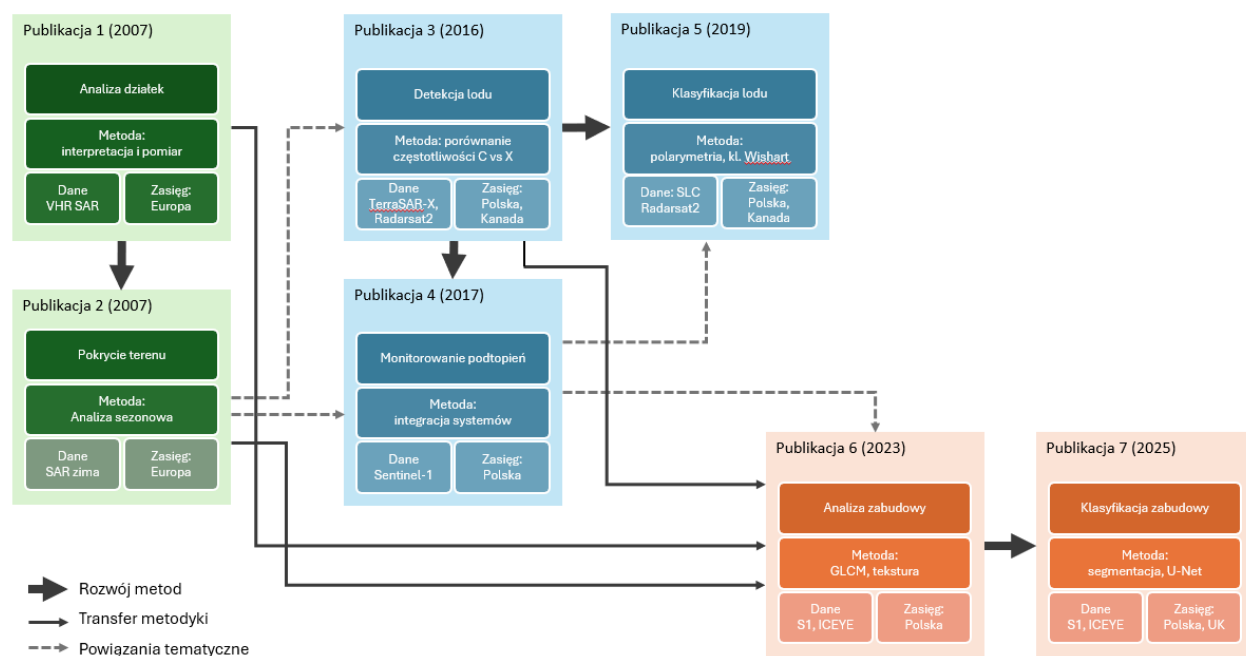
Publikacja	Sensor	Metoda	Dokładność	Zastosowanie	Przestrzeń
P1	X - SAR VHR	Analiza wizualna, pomiar	Sub-metrowa	Pomiary działek	🌿
P2	C - SAR zima	Klasyfikacja pikselowa	Całoroczna	Pokrycie terenu zimą	🌿
P3	C/X	Klasyfikacja Wishart	>80%	Klasyfikacja lodu	💧
P4	C - ENVISAT	Integracja, sigma0	Systemowa	Monitoring powodzi	💧
P5	C - Radarsat2	Klasyfikacja Wishart	>80%	Lód rzeczny	💧
P6	C - Sentinel-1	GLCM + ML	64%	Użytkowanie gruntów	🌿
P6	C - Sentinel-1	GLCM	Jakościowa	Analiza tekstury	🏙
P7	X - ICEYE	DL (U-Net)	79%	Gęstość zabudowy	🏙

Badania wskazują na ewolucję od podstawowych technik pomiarowych (P1) do zaawansowanych algorytmów opartych na sztucznej inteligencji (P7). Kluczowe osiągnięcia obejmują: interoperacyjność systemów wieloczęstotliwościowych, możliwości całorocznego

monitorowania niezależnie od warunków pogodowych, oraz automatyzację procesów klasyfikacji z dokładnością operacyjną. Metodyki przetwarzania danych SAR do analizy obiektów powierzchniowych zapewniają kompleksowe narzędzia dla zarządzania przestrzenią, łącząc precyzyjne pomiary katastralne, monitorowanie rozwoju miejskiego i ocenę zagrożeń hydrologicznych.

Powiązania publikacji

Na Ryc. 11 przedstawiłam schemat powiązań między publikacjami. Strzałki wskazują rodzaj powiązania tj.: rozwój metod przetwarzania, transfer metodyki badawczej i analizy danych oraz powiązanie tematyczne.



Ryc. 11. Schemat powiązań publikacji w cyklu 1.

Ewolucja metodyk i spójność tematyczna

Cykl tematyczny nr 1 przedstawia systematyczny postęp w metodykach przetwarzania obrazów SAR dla zastosowań w inżynierii lądowej, geodezji i transporcie. Ewolucję badań scharakteryzowałam przez trzy odrębne fazy (Ryc. 2), każda budowana na poprzednich osiągnięciach przy jednoczesnym rozwiązywaniu coraz bardziej złożonych wyzwań niezależnie od konkretnego zastosowania.

Faza początkowa (2007): Testowanie i wskazanie podstawowych możliwości

Wczesne badania (P1 i P2) ustanowiły fundamenty i wskazały możliwości przetwarzania danych SAR rozwiązując krytyczne ograniczenia teledetekcji optycznej. Rozwój monitorowania pokrycia terenu w zimie i precyzyjnego pomiaru powierzchni działek przy użyciu obrazów VHR SAR zapewnił niezbędne możliwości całorocznego monitorowania obszarów produkcji rolniczej. Osiągnięcia te rozwiązały podstawowe wyzwanie ciągłości pomiarów i monitorowania w niekorzystnych warunkach pogodowych. Zdolność detekcji

użytków zimą (P2) ustanowią dane SAR jako korzystną technologię dla całorocznego nadzoru spełnienia norm środowiskowych, natomiast metodyka precyzyjnego pomiaru działek (P1) wykazała przydatność SAR dla zastosowań katastralnych wymagających stosownych standardów dokładności. Integracja pomiaru na danych SAR z tradycyjnymi metodami geodezyjnymi wskazała hybrydowe podejście wykorzystujące różne metody pomiarowe dla osiągnięcia optymalnych wyników. Jest to temat, który kontynuuję i rozwijam we wszystkich kolejnych badaniach. Te wczesne prace zapewniły metodyczną podstawę dla bardziej zaawansowanych zastosowań w kolejnych fazach badań.

Faza rozwoju (2016-2019): Specjalistyczne zastosowania i analizy porównawcze

Badania fazy środkowej (P3, P4 i P5) koncentrowały się na specjalistycznych zastosowaniach i systematycznej analizie porównawczej różnych systemów SAR i rozwoju podejść do przetwarzania danych. Badania dotyczące analizy i detekcji lodu rzeczno (P3 i P5) ustanowiły klasyfikację typów lodu opartą na danych SAR jako technologię zdolną wspierać dziedzinę hydrografii i bezpieczeństwa infrastruktury rzecznych. Automatyczne metody detekcji typów lodu wykazują ponad 80% dokładności niezależnie od sensorów SAR. Ocena porównawcza danych z pasm C i X zapewniła wytyczne operacyjne dla selekcji sensorów i projektowania systemów rozpoznania lodu rzeczno. Monitorowanie ryzyka powodziowego (P4) stanowi znaczący postęp w kierunku wdrożenia operacyjnego, zapewniając praktyczne wytyczne dla integracji technologii SAR z istniejącymi systemami. Ta praca rozwiązuje krytyczne wyzwanie przejścia od zastosowań badawczych do wdrożenia operacyjnego w skali krajowej.

Faza zaawansowania (2023-2025): Metody uczenia maszynowego

Najnowsze badania (P6 i P7) stanowią postęp metodyczny poprzez integrację technik uczenia maszynowego, w tym głębokiego uczenia na danych SAR. Wyniki segmentacji semantycznej obszarów miejskich (P7) na poziomie prawie 80% ogólnej dokładności przy użyciu splotowych sieci neuronowych wskazują na zdolność danych SAR do wysokojakościowej klasyfikacji. Analizy tekstury wykorzystujące GLCM (P6) zapewniają ilościowe miary organizacji przestrzennej dla klas obszarów zurbanizowanych, wspierając opis gęstości i funkcji klas zabudowy. Ten postęp wskazuje przejście od interpretacji do automatycznych metod klasyfikacji. Ocena porównawcza różnych podejść uczenia maszynowego daje praktyczne wytyczne do zastosowań segmentacji semantycznej na obszarach miejskich.

Przekrojowe innowacje metodyczne i możliwości ich implementacji

Interoperacyjność wieloczęstotliwościowych systemów SAR

Konsekwentnym tematem w moich badaniach jest systematyczne porównanie i walidacja różnych systemów SAR dla równoważnych zastosowań. Wykazanie interoperacyjności między systemami pasma C i X (P3 i P4) oraz ocena porównawcza systemów Sentinel-1 z ICEYE (P6 i P7) zapewnia niezbędne wytyczne dla projektowania systemów operacyjnych. Badanie możliwości interoperacyjności zapewnia elastyczność i ciągłość pracy niezależnie od dostępności konkretnych systemów SAR. Wskazanie, że dane dwupolaryzacyjne

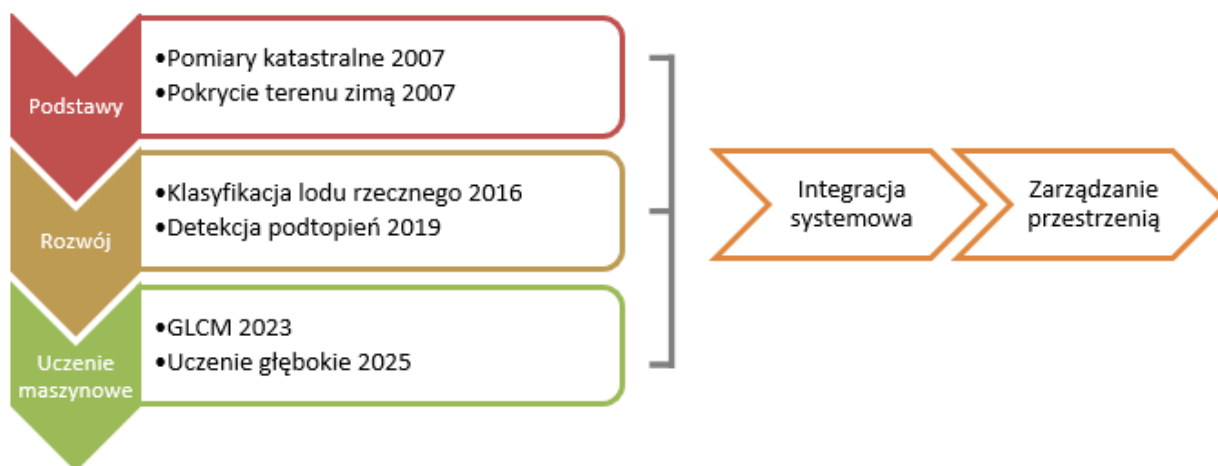
zapewniają wystarczającą dokładność, przy jednoczesnym zmniejszeniu złożoności systemu, ma znaczące implikacje dla opłacalnego wdrożenia systemów monitorowania lodu na rzece.

Integracja kontekstu przestrzennego i analiza tekstury

Rozwój i udoskonalenie technik analizy tekstury, szczególnie implementacja GLCM (P6 i P7), stanowi wkład metodyczny do ilościowej charakterystyki wzorców przestrzennych na obrazowaniach SAR. Ta zdolność jest szczególnie wartościowa dla zastosowań w obszarach o dużej złożoności obiektów i fragmentaryzacji np. miejskich i infrastrukturalnych, gdzie relacje przestrzenne są kluczowe dla dokładnej klasyfikacji. Analizy tekstury umożliwiają opis metryk organizacji przestrzennej istotnych w analizie szarej infrastruktury. Taka innowacja wspiera przejście od prostej klasyfikacji pikselowej do zaawansowanej identyfikacji wzorców przestrzennych w segmentacji.

Rozwój ram operacyjnych

W swojej drodze badawczej wskazuję na istotność wdrożeń operacyjnych, przechodząc od rozwoju technik fundamentalnych do bardziej kompleksowych. Ramy monitorowania ryzyka powodziowego (P4), metodyki wspierające monitorowanie obszarów miejskich (P6 i P7) oraz przestrzeni rolniczej (P1 i P2) zapewniają praktyczne wytyczne dla przejścia od zastosowań badawczych do wdrożenia. Ten nacisk na praktyczne wykorzystanie badań zapewnia, że przedstawione metodyki mogą być skutecznie wdrażane, odpowiadając na wyzwanie transferu technologii z badań do zastosowań operacyjnych (Ryc. 12).



Ryc. 12. Diagram ewolucji działań i wykorzystania danych SAR: pomiary → DL

Ewolucja zakresu tematycznego i obszarowego prowadzonych badań

W swoich badaniach konsekwentnie wprowadzam nowe techniki przetwarzania i doskonałe metody analizy danych SAR. Ewolucja skuteczności wskazuje na stale pojawiające się możliwości wykorzystania danych SAR od prostych technik przetwarzania i analizy obrazu do systemów operacyjnych odpowiednich dla krytycznych zastosowań infrastruktury czy monitorowania zjawisk i obiektów powierzchniowych. Badania dają podstawę do

budowania narzędzi oceny i monitorowania infrastruktury w wielu skalach i zastosowaniach:

- ➔ skala miejska: automatyczna segmentacja semantyczna do inwentaryzacji i analizy szarej infrastruktury oraz monitorowania rozwoju miast (P6, P7),
- ➔ skala regionalna: monitorowanie ryzyka powodziowego (P3, P4, P5) i ocena zmian pokrycia/użytkowania terenu (P2, P6, P7),
- ➔ skala lokalna: precyzyjny pomiar działek i możliwości monitorowania zmian w użytkowaniu terenu (P1, P2).

Przeprowadzone badania wskazują na nowatorskie rozwiązania wprowadzone do przetwarzania danych SAR. Są one korzystną alternatywą dla teledetekcji optycznej i potwierdzają skuteczność: w kartowaniu działek (pomiar powierzchni i wyznaczanie granic), w analizie użytkowania terenu (automatyczna klasyfikacja i wykrywanie zmian w obszarze miast i produkcji rolniczej), w monitorowaniu środowiska (analiza lodu rzecznego, ocena zasięgu powodzi i sezonowy monitoring pokrycia terenu).

Podsumowanie cyklu nr 1

Przedstawione publikacje obejmują spójny kierunek badawczy dotyczący poszukiwania skutecznych metod i technik przetwarzania danych SAR do analizy i detekcji obiektów powierzchniowych. Uzyskane wyniki ilościowe potwierdzają skuteczność wprowadzonych innowacji metodycznych i zapewniają praktyczne narzędzia analizy i automatycznej detekcji obiektów oraz wykazują wykonalność operacyjnych systemów wykorzystujących dane SAR. Badania potwierdzają dojrzałość technologii SAR szczególnie w zastosowaniach wymagających całorocznej zdolności monitorowania, ciągłego pokrycia czasowego i możliwości automatycznej analizy. Mój wkład w dyscyplinę inżynierii lądowej, geodezji i transportu zapewnia metodyki i narzędzia do kartowania obiektów powierzchniowych, monitorowania infrastruktury i planowania operacyjnego wykorzystania danych SAR. Przedstawione badania dają podstawę dla ciągłego rozwoju i szerokiego wykorzystania danych SAR w różnych domenach aplikacyjnych.

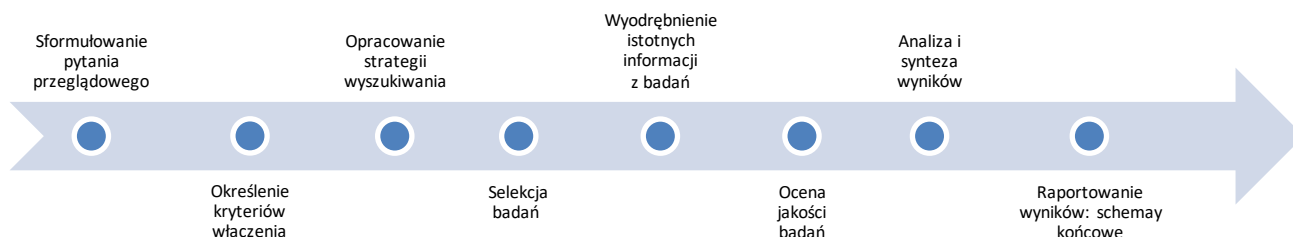
CYKL 2

Rozwój metodyk przetwarzania i oceny optycznych zobrażeń satelitarnych w monitorowaniu przestrzeni rolniczej

Drugi cykl publikacji przedstawia mój wkład naukowy w rozwój metodyk przetwarzania i oceny optycznych zobrażeń satelitarnych w monitorowaniu przestrzeni rolniczej. Badania obejmują okres od 2006 do 2021 roku i prezentują ewolucję badań nad metodami analizy, przetwarzania i oceny potencjału zobrażeń optycznych w monitorowaniu przestrzeni rolniczej, ze szczególnym uwzględnieniem początkowej fazy rozwoju systemów komercyjnych i wejścia na rynek zobrażeń o bardzo dużej rozdzielczości (VHR – Very High Resolution).

Wprowadzenie i metodyka przeglądu publikacji w cyklu

Systematyczny przegląd wykonałam zgodnie z protokołem PROSPERO⁵, w celu zapewnienia spójnej analizy ewolucji metodycznej i tematycznej konsekwencji w ocenie optycznych zobrażeń satelitarnych do zastosowań w przestrzeni rolniczej. Do wykonania przeglądu posłużyło pytanie przeglądowo-badawcze: „Jakie metody przetwarzania i analizy obrazów wykorzystano do monitorowania przestrzeni rolniczej i w jaki sposób przyczyniają się one do postępu w praktycznym zastosowaniu?” Kolejne etapy wykonałam zgodnie z metodyką protokołu PROSPERO jak na Ryc. 13.



Ryc. 13. Schemat systematycznego przeglądu i analizy publikacji w spójnym cyklu nr 2.

Kryteria włączenia

- Metody przetwarzania satelitarnych zobrażeń optycznych do analizy przestrzeni rolniczej;
- Rozpoznanie i klasyfikacja upraw oraz innych obiektów w przestrzeni rolniczej;

⁵ PROSPERO (Prospective Register of Systematic Reviews)- międzynarodowy rejestr przeglądów systematycznych, prowadzony przez ośrodek upowszechniania przeglądów z Uniwersytetu w Yorku <https://www.crd.york.ac.uk/prospero/>

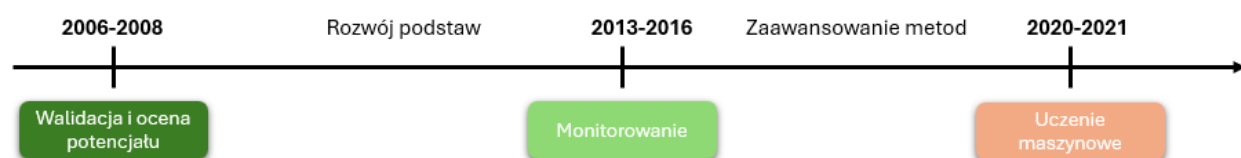
- Zastosowania w dyscyplinie inżynierii lądowej, geodezji i transportu;
- Publikacje recenzowane, aktualne z kompletnymi metodykami.

Kryteria oceny jakości

- Rygor metodyczny i powtarzalność oraz statystyczna ważność wyników;
- Jasny opis technik przetwarzania i analizy obrazów satelitarnych;
- Innowacyjność podejść i metod przetwarzania danych;
- Praktyczne zastosowanie w gospodarce.

W syntezie moich publikacji w cyklu nr 2 prezentuję osiągnięcia naukowe w zakresie przetwarzania i analizy obrazów satelitarnych o bardzo dużej oraz dużej rozdzielczości do zastosowań w analizach i monitorowaniu zmian w przestrzeni rolniczej. Cykl publikacji przedstawiam chronologicznie jako fazy ewolucji badań (Ryc. 14), a koncentruję się na trzech głównych zagadnieniach:

- **Ocena dokładności** pomiarów powierzchni działek rolnych;
- **Metody detekcji i monitorowania** praktyk rolniczych i środowiskowych;
- **Metody automatyzacji** procesów rozpoznania i klasyfikacji upraw.



Ryc. 14. Ewolucja metodyczna prezentowanych badań w cyklu publikacji nr 2.

Wykaz publikacji tworzących cykl nr 2 „Rozwój metodyk przetwarzania i oceny optycznych obrazów satelitarnych w monitorowaniu przestrzeni rolniczej” przedstawiam w poniższej tabeli. Pełną analizę naukową prezentuję w Załączniku 4.

Lista publikacji cyklu nr 2	
[P8]. Chmiel J., Lady-Drużycka K., Pluto-Kossakowska J. , Osińska-Skotak K., Wolniewicz W., Fijałkowska A., Kupidura P.: The evaluation of usability of VHR satellite images for land cover/land use identification in agricultural landscape, W: Global Developments in Environmental Earth Observation from Space / Marcal Andre (red.), 2006, s.427-436, ISBN 90-5966-042-0. Rozdział w monografii.	https://www.earsel.org/symposia/2005-symposium-Porto/pdf/052.pdf
[P9]. Pluto-Kossakowska J. , Grandgirard D., R. Zieliński, S. Kay: Assessment of the Area Measurement on Cartosat-1 Image, The International Archives of the Photogrammetry,	

Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, vol. XXXVII, p. 1315-1322. https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/223.pdf Pkt. MNiSW 15
[P10]. Pluto-Kossakowska J. , Osińska-Skotak K., Fijałkowska A., Chmiel J.: Use of remote sensing in control of good agricultural and environmental conditions on agricultural farms, Ecological Questions, 2013, 17, s.75–87. https://doi.org/10.12775/ecoq-2013-0018 Pkt. MNiSW 13
[P11].Kupidura P., Osińska-Skotak K., Pluto-Kossakowska J. : Automatic Approach to VHR Satellite Image Classification, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016, nr XLI-B7, s. 277-282. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B7-277-2016 Pkt. MNiSW 15
[P12]. Pluto-Kossakowska J. , Pilarska-Mazurek M., Bartkowiak P.: Automatic Detection of Dominant Crop Types in Poland Based on Satellite Images, Artificial Satellites, 2020, 55(4), s.185–208. DOI:10.2478/arsa-2020-0013 Pkt. MNiSW 40
[P13]. Pluto-Kossakowska J. : Review on Multitemporal Classification Methods of Satellite Images for Crop and Arable Land Recognition, Agriculture, 2021, 11(10), art. 999. DOI:10.3390/agriculture11100999 Pkt. MNiSW 100, IF 3,408

P8: The evaluation of usability of VHR satellite images for land cover/ land use identification in an agricultural landscape.

Ocena przydatności zdjęć satelitarnych VHR do identyfikacji pokrycia/użytkowania terenu w krajobrazie rolniczym.

Autorzy: Chmiel J., Lady-Drużycka K., **Pluto-Kossakowska J.**, Osińska-Skotak K., Wolniewicz W., Fijałkowska A., Kupidura P.: Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, 2006, s.427-436, ISBN 90-5966-042-0.

Dostęp: <https://www.earsel.org/symposia/2005-symposium-Porto/pdf/052>

Moim oryginalnym wkładem jest: przeprowadzenie eksperymentów, przetwarzanie i analiza obrazów VHR, w tym klasyfikacja upraw, ocena wyników, przygotowanie publikacji. Publikacja prezentuje badania nad przydatnością obrazów satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości (VHR) do identyfikacji pokrycia terenu i użytkowania gruntów w kontekście Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli (IACS) w Polsce. Badania koncentrują się na ocenie zawartości informacji tematycznych w obrazach VHR (SPOT5, Ikonos i QuickBird) i doborze odpowiednich metod przetwarzania dostosowanych do polskich warunków rolniczych. Głównym celem badań była ocena dokładności geometrycznej oraz potencjału tematycznego zdjęć satelitarnych VHR do identyfikacji pokrycia i użytkowania gruntów rolnych. Badanie uwzględniało różne podejścia i metody przetwarzania obrazów VHR, które dostosowano do złożonych warunków krajobrazu rolniczego.

Kluczowe rezultaty

1: Dokładność geometryczna i optymalizacja dalszych metod przetwarzania VHR

W wyniku ortorektyfikacji przeprowadzonej po wyostrzeniu, ustalono, że RMSE⁶ nie przekroczył wartości terenowej 1 piksela, tj. dla Ikonos 1 m, QuickBird 0,5 m i dla SPOT5 2,5 m, co mieści się w dopuszczalnych granicach dla opracowań w skali odniesienia 1:10000. Duża zbieżność między granicami upraw z systemu IACS, a przetworzonymi obrazami VHR wskazuje ich wysoki potencjał do aktualizacji baz danych o działkach. Przetestowano różne metody wyostrzania poprzez łączenie kanałów wielospektralnych z panchromatycznym, w tym: PCA, IHS, multiplikatywne, transformacja Broveya, transformacja Gram-Schmidta. Transformacja metodą Gram-Schmidta została zidentyfikowana jako najlepsza metoda zachowania radiometrii oryginalnych kanałów, chociaż inne metody generowały dobre wyniki do dalszej interpretacji wizualnej. Wykazano, że 8-bitowe przeskalowane obrazy VHR (z 11-bitowych) są wystarczające do interpretacji i kontroli wizualnej w wymaganiach IACS. Co w ówczynie miało znaczenie dla optymalizacji prac metodą CAPI (Computer-Assisted Photo Interpretation) przyjętej jako standard w IACS.

2: Użyteczność zobrazowań VHR w złożonej strukturze działek

W badaniu wykazano, że dane wielospektralne bez wyostrzania są przydatne tylko w przypadku niektórych upraw wielkoobszarowych, natomiast dane z wyostrzaniem zwiększają możliwości interpretacji także złożonych struktur upraw w rozdrobnionych krajobrazach wiejskich, szczególnie małych i wydłużonych działkach. Obrazy wieloczasowe okazały się niezbędne do dokładnej identyfikacji większości upraw. Kluczowym wyzwaniem jest czas pozyskiwania obrazów i staranne rozważenie daty pozyskiwania. Pojedynczy obraz VHR z jednej daty, zwłaszcza jeśli został uzyskany zbyt wcześnie w sezonie wiosennym, nie był wystarczający do dokładnej identyfikacji upraw ze względu na podobne właściwości spektralne upraw we wczesnym stadium wzrostu. Lepsza identyfikacja jest w przypadku wieloczasowych serii obrazów wielospektralnych, chociaż wysoki koszt obrazów VHR sprawia, że jest to trudne do zoptymalizowania nawet współcześnie. Wyniki dalszych przetworzeń wskazały przydatność zobrazowań po wyostrzeniu do klasyfikacji cyfrowej w podejściach nienadzorowanym i nadzorowanym. Najlepsze rezultaty osiągnięto na obrazach po transformacji Gram-Schmidta, która zachowuje wartości radiometryczne kanałów wielospektralnych. Wyniki klasyfikacji algorytmem największego prawdopodobieństwa wskazały na średnią dokładność dla grup upraw na poziomie 95%, a dla wszystkich klas pokrycia na poziomie 89%.

Dyskusja i podsumowanie

Badania dokumentują wysoki potencjał obrazów satelitarnych VHR do identyfikacji pokrycia i użytkowania gruntów rolnych w ramach IACS, spełniając wymagania dla skali referencyjnej 1:10000. Wykazano korzyści płynące z łączenia obrazów panchromatycznych i wielospektralnych przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej dokładności identyfikacji granic działek rolnych. Wskazano na potrzebę wieloczasowych danych do kompleksowej analizy, przy jednoczesnym uznaniu praktycznej użyteczności 8-bitowych obrazów do interpretacji wizualnej. Te ówczynie pionierskie badania przyczyniły się do efektywnego wykorzystania w systemie weryfikacji wniosków o dopłaty w ramach WPR UE składanych przez

⁶ RMSE - Root Mean Square Error oznacza pierwiastek średniego błędu kwadratowego

producentów rolnych, umożliwiając określenie powierzchni i użytkowania gruntów zadeklarowanych działek rolnych. Badania zapewniały metodykę wyostrzania zobrazowań VHR w celu zwiększenia ich użyteczności w regionach o zróżnicowanym i rozdrobnionym krajobrazie rolniczym. Tym samym można było udoskonalić procedury przetworzeń do identyfikacji pokrycia terenu i upraw, zapewniając podstawę dla bardziej niezawodnego monitorowania wniosków o dopłaty w systemie IACS. Rekomendacje wynikające z badań przekazano do ARiMR (Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa), o czym więcej w dalszej części Autoreferatu w punkcie dotyczącym współpracy.

P9: Assessment of the area measurement on Cartosat-1 image.

Ocena pomiarów powierzchni działek na zdjęciach satelitarnych Cartosat-1.

Autorzy: Pluto-Kossakowska J., Grandgirard D., R. Zieliński, S. Kay: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2008, vol. XXXVII, p. 1315-1322.

Dostęp: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/1_pdf/223.pdf

Moim oryginalnym wkładem jest: koncepcja badań, przeprowadzenie eksperymentów, pomiary, analiza wyników, wnioskowanie i przygotowanie publikacji. W badaniach oceniono dokładność pomiarów powierzchni działek rolnych na satelitarnych zobrazowaniach panchromatycznych (0.5-0.85 μm) Cartosat-1. System posiada dwie kamery Aft – tylna (-5°) i Fore – przednia ($+26^\circ$). Zobrazowania po ortorektyfikacji miały rozdzielczość przestrzenną 2,5 m. Określono tolerancje techniczne dla kartowania i pomiaru powierzchni działek wykonanego techniką fotointerpretacji. Jako dane referencyjne wykorzystano ortofotomapę lotniczą (GSD 1 m) pozyskaną w tym samym okresie wegetacyjnym na obszarze południowej Francji. Zbadano również, w jaki sposób typ zobrazowania, rodzaj pokrycia terenu i wielkość działki oraz doświadczenie operatora wpływają na zmienność pomiarów powierzchni.

Kluczowe rezultaty

1. Analiza wartości odstających i wpływ czynników na pomiar powierzchni

Obserwacje odstające na poziomie nieco ponad 1% wykryto za pomocą testu odległości Jackknife'a. Głównymi przyczynami były rodzaj zobrazowania oraz poziom doświadczenia operatora. Pomiary na ortofotomapie stanowiły 23% wartości odstających i prowadziły do niedoszacowania powierzchni, natomiast obrazy Cartosat-1 Aft i Fore stanowiły odpowiednio 18% i 58% wartości odstających. Typ obrazu i wielkość działki miały znaczący wpływ na obliczenie bufora powierzchni. Pomiary na ortofotomapie były znacznie zaniżone, ale powtarzalne, podczas gdy pomiary na obrazach Cartosat-1 Aft i Fore wykazywały różne wartości średnie. Interpretacja operatora była głównym czynnikiem wpływającym na zaniżanie lub zawyżanie wartości. Niewykwalifikowani operatorzy mieli tendencję do zaniżania bufora, podczas gdy wykwalifikowani operatorzy często go zawyżali. Podkreśla to istotność umiejętności operatora w interpretacji i kartowaniu działek. Pokrycie terenu miało znaczący wpływ na pomiar tylko w interakcjach drugiego rzędu, a nie jako pierwotny czynnik. Pomiary powierzchni były dokładniejsze w przypadku odkrytej gleby i upraw jednorocznych. Jednak w przypadku pokrycia terenu takiego jak sady, winnice lub gaje oliwne pomiary były często zawyżane, szczególnie w przypadku obrazów Cartosat-1.

1. Powtarzalność w kartowaniu działek i zgodność z przepisami WPR

W badaniu stwierdzono, że granice powtarzalności kartowania działek (tzw. bufor) wynoszą dla ortofotomapy lotniczej 2,8 m, dla Cartosat-1 Aft 5,2 m i dla Cartosat-1 Fore 8,8 m. Różnice krytyczne wyniosły 0,96 m dla ortofotomapy, 1,65 m dla Cartosat-1 Aft i 3,21 m dla Cartosat-1 Fore. Wyniki te potwierdzają, że pomiary na Cartosat-1 były mniej dokładne niż na ortofotomapie. Szczególnie pomiary z obrazów pozyskanych kamerą Fore (pod kątem $+26^\circ$), przyniosły dużo słabsze wyniki niż na obrazach z kamery Aft (prawie nadirowej). Choć większość działek została poprawnie skartowana na zdjęciach Cartosat-1, dokładna identyfikacja granic była problematyczna ze względu na takie elementy, jak cienie, małe obiekty na granicy działek i zmiany tekstury, co często prowadziło do przeszacowania (Ryc. 15). Zdjęcia Cartosat-1 Aft, Fore nie nadają się jako podstawowe rozwiązanie do kontroli za pomocą techniki CAPI zgodnie z obowiązującymi przepisami WPR. Dokładność pomiaru powierzchni w dużym stopniu zależy od umiejętności operatora, co podkreśla potrzebę szkolenia w zakresie fotointerpretacji dla obrazów panchromatycznych i RGB w celu zminimalizowania błędów wyznaczania granic. Należy podkreślić, że pomiar powierzchni działek techniką fotointerpretacji jest wciąż wykonywany produkcyjnie.



Ryc. 15. Pomiar powierzchni działek na ortofotomapie lotniczej, Cartosat-1 Aft i Fore oraz przykłady obserwacji odstających. [P9]

Dyskusja i podsumowanie

W badaniu oceniono dokładność pomiarów powierzchni działek rolnych przy użyciu zdjęć Cartosat-1 posługując się rygorystycznym aparatem statystycznym (wykrycie anomalii, GLM, ANOVA, obliczenie tolerancji). Dostarcza to cennych informacji o skuteczności pomiaru na dowolnym typie zobrazowania satelitarnego. Opracowana metoda obliczenia tolerancji technicznej dała praktyczne wytyczne do oceny pomiarów uzyskanych za pomocą technik fotointerpretacji. Identyfikacja czynników wpływających na zmienność pomiarów powierzchni działek pomaga w zrozumieniu złożoności procesu fotointerpretacji. Ustalenie odtwarzalności i różnic krytycznych umożliwia bezpośrednie porównanie z innymi technikami pomiarowymi lub zobrazowaniami. Zapewnia to ilościowe wskaźniki do oceny spójności pomiarów oraz stanowi zalecenie dla praktyki sformułowane w raporcie przekazany agencjom płatniczym w krajach członkowskich UE.

P10. Use of remote sensing in the control of good agricultural and environmental conditions on agricultural farms.

Możliwości wykorzystania teledetekcji w kontroli wymogów dobrej kultury rolnej i środowiskowej.

Autorzy: Pluto-Kossakowska J., Osińska-Skotak K., Fijałkowska A., Chmiel J.: , Ecological Questions, 2013, 17, s.75–87. **Dostęp:** <https://doi.org/10.12775/ecoq-2013-0018>

Moim oryginalnym wkładem jest: metodyka badań, przegląd wymagań, opracowanie metod analizy i przetwarzania danych, wnioskowanie, ocena wyników, a także przygotowanie publikacji i rekomendacji dla ARiMR. W badaniach przeanalizowano możliwości zobrazowań satelitarnych VHR do monitorowania wymogów dobrej kultury rolnej (GAEC – Good Agricultural and Environmental Conditions). Zasady GAEC zapewniają utrzymanie prawidłowej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska, obejmującej takie aspekty jak m.in. erozja gleby, materia organiczna, struktura gleby, minimalne poziomy utrzymania i ochrona wód. Dwa podstawowe podejścia do kontroli stosowane przez ARiMR to konwencjonalna inspekcja terenowa i kontrola z wykorzystaniem danych teledetekcyjnych (CwRS – Control with Remote Sensing). W badaniu oceniono potencjał obrazów satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości (VHR) do weryfikacji prawidłowości praktyk rolniczych. Badania szczegółowo opisują, które wymogi GAEC mogą być monitorowane przy użyciu danych teledetekcyjnych i podano zalecenia metod przetwarzania obrazów satelitarnych w celu wsparcia techniki CAPI.

Kluczowe rezultaty

1: Ocena potencjału zobrazowań VHR do monitorowania GAEC

Metoda CwRS umożliwia weryfikację określonych praktyk rolniczych i identyfikację przypadków niezgodności bezpośrednio na podstawie zobrazowań VHR. Badanie wykazało, że metoda ta jest efektywna do kontroli GAEC pokazując równoważność z ortofotomapą lotniczą. Porównania z tradycyjnymi kontrolami terenowymi wykazały, że metoda teledetekcyjna osiągnęła wyższy poziom wykrycia naruszeń (33%) w porównaniu do inspektorów terenowych (26%) w kontrolowanych gospodarstwach. W katalogu wymagań GAEC wskazano te, które można poddać ocenie na podstawie zobrazowań satelitarnych VHR (Ryc. 16) i opracowano metodę jej realizacji. Wskazano także na praktyki, które wymagają określonego czasu i są trudne do zidentyfikowania przy użyciu wyłącznie zobrazowań VHR.

Badania przyczyniły się do wskazania procesu przetworzeń danych VHR, które wspomagały ocenę m.in. płodozmianu poprzez analizę wieloczasową, czy nasycenie gleby poprzez analizę składowych głównych (PCA). Ograniczeniem w zastosowaniu danych optycznych są zjawiska występujące chwilowo bez wyraźnych cech utrzymania w czasie. Zarówno ortofotomapy lotnicze, jak i satelitarne VHR są uważane za równoważne materiały, oferujące znaczące korzyści w poprawie jakości kontroli.



Ryc. 16. Wybrane przykłady nieprawidłowości wg wymagań GAEC: 1. wypalanie, 2. podmokły i wyjeżdżony teren, 3. wkraczanie niepożądanego roślinności. [P10]

Dyskusja i podsumowanie

Analiza pokazuje skuteczność zobrazowań VHR jako praktycznego narzędzia do monitorowania zabiegów agrotechnicznych, prowadząc do korzyści poprzez redukcję bardziej zasobochłonnych kontroli terenowych. Badania wskazały na praktyczne zastosowanie zobrazowań VHR w kontroli GAEC i były podstawą do przygotowania Raportu dla ARiMR w postaci wytycznych i materiałów szkoleniowych dla operatorów opisane w części dot. współpracy z otoczeniem gospodarczym (Zlecenie DBR-2305-12/WIBR/11). Metoda CAPI wciąż funkcjonuje operacyjnie w systemie kontroli, a obecnie jest implementowana i automatyzowana w AMS - Systemie Monitorowania Obszaru w ARiMR.

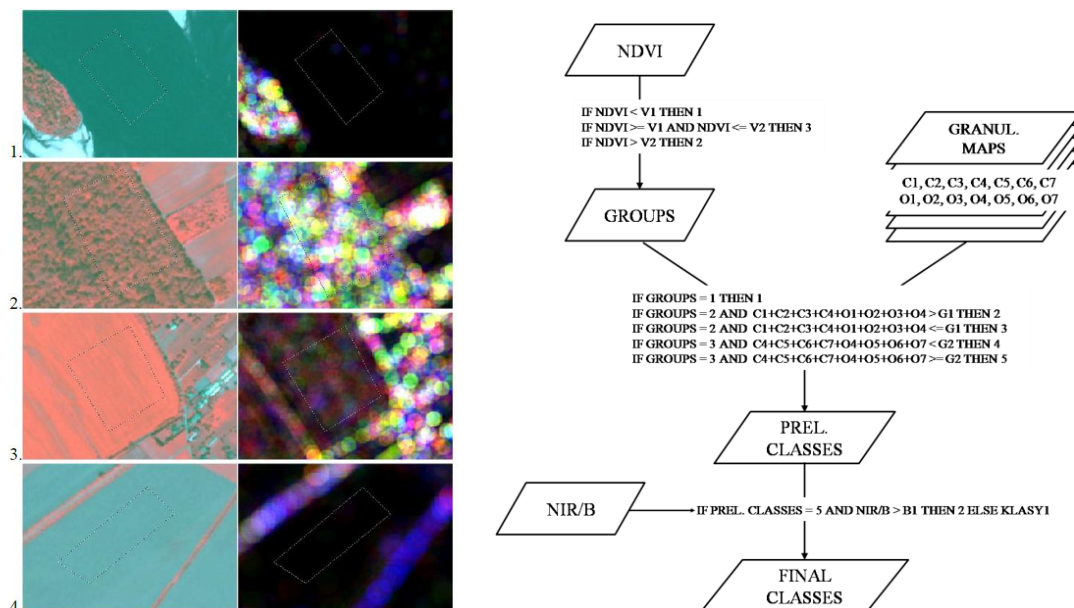
P11. Automatic Approach to VHR Satellite Image Classification.

Automatyczne podejście do klasyfikacji obrazów satelitarnych VHR.

Autorzy: Kupidura P., Osińska-Skotak K., **Pluto-Kossakowska J.:** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016, nr XLI-B7, s. 277-282. DOI:10.5194/isprsarchives-XLI-B7-277-2016.

Moim oryginalnym wkładem jest: znaczący udział w opracowaniu koncepcji badań i modelu przetwarzania zdjęć, ocena wyników, wnioskowanie i przygotowanie publikacji. W badaniach zrealizowano innowacyjne podejście do w pełni automatycznej klasyfikacji obrazów satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej (VHR) Pleiades. W przeciwieństwie do powszechnie stosowanych metod klasyfikacji nadzorowanej, która wymaga wcześniejszego zdefiniowania sygnatur klas, lub klasyfikacji nienadzorowanej, która musi być następnie interpretowana, proponowana metoda nie wymaga interwencji operatora poza ustawieniem parametrów początkowych. Podejście to opiera się na analizie zarówno danych spektralnych, jak i teksturowych obrazu i składa się z trzech etapów. Pierwszy etap wykorzystuje wartości wskaźnika NDVI do rozróżnienia podstawowych klas (woda, roślinność, obszary niezarośnięte). Drugi etap opiera się na obrazach teksturowych, będących produktem lokalnej analizy granulometrycznej. Trzeci etap wykorzystuje wskaźnik oparty na kanałach bliskiej podczerwieni i niebieskiego do korekty błędnie sklasyfikowanych pikseli. Kolejne etapy przedstawia Ryc. 17. Badania przeprowadzono na

trzech obrazach Pléiades z różnych dat, uzyskując dokładność kappa rzędu 0,9 w zależności od typu terenu.



Ryc. 17. Po lewej przykłady klas pokrycia terenu w kompozycji barwnej oraz w kompozycji map granulometrycznych: woda (1), las (2), niska roślinność (3), odkryta gleba (4). Po prawej schemat blokowy modelu klasyfikacji.

Kluczowe rezultaty

1. Wysoka dokładność klasyfikacji i uniwersalność metody

Opracowana metoda osiągnęła bardzo wysoką dokładność klasyfikacji pięciu podstawowych klas pokrycia występujących w przestrzeni rolniczej: woda, niska roślinność, gleba odkryta, obszary zalesione i obszary zabudowane. Wyniki klasyfikacji zweryfikowano na ponad 70 polach kontrolnych obejmujących 260 ha. We wszystkich testowanych obrazach Pléiades uzyskano wartość współczynnika kappa w przedziale 0,87-0,96, przy ogólnej dokładności klasyfikacji od 90% do 97%. Najlepiej sklasyfikowaną klasą była woda z dokładnością producenta wynoszącą 97% i dokładnością użytkownika 100%. Metoda wykazała szczególną skuteczność w rozróżnianiu klas o podobnych charakterystykach spektralnych, ale różnej teksturze np. roślinność. Mimo wysokiej ogólnej dokładności, badanie ujawniło wyzwania związane z klasyfikacją najbardziej heterogenicznych klas, szczególnie "obszarów zabudowanych". Klasa ta wykazywała najniższą dokładność ze względu na dużą różnorodność funkcjonalną (domy jednorodzinne, drogi), strukturalną (zabudowa zwarta, rozproszona, obiekty liniowe) oraz spektralną materiałów konstrukcyjnych. Podobne wyzwania dotyczyły klasy "gleba odkryta", często mylonej z obszarami rolniczymi pokrytymi roślinnością, szczególnie wczesną wiosną.

Kluczowym osiągnięciem jest wykazanie dużej odporności proponowanej metody i nawet znaczące zmiany wartości parametrów nie spowodowały istotnego spadku dokładności klasyfikacji. Dzięki przeliczeniu wartości DN pikseli na współczynniki odbicia, metoda jest uniwersalna i może być stosowana do obrazów z różnych systemów satelitarnych i z różnych

terminów pozyskania. Prostota modelu i oparcie go na pojedynczych wartościach wskaźników umożliwia łatwe dostrajanie w celu uzyskania optymalnej dokładności klasyfikacji.

2. Skuteczność analizy granulometrycznej w klasyfikacji teksturowej

Zastosowanie map granulometrycznych opartych na morfologii matematycznej (operacje otwarcia i zamknięcia) okazało się bardzo skuteczne w analizie teksturowej. W przeciwieństwie do innych metod analizy tekstury (m.in. GLCM, analiza fraktalna), granulometria morfologiczna jest odporna na efekt graniczny tj. kwalifikowanie granic obiektów jako obszarów o wysokiej teksturze, co znacząco zwiększa efektywność analizy. Opracowano kilka wskaźników opartych na wartościach różnych obrazów granulometrycznych, które upraszczają ekstrakcję klas o różnej teksturze. Skuteczność podejścia hybrydowego wykazano poprzez połączenie analizy cech spektralnych i teksturowych. Jest to kluczowe dla rozróżnienia klas o podobnej sygnaturze spektralnej, ale różnej strukturze przestrzennej. Trzystopniowe podejście: analiza NDVI → analiza granulometryczna → korekcja NIR/B, pozwala na systematyczne rozróżnienie podobnych klas pokrycia terenu. Metoda wymaga jedynie ustawienia parametrów początkowych, co czyni ją praktyczną w zastosowaniach operacyjnych.

Dyskusja i podsumowanie

Opracowana metoda automatycznej klasyfikacji obrazów VHR stanowi znaczący postęp w dziedzinie teledetekcji, oferując praktyczne rozwiązanie dla szybkiej i dokładnej analizy pokrycia terenu. Połączenie analizy spektralnej z zaawansowaną analizą teksturową zapewnia wysoką skuteczność rozpoznawania różnych klas pokrycia. Szczególną zaletą jest odporność metody na zmiany parametrów oraz jej uniwersalność. Automatyzacja procesu znacznie obniża koszty i czas potrzebny do monitorowania zmian, także w obszarach rolniczych.

P12. Automatic detection of dominant crop types in Poland based on satellite images.

Automatyczne wykrywanie dominujących typów upraw w Polsce na podstawie zdjęć satelitarnych.

Autorzy: Pluto-Kossakowska J., Pilarska-Mazurek M., Bartkowiak P., Artificial Satellites, 2020, 55(4), s.185–208. DOI:10.2478/arsa-2020-0013

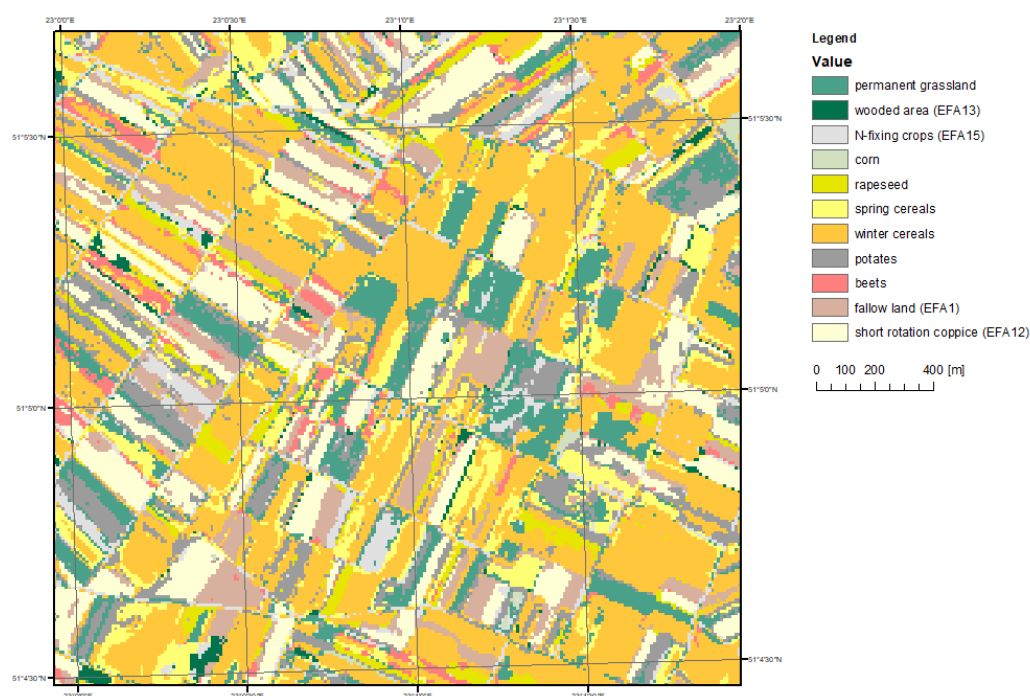
Moim oryginalnym wkładem jest: koncepcja badań, opracowanie metodyki przetwarzania i analizy zdjęć, przeprowadzenie klasyfikacji, analiza i interpretacja wyników oraz wnioskowanie, a także przygotowanie publikacji. W publikacji przedstawiono badania nad skutecznością automatycznego wykrywania i identyfikacji dominujących typów upraw w Polsce, na potrzeby WPR Unii Europejskiej i jej wymogów programu zazieleniania. Badania przeprowadzono na Wyżynie Lubelskiej, rolniczym regionie o rozdrobnionej strukturze gospodarstw i niewielkich obszarowo działkach rolnych (średnia powierzchnia działki ~ 1,5 ha). Głównym celem było sprawdzenie na ile obrazy o średniej rozdzielczości (HR) mogą stanowić źródło danych do klasyfikacji upraw w złożonym krajobrazie rolniczym. W badaniu wykorzystano dane referencyjne z LPIS (zadeklarowane przez rolników uprawy) oraz wieloczasowe obrazy z satelitów Sentinel-2 i Landsat-8 pozyskane w sezonie wegetacyjnym

2016. Zobrazowania te wzajemnie się uzupełniają, dostarczając wieloczasowych danych do identyfikacji upraw. Do automatycznej klasyfikacji zastosowano klasyfikator Random Forests (RF). Metoda ta została wybrana z wielu testowanych ze względu na jej solidność, szybkość i skuteczność w przypadku dużych zbiorów danych.

Kluczowe rezultaty

1: Skuteczność klasyfikacji na danych wieloczasowych

Połączenie wieloczasowych danych Sentinel-2 i Landsat-8 znacznie poprawiło dokładność klasyfikacji w porównaniu z wykorzystaniem danych z pojedynczych sensorów. W przypadku dominujących upraw (Ryc. 18), połączone podejście (S2 + L8) osiągnęło ogólną dokładność (OA) wynoszącą 91% i wartość kappa ponad 0,85 w podejściu obiektowym. Wyższa dokładność klasyfikacji została osiągnięta w podejściu obiektowym opartym na działkach, szczególnie w przypadku danych Landsat-8, gdzie rozdzielczość przestrzenna 30 m była zbyt zgrubna dla małych działek w podejściu pikselowym.



Ryc. 18. Przykładowy wynik klasyfikacji RF - wariant klasyfikacji dla wieloczasowego zestawu danych Sentinel-2 i Landsat-8.

2: Uprawy dominujące versus uprawy rzadkie

Dominujące uprawy, takie jak kukurydza, rzepak, zboża jare i ozime, były dobrze rozróżnialne, osiągając wysokie wskaźniki dokładności użytkownika (UA) od 86% do 94%. Jednak uprawy rzadkie, takie jak uprawy wiążące azot i zagajniki o krótkiej rotacji, wykazywały niższą dokładność, na poziomie zaledwie 40%. Uprawy takie jak ziemniaki, buraki, trwałe użytki zielone i ugory również wykazywały niższą dokładność. Przypisuje się to czynnikom takim jak: wąskie działki dla upraw okopowych, kwestie związane z deklaracjami rolników i podobieństwo charakterystyk czasowo-spektralnych dla trwałych

użytków zielonych i ugorów, które mogą być mylone z innymi klasami lub pojawiać się jako odkryta gleba. W WPR położony jest nacisk na utrzymanie dobrych praktyk rolniczych, w tym dywersyfikację upraw, utrzymanie trwałych użytków zielonych i obszarów proekologicznych. Wykazana zdolność do rozpoznawania i kartowania różnorodnych upraw jest niezbędna do monitorowania działalności rolniczej, także w tym zakresie.

Dyskusja i podsumowanie

Opracowany schemat, który integruje wieloczasowe dane Sentinel-2 i Landsat-8 w podejściu opartym na działkach, okazuje się być skuteczną metodą identyfikacji dominujących typów upraw w złożonym krajobrazie rolniczym Polski. Sama klasyfikacja RF jest bardzo dokładna w przypadku głównych upraw. Jednak potrzebne są dalsze badania w celu poprawy wykrywania upraw rzadkich i sprostania wyzwaniom związanym z klasyfikacją trwałych użytków zielonych i ugorów ze względu na ich podobne cechy spektralne i niespójności w deklaracjach producentów rolnych. Badanie było skoncentrowane na niwelacji wyzwań związanych ze złożoną strukturą rolną w Polsce, co wciąż jest wyzwaniem w kontekście prognozowania plonów, analizy statystycznej produkcji, zarządzania płodozmianem, czy oceny szkód dla rozdrobnionych upraw.

P13. Review of Multitemporal Classification Methods for Satellite Images in Crop and Arable Land Recognition.

Przegląd metod klasyfikacji wieloczasowej obrazowań satelitarnych w identyfikacji upraw i gruntów ornych.

Autorzy: Pluto-Kossakowska J.: Agriculture, 2021, 11(10), art. 999.

DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11100999>

Moim oryginalnym wkładem jest: metodyka badań i przeprowadzenie metaanalizy. Publikacja ukazała się w 2021 roku, ale prace nad nią toczyły się równolegle i były ściśle powiązane z badaniami eksperymentalnymi opisanymi w publikacji P12. W ramach badań przeprowadzono przegląd metod klasyfikacji wieloczasowych wykorzystujących zdjęcia satelitarne do automatycznej identyfikacji upraw i gruntów ornych, koncentrując się na ich skuteczności i dokładności. Badanie miało na celu usystematyzowanie światowych osiągnięć i określenie kierunków rozwoju w zakresie algorytmów uczenia maszynowego z wykorzystaniem optycznych obrazów satelitarnych. Przegląd w szczególności poświęcono analizie takich czynników jak: rodzaje upraw, struktura rolnictwa, metody klasyfikacji i sensory optyczne. Wskazano jednocześnie trendy i kierunki badań w zakresie automatyzacji procesów identyfikacji upraw. W badaniu uwzględniono publikacje, które ukazały się w latach 1995-2020 i były notowane w siedmiu najbardziej powszechnych bazach naukowych: Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect, Google Scholar, MDPI, BazTech.

Kluczowe rezultaty

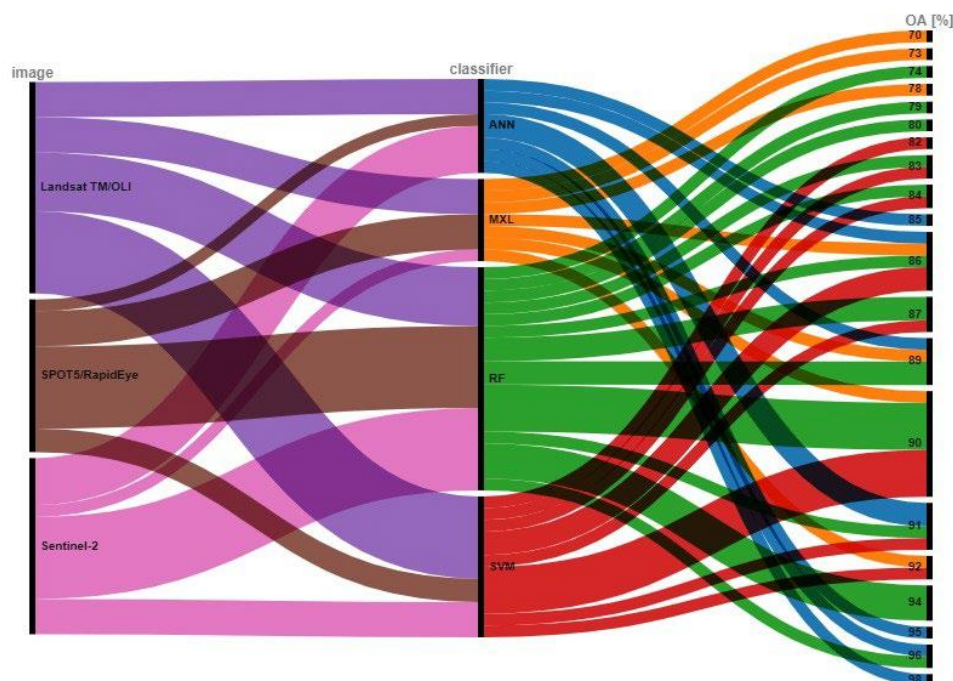
1: Systematyczny przegląd metodyk i analiza porównawcza

Głównym osiągnięciem jest systematyzacja metod klasyfikacji wieloczasowej do automatycznej identyfikacji upraw i gruntów ornych przy użyciu optycznych obrazowań

satelitarnych. Obejmuje ona analizę różnych podejść metodycznych, takich jak wybór danych oparty na rozdzielczości przestrzennej, wybór algorytmów i lokalne warunki upraw. W badaniu przeprowadzono analizę porównawczą najczęściej wykorzystywanych algorytmów do klasyfikacji upraw. Chociaż nie ma znaczącej różnicy w dokładności między różnymi algorytmami uczenia maszynowego, klasyfikatory sztucznych sieci neuronowych (ANN) generalnie wykazują nieco lepsze wyniki średnio o kilka punktów procentowych. Ogólna dokładność klasyfikacji upraw przy użyciu obrazów Landsat wynosi 70%- 92%, Sentinel-2 77%-98%, a SPOT-5 i RapidEye 74%-95%. Raportowane najlepsze wyniki 85-98% są w większości osiągnięte metodami uczenia głębokiego (stan na rok 2020), Ryc. 19.

2: Wybór danych i ich rozdzielczość versus fragmentacja upraw

Szczególną uwagę skierowano na strukturę agrarną w analizowanych przypadkach. Badanie dostarczyło informacji o wpływie rozdzielczości przestrzennej i rozmiaru działek na dokładność klasyfikacji. Dla złożonych, rozdrobionych regionów (np. małe gospodarstwa) lepsze wyniki osiąga się przy użyciu zobrazowań Sentinel-2 lub SPOT-5 w porównaniu do zobrazowań Landsat.



Ryc. 19. Ogólna dokładność (OA%) uzyskana w odniesieniu do klasyfikatora i rodzaju sensora [P13].

W przypadku rozdrobionych struktur agrarnych obrazy Sentinel-2 i SPOT-5 dają lepsze wyniki niż obrazy Landsat ze względu na ich wyższą rozdzielczość przestrzenną. Jednak w przypadku obszarów z dużymi działkami nie ma znaczącej różnicy w dokładności obrazów o wysokiej rozdzielczości. Liczba i czas rejestracji obrazów satelitarnych mają natomiast duże znaczenie dla rozróżnienia typów upraw. Dokładność klasyfikacji poprawia się wraz ze wzrostem liczby obrazów pozyskanych w całym sezonie wegetacyjnym.

Powszechnie wykrywane uprawy to gatunki dominujące w strefach klimatu umiarkowanego, takie jak zboża, rzepak, kukurydza, buraki cukrowe i użytki zielone. Liczba sklasyfikowanych gatunków zazwyczaj waha się od pięciu do sześciu, rzadko przekraczając 12-15, ponieważ klasyfikacja większej liczby gatunków staje się trudniejsza i zmniejsza dokładność ze względu na podobieństwo czasowo-spektralne.

Dyskusja i podsumowanie

Znaczącym ustaleniem było to, że klasyfikatory ANN średnio dają nieco lepsze wyniki (o kilka punktów procentowych) niż inne algorytmy uczenia maszynowego (stan na rok 2020). W badaniu podkreślono, że chociaż metody uczenia maszynowego osiągają wysoką dokładność (powyżej 90%) w identyfikacji upraw, opracowanie skutecznych modeli, które są uniwersalne niezależnie od krajobrazu rolniczego, nadal pozostaje wyzwaniem. Z przeprowadzonej analizy wynika, że wybór zbiorów danych, sensorów i metod przetwarzania zależy przede wszystkim od zasobów i potrzeb i w większości przypadków następował po wykonaniu wstępnych testów. Ciągły wzrost liczby publikacji naukowych na temat wykorzystania danych optycznych do rozpoznawania upraw podkreśla ważność zawartości informacyjnej tych danych i możliwości jej wyekstrahowania metodami uczenia maszynowego.

Synteza badań w cyklu nr 2

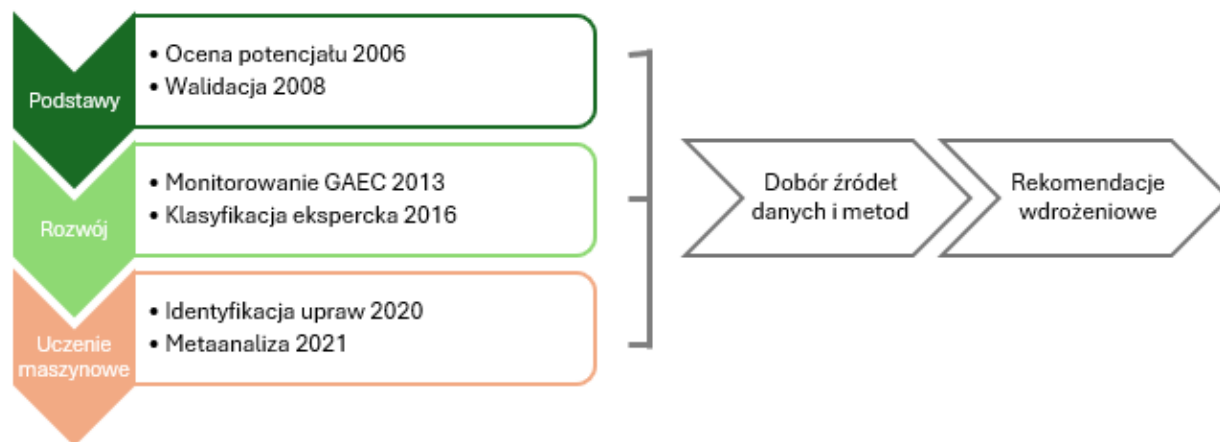
Przedstawione publikacje prezentują przegląd metod przetwarzania i oceny możliwości zastosowania obrazowań satelitarnych istotnych w zarządzaniu przestrzenią rolniczą, w tym obejmują: ocenę dokładności geometrycznej i tematycznej obrazowań VHR, klasyfikację pokrycia i użytkowania terenu, detekcję upraw, monitorowanie praktyk rolniczych i obiektów w przestrzeni rolniczej. Poniższa tabela prezentuje sumarycznie wyniki z różnych eksperymentów i testów przeprowadzonych w ramach badań cyklu publikacji. W tabeli wyniki uszeregowano chronologicznie według czasu publikacji.

Tabela wyników Zastosowanie:  Identyfikacja i pomiar działek,  Monitorowanie GAEC,  Klasyfikacja upraw i pokrycia terenu

P	Sensor	Metoda	Dokładność geometryczna (m) lub tematyczna (%)	Zastosowanie
8	SPOT5, Ikonos, QuickBird	Wyostrażanie, CAPI, pomiar	Pikselowa (0,5m-2,5m)	
9	Cartosat-1	CAPI, pomiar	Aft 1,6m; Fore 3,2m	
10	WorldView-2, GeoEye-1	CAPI	Jakościowa	
11	Pleiades	Klasyfikacja ekspercka	>90%	
12	Sentinel-2, Landsat8	Klasyfikacja nadzorowana	>90%	
13	Różne optyczne	Metaanaliza	>80%	

Badania wskazują na ewolucję od podstawowych technik pomiarowych (P8, P9, P10) do zaawansowanych algorytmów uczenia maszynowego (P11, P12, P13). Kluczowe osiągnięcia obejmują: ocenę potencjału obrazowań VHR do identyfikacji działek, monitorowania

praktyk rolniczych oraz automatyzację procesów identyfikacji i klasyfikacji upraw z dużą dokładnością operacyjną. Metody przetwarzania i oceny danych optycznych zapewniają skuteczne narzędzia do zarządzania przestrzenią rolniczą i jej systemowego monitorowania (ryc. 20).



Ryc. 20. Cykl chronologiczny badań i ukierunkowanie na wdrożenia

Powiązania publikacji i fazy rozwoju badań

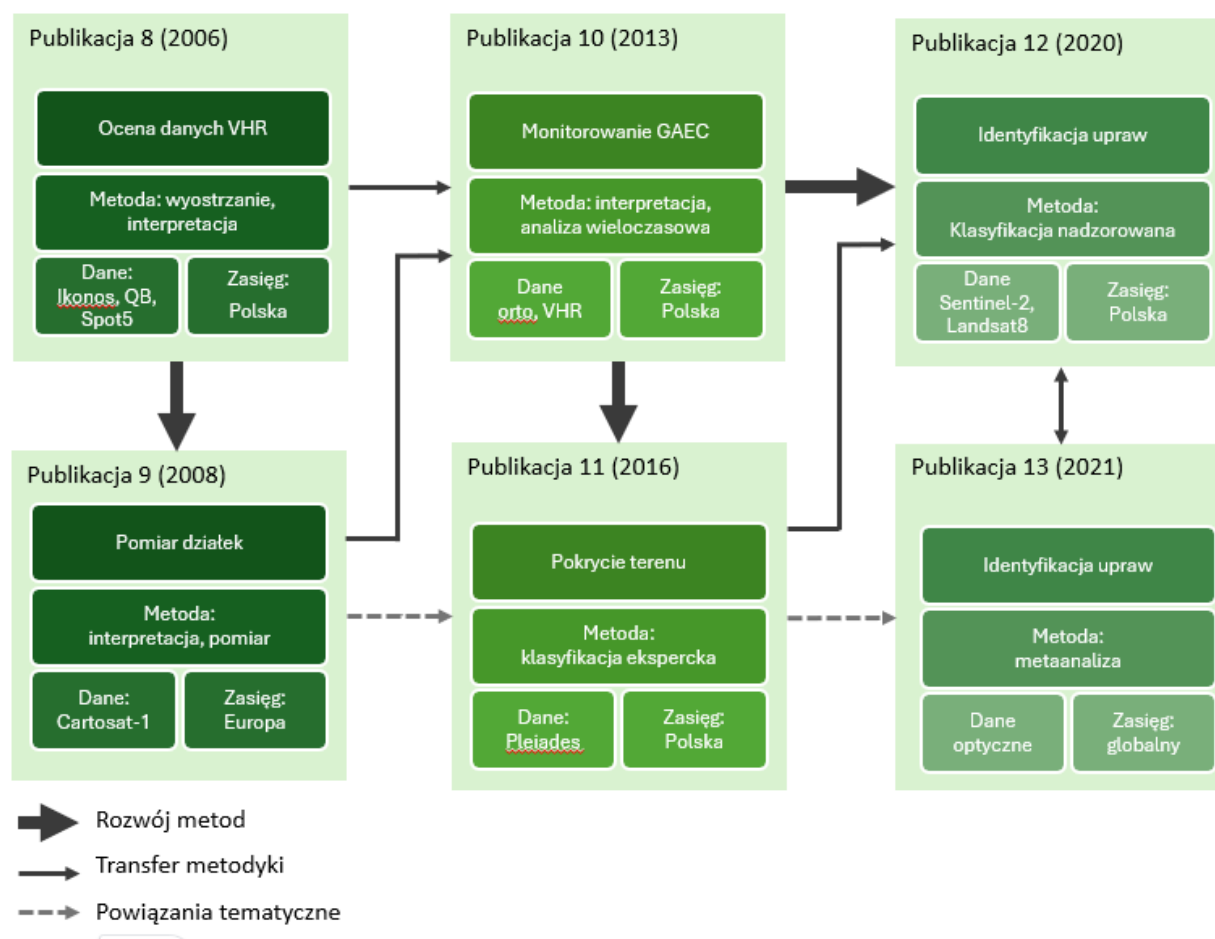
Analizowane publikacje przedstawiają cykl rozwoju badań i oceny przydatności danych optycznych w zastosowaniach rolniczych. Cykl podzieliłam na 3 fazy odnoszące się do zagadnień i stopnia dojrzałości stosowanych technik analizy i przetwarzania danych, podobnie jak w cyklu publikacji nr 1. Połączenie tego zakresu badawczego z cyklem publikacji nr 1 przedstawiono na Ryc. 10 (str. 22).

Faza pionierska (2005-2008): Pierwsze prace (P8, P9) koncentrowały się na potwierdzeniu użyteczności obrazowań VHR (IKONOS, QuickBird, SPOT5, Cartosat-1) dla kontroli rolniczej w ramach WPR UE. Kluczowe było ustalenie dokładności geometrycznej i metodyki łączenia danych panchromatycznych z wielospektralnymi w celu zwiększenia rozdzielczości przestrzennej, jednocześnie utrzymując wysoki potencjał informacyjny.

Faza rozwoju (2013-2016): Rozszerzenie metod oceny obrazowań VHR na monitorowanie norm dobrej kultury rolnej GAEC (P10) oraz do detekcji klas pokrycia terenu (P11). Wprowadzenie do automatyzacji i klasyfikacji eksperckiej z wykorzystaniem przetworzeń wskaźnikowych i granulometrii.

Faza zaawansowania (2020-2021): Integracja uczenia maszynowego i analiza z wykorzystaniem danych wielosensorowych. Wykorzystanie algorytmów uczenia maszynowego (m.in. Random Forests, SVM, ANN) do identyfikacji i klasyfikacji upraw. Kombinacja danych z różnych sensorów (Sentinel-2, Landsat-8) umożliwia zwiększenie dokładności tematycznej w rozpoznaniu upraw (P12). Metaanaliza pozwoliła na zidentyfikowanie najczęściej stosowanych źródeł danych, metod automatycznej klasyfikacji upraw oraz uzyskiwanych wyników (P13).

Na Ryc. 21 przedstawiłam schemat powiązań między publikacjami. Strzałki wskazują rodzaj powiązania tj.: rozwój metod, transfer metodyki badawczej i analizy danych oraz powiązanie tematyczne.



Ryc. 21. Schemat powiązań publikacji w cyklu 2.

Wkład w dyscyplinę i potencjał wdrożeniowy

W swoich badaniach rozwijam techniki przetwarzania i doskonalę metody analizy danych optycznych w zakresie potrzeb zarządzania przestrzenią rolniczą. Szczególnie odnosi się do następujących kwestii:

- Kontrola jakości danych i pomiar powierzchni – standardy dokładności i metody walidacji dla danych VHR (**Wytyczne dla agencji płatniczych UE w ramach prac własnych JRC** – opis w części dot. współpracy).
- Monitorowanie praktyk rolniczych – rozwój metod pomiaru powierzchni działek z wykorzystaniem zobrazowań satelitarnych i metody CAPI (**Wytyczne dla ARiMR w ramach prac zleconych** – opis w części dot. współpracy).
- Kartowanie użytkowania gruntów – automatyczne rozpoznanie upraw i klas pokrycia terenu oraz analizy wieloczasowe i ich zastosowanie w systemie IACS (Projekt ESA)

oraz do zarządzania produkcją rolną (Wniosek EC-ENER/2025/OP/0113 – opis w części dot. współpracy).

Podsumowanie cyklu nr 2

Cykl publikacji wskazuje na znaczący rozwój metodyk przetwarzania i oceny optycznych obrazowań satelitarnych w monitorowaniu przestrzeni rolniczej. Kluczowe osiągnięcia moich badań obejmują:

- **Ocena dokładności** pomiarów powierzchni działek rolnych;
- **Metody detekcji i monitorowania** praktyk rolniczych i środowiskowych;
- **Metody automatyzacji** procesów rozpoznania i klasyfikacji upraw.

Przyszłe kierunki rozwoju powinny koncentrować się na dalszej automatyzacji procesów analizy i przetwarzania danych, w tym integracji danych z różnych źródeł, rozwoju aplikacji czasu rzeczywistego dla dynamicznego monitorowania, zastosowaniu analiz wieloczasowych i uczenia maszynowego do predykcyjnego modelowania zmian w przestrzeni rolniczej.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej.

Współpraca z ośrodkami zagranicznymi

1. **W latach 2005-2009 byłam zatrudniona w Joint Research Center** w Isprze (Włochy) na stanowisku Project and Technical Officer w Institute for the Protection and Security of the Citizen, MARS (Monitoring Agriculture ResourceS) Unit. W ramach swoich zadań prowadziłam projekty badawcze zlecone przez Komisję Europejską oraz jako prace własne JRC nad wykorzystaniem danych satelitarnych w Common Agricultural Policy (CAP), głównie do nowych danych i metod detekcji działek rolnych, ich pomiaru oraz identyfikacji praktyk rolniczych. Swoje zadania realizowałam we współpracy z podmiotami zewnętrznymi, m.in. z Italian Space Agency (ISA, Włochy), Centre National d'Études Spatiales (CNES, Francja), German Aerospace Center (DLR, Niemcy), organami administracyjnymi odpowiedzialnymi za CAP w różnych krajach członkowskich m.in. Belgia, Francja, Czechy, Polska. Efektem tych działań były wytyczne dla krajów członkowskich UE dotyczące wykorzystania danych satelitarnych w konkretnych procedurach w ramach Wspólnej Polityki Rolnej (CAP). Wypracowane rekomendacje i wskazania prezentowałam na konferencjach międzynarodowych i warsztatach JRC w formie referatów, raportów oraz publikacji naukowych (lista w Załączniku 4). Współorganizowałam cykliczne spotkania i

konferencje w JRC (2006-2008) dotyczące CAP adresowane do administracji krajów członkowskich UE. Najważniejsze moje dokonania jako wkład naukowy opisałam w **pierwszym i drugim cyklu Autoreferatu**.

2. Obecnie najmocniejszą zagraniczną współpracą naukową prowadzę w ramach badań arktycznych głównie z jednostkami europejskimi. Jedną z nich jest NORCE (Norweskie Centrum Badawcze), w którym odbyłam trzytygodniowy **staż w 2024 w Oslo**. Pod nadzorem dr Eirika Malnes przeprowadziłam analizy mokrego śniegu na danych SAR w kriosferze Svalbardu. Wynikiem była automatyzacja detekcji i ocena dokładności wyników z danych SAR o różnej parametryzacji. Prace te były kontynuacją obserwacji terenowych przeprowadzonych przeze mnie w Svalbard (Norwegia) w ramach **stażu naukowego w Stacji Polarnej w Hornsund** wiosną 2024 (10 dni) w projekcie „High-resolution satellite-based mapping of snow distribution and snow melt on Svalbard (PlanetSnow)”. W trakcie pobytu na Stacji oprócz pozyskiwania własnych obserwacji terenowych uczestniczyłam w pomiarach naziemnych, głównie na lodowcach Hans i Arie prowadzonych przez naukowców z ośrodków polskich i zagranicznych. Efektem obu staży były moje dwa referaty na 7th SIOS Polar Night Week 2025 w Longyearbyen (Norwegia) oraz II Sympozjum Geoinformacyjnym 2025. Publikacja jest w przygotowaniu. Konsekwencją tej współpracy było złożenie w 2024 wniosku projektowego z NORCE i Budapest University of Technology and Economics do ESA pt. „Variations Of Water Input To Arctic Ocean From In Daily Satellite Freshwater Influx Measurements” w ramach Future EO-1 Segment 2 Open Call For Proposal For EO Innovation.

Kolejnym międzynarodowym projektem (2025-2027), w którym uczestniczę to “Svalbard Lagoons: geomorphological evolution, biodiversity, biogeochemical and ecological role (Svalbard Lagoons)” otrzymanym w ramach Svalbard Strategic Grant. Liderem projektu jest **University Centre in Svalbard (UNIS, Norwegia)**, a w konsorcjum jest pięć jednostek z Norwegii, Łotwy i Polski. Jako wykonawca prezentowałam możliwości wykorzystania danych optycznych, w tym VHR do badania i analizy zmian lagun polodowcowych na warsztatach podczas Svalbard Science Conference w Oslo, 2025. Planowane aktywności w ramach tego projektu to kolejne warsztaty i prace terenowe w Eidem Lagoon w 2026 i 2027 roku oraz złożenie wspólnego wniosku projektowego.

3. Drugim obecnie rozwijanym kierunkiem mojej współpracy z ośrodkami zagranicznymi jest **Politechnika Lwowska**. Pierwszy wspólny projekt (Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej – NAWA) był zrealizowany w latach 2022-2023 pt. „Rozwój strategicznej współpracy Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Narodowego Politechniki Lwowskiej we współpracy dydaktycznej i badawczej w zakresie Geomatyki”. Jako wykonawca (a także jako Pełnomocnik Dziekana ds. Międzynarodowych Programów Edukacyjnych) współpracowałam z pracownikami z Institute of Geodesy, Lviv Polytechnic National University, współorganizowałam ich staże w PW oraz mobilności studentów, w tym długoterminowe (na 1 lub 2 semestry) oraz krótkoterminowe w ramach Summer School in Geomatics. Mój staż planowany na 2023 w Politechnice Lwowskiej został odroczony na czas bardziej sprzyjający mobilności.

Konsekwencją tej dotychczasowej współpracy (głównie z dr Lyubov Babi i dr Borys Chetverikov) jest złożenie dwóch wniosków projektowych, w tym jeden uzyskał finansowanie na lata 2026-2028 “Advanced Geomatics and Remote Observation for Precise Agriculture in Terms of Higher education (AGROPATH)” przez European Education And Culture Executive Agency (EACEA) European Commission. Liderem projektu jest Politechnika Lwowska, a w konsorcjum jest 9 uczelni, w tym 4 z Ukrainy oraz z Grecji, Słowenii, Węgier i Mołdawii. Projekt ma na celu modernizację programów nauczania w zakresie rolnictwa precyzyjnego, integrację najnowocześniejszych narzędzi cyfrowych, takich jak GNSS, GIS, teledetekcja i bezzałogowe statki powietrzne (UAV). Kluczowe działania obejmują aktualizację programów edukacyjnych, utworzenie nowoczesnych laboratoriów geomatycznych oraz zapewnienie dostosowanych do potrzeb kursów przekwalifikujących dla osób przesiedlonych, społeczności wiejskich i rolników. Moje zadanie to zarządzanie projektem w ramach prac PW oraz organizacja spotkań, prowadzenie szkoły letniej dla wykładowców kierunków rolniczych w zakresie wykorzystania technik fotogrametrycznych i teledetekcyjnych w rolnictwie precyzyjnym.

4. Studyjne wizyty krótkoterminowe, głównie dydaktyczno-organizacyjne, szkoleniowe i warsztatowe odbyłam w jednostkach:
 - Dublin Technical University (Irlandia), 2025
 - Aarhus University (Dania), 2022, 2023
 - Wien Technical University (Austria), 2019
 - KTH Royal Institute of Technology in Stockholm (Szwecja), 2019
 - German Aerospace Center (DLR, Niemcy), 2018
 - Valencia Technical University (Hiszpania), 2018
5. Przed doktoratem odbyłam dwa miesięczne staże naukowe, które istotnie poszerzyły moją wiedzę i wzmocniły umiejętności w zakresie przetwarzania danych satelitarnych i uczenia maszynowego:
 - 1997 Staż naukowy w Gent University, Faculty of Geography, Belgia;
 - 1996 Staż naukowy w Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA), Toulouse, Francja.

Współpraca z ośrodkami krajowymi

W swojej działalności badawczej współpracuję z szeregiem krajowych ośrodków badawczych oraz z podmiotami z otoczenia społeczno-gospodarczego. Poniżej opisałam te najbardziej aktualne i znaczące.

Polski Komitet Polarny

Obecnie (od 2022) najszerszą współpracę prowadzę z podmiotami, które wchodzą w skład Polskiego Komitetu Polarnego **PKPol**, głównie w zakresie wykorzystania danych teledetekcyjnych do monitorowania zjawisk glacialnych i obserwacji kriosfery na obszarach polarnych. W ramach projektu HarSval (szczegóły w rodz. 7) odbyłam dwutygodniowy **staż w 2024 w Uniwersytecie Śląskim na Wydziale Nauk o Ziemi**. We współpracy z

glacjologami z UŚ (dr hab. inż. Małgorzata Błaszczyk, dr Michał Laska, prof. Jacek Jania) zaawansowałam swoje badania nad automatyczną detekcją mokrego śniegu na danych optycznych i SAR. Badania te zostały zainicjowane we wcześniejszym projekcie PlanetSnow (szczegóły w rodz. 7) w kooperacji z **Instytutem Geofizyki (IGF) PAN** (dr Bartek Luks, dr Adam Nawrot). Badania te są obecnie na etapie przygotowania publikacji.

Z wymienionymi podmiotami zostały złożone zadania do projektu zamawianego w NCN (w ramach Funduszy Norweskich), którego realizacja rozpocznie się 09.2026. Jestem kierownik zadania „Geospatial technologies laboratory for monitoring of the polar environment changes (Polar GeoLab)” w konsorcjum z **NINA (Norwegia), NORCE (Norwegia), IGF PAN i Uniwersytetem Śląskim**. Jako wykonawca biorę udział w zadaniu „Litter on the edge: developing Arctic-specific methodology for marine litter clean-ups and analysis” w konsorcjum z **forScience Foundation (Polska), University of Tromsø (UiT), NGO Blái Herinn (Islandia), UMK, UMCS, UAM**. W ramach tych zadań zostanie wzmocniona współpraca z partnerami z Norwegii i z Islandii w zakresie wykorzystania danych teledetekcyjnych oraz technologii GIS do monitorowania i zarządzania środowiskiem polarnym.

Współpraca z Agencją Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR)

Współpraca z **ARiMR** w latach 2003-2015 zaowocowała wieloma usługami badawczymi. Poniżej wymieniłam ekspertyzy zlecone przez ARiMR, których byłam współwykonawcą, a ich wyniki wdrożono do realizacji prac własnych Agencji. Rezultatem tej współpracy były publikacje naukowe, które stanowią istotną część **drugiego cyklu publikacji mojego Autoreferatu**.

- Usługa doradcza w zakresie Oceny potrzeb i możliwości wykorzystania przestrzennej bazy danych obiektów rolniczych i akwakultury w modelu podstawowym. Zlecenie DBR-2305-9/WIBR-SM/15, 2015.
- Usługa doradcza w zakresie Doboru zdjęć satelitarnych VHR oraz ich produktów pochodnych dla potrzeb kampanii kontrolnej ARiMR. Zlecenie DBR-2305-4/WIBR-SM/15, 2015.
- Usługa doradcza w zakresie Określenia błędu położenia punktu na ortofotomapie satelitarnej. Zlecenie DBR-2305-2/WIBR-SM/14, 2014.
- Usługa doradcza w zakresie Metodologii oceny prawidłowości wykonania identyfikacji zmian użytkowania gruntów występujących na działkach deklarowanych do płatności w ramach PROW, na bazie cyfrowej ortofotomapy wykonanej na podstawie zdjęć lotniczych. Zlecenie DBR-2305-2/WIBR/12, 2013.
- Usługa doradcza w zakresie Metodologii procesu technologicznego produkcji ortofotomapy satelitarnej dla wybranych typów zdjęć satelitarnych (QuicBird, IKONOS, WordView1, WordView2, GeoEye, EROS B) przy uwzględnieniu wymagań jakościowych zdefiniowanych dla Systemu Identyfikacji Działek Rolnych na potrzeby weryfikacji wniosków o przyznanie płatności. Zlecenie DBR-2305-2/WIBR/12, 2013.

- Usługa doradcza w zakresie Metodyki interpretacji cyfrowej ortofotomapy CIR i możliwości wykorzystania informacji o terenie wraz ze wskazaniem metodyki doboru zdjęć satelitarnych VHR i produktów pochodnych na potrzeby kampanii kontrolnej ARiMR. Zlecenie DBR-2305-12/WIBR/11, 2011.
- Usługa doradcza w zakresie Oceny możliwości wykorzystania ortofotomap lotniczych do korekcji geometrycznej zdjęć satelitarnych oraz do wspomagania identyfikacji upraw w technologii teledetekcyjnej, dla ARiMR, 2003.

Współpraca z otoczeniem społeczno-gospodarczym

Współpraca ze **spółką Cenatorium sp. z o. o.** zapoczątkowałam w 2015 ekspertyzą w zakresie rozwoju technologii rozpoznawania obiektów na zdjęciach satelitarnych: prace nad automatyzacją procesu. W kolejnych latach (2020-2021) zrealizowałam wspólnie z Cenatorium opracowanie metodyczne w projekcie „System monitorowania miasta inteligentnego w ramach audytu miejskiego” dla Urzędu Miasta Kielce oraz ekspertyzy (2022-2023) w zakresie przeglądu i analizy dostępności zbiorów danych dla potrzeb charakterystyk nieruchomości. Najważniejszy badawczo-wdrożeniowy zrealizowałam projekt NCBiR „Rozwój technologii automatycznego rozpoznawania obiektów i ich cech na podstawie danych fotogrametrycznych i teledetekcyjnych, oraz budowa modeli do wielokryterialnej analizy geoinformacji”, 2019-2023. W projekcie pełniłam funkcję Kierownika B+R. Poniżej lista działań w ramach współpracy z podmiotem:

- Przegląd możliwości i zasobu danych do opisu dodatkowych cech dotyczących lokalizacji nieruchomości z uwzględnieniem wskaźników środowiskowych, w tym warunków wodnych i emisyjności. Ekspertyza dla Cenatorium sp. z o. o. 2023.
- Analiza dostępności zbiorów danych MPZP i EGİB dla potrzeb opisu nieruchomości. Ekspertyza dla Cenatorium sp. z o. o. 2022.
- Opracowanie kompleksowej dokumentacji analitycznej obejmującej uniwersalną metodykę audytu miejskiego i analizy warunków życia, identyfikację i inwentaryzację zbiorów danych, uniwersalny dla polskich miast model danych, koncepcję funkcjonowania miejskiego zespołu analitycznego w ramach projektu „System monitorowania miasta inteligentnego w ramach audytu miejskiego”. Wykonawca: Cenatorium sp. z o. o. dla Urzędu Miasta Kielce, 2020-2021.
- Projekt NCBiR „Rozwój technologii automatycznego rozpoznawania obiektów i ich cech na podstawie danych fotogrametrycznych i teledetekcyjnych, oraz budowa modeli do wielokryterialnej analizy geoinformacji”, 2019-2023. Kierownik B+R.
- Wykonanie prac B+R w zakresie rozwoju technologii rozpoznawania obiektów na zdjęciach satelitarnych: prace nad automatyzacją procesu. Ekspertyza dla Cenatorium sp. z o. o., 2015.

Ostatnie moje aktywności (rok 2025) z innymi podmiotami gospodarczymi skutkowały złożeniem kilku ważnych wniosków projektowych lub przetargowych. Są to:

- Z **ITTI Sp. z o.o.** Projekt badawczo-wdrożeniowy „Land Tax Assessor” – projekt ESA w ramach AO/4-40010/23/I-DT-LR - INCUBED-2 Standard Call (2025-2027). Projekt jest obecnie w realizacji, a aktualny stan prac dostępny na stronie projektu: <https://incubed.esa.int/portfolio/lta/>. Celem projektu jest opracowanie rozwiązania, które łączy aktualne dane satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości z danymi katastralnymi i wykorzystuje zaawansowane algorytmy sztucznej inteligencji do identyfikacji rozbieżności, takich jak niezgłoszone budynki, niedoszacowane powierzchnie nieruchomości oraz zmiany w użytkowaniu gruntów. Docelowo usługa ma być wdrożona na portalu POLSA i ma pomóc lokalnym administracjom w procesach poboru podatków oraz w zwiększeniu przejrzystości i kontroli opodatkowania w samorządach.
- Z **Price Waterhouse Coopers (EU Services)**

“Review of the data on the expansion of agricultural production areas onto forests and other land with high carbon stock for the Renewable Energy Directive”, nr EC-ENER/2025/OP/0113. Jest to przetarg na usługę badawczą ogłoszony przez European Commission, Directorate-General for Energy i oczekuje na rozstrzygnięcie w 2026. Celem jest opracowanie i zastosowanie metodyki opartej na systemie GIS w celu dokładnego przypisania przekształcenia gruntów do poszczególnych upraw w skali globalnej, uzupełnionej szczegółowymi analizami regionalnymi oraz porównania z istniejącymi badaniami. Wynikiem są zweryfikowane szacunki dotyczące ekspansji obszarów uprawnych na gruntach o wysokich zasobach węgla w stosunku do całkowitej ekspansji upraw zarówno w skali regionalnej, jak i globalnej.

Kolejne zgłoszenie “Copernicus Land Monitoring Service Inland Water Working Group – Supporting Services”, nr EEA/DTL/R0/25/016 jest w trakcie opracowania i zostanie zgłoszone w 01.2026. Przedmiotem ogłoszenia jest utworzenie grupy roboczej CLMS ds. wód śródlądowych, która będzie udzielać niezależnych wskazówek dla EEA i CLMS w zakresie specyfikacji, projektowania, wdrażania i rozwoju portfolio produktów CLMS dotyczących wód śródlądowych.
- Z firmą **SkySnap** <https://skysnap.pl/> – „Monitoring obszarów zurbanizowanych (detekcja zabudowy)”. Przedmiotem zamówienia POLSA było opracowanie map budynków w Polsce w roku 2024 lub 2025 na podstawie danych satelitarnych VHR2 oraz danych Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego. Rozstrzygnięcie przetargu (07.2025) dla naszego wniosku było negatywne, ale zaowocowało współpracą w zakresie dydaktyki.

Ekspertyzy pozostałe

Okres trwania	Tytuł, zamawiający, zakres prac
---------------	---------------------------------

2023-2024	Usługa ekspercka „Analiza w zakresie sposobu wyznaczania obszarów abonamentów rejonowych w Strefie Płatnego Parkowania Niestrzeżonego w Warszawie” dla Zarządu Dróg Miejskich ZDM, nr ZDM/UM/DZP/179/A/2023. W ramach usługi zrealizowano także szkolenia dla pracowników ZDM w zakresie analiz przestrzennych i modelowania stref płatnego parkowania. W przygotowaniu wniosek patentowy.
2021-2022	Opracowania metodyk w zakresie analiz przestrzennych dot. dostępności komunikacyjnej i atrakcyjności lokalizacyjnej oraz rozkładu przestrzennego cen gruntów i lokali. Usługa ekspercka dla 24GIS, Polska.
2019-2020	Opracowanie materiałów szkoleniowych „Przetwarzanie zdjęć satelitarnych z wykorzystaniem platformy CREODIAS”, w tym podręcznika „Teledetekcja w praktyce”. Prace zlecone dla CloudFerro, Polska.
2017-2018	Opracowanie szczegółowych standardów technicznych w zakresie wytworzenia mapy pokrycia m.st. Warszawy. Ekspertyza dla Urzędu Miasta Warszawy.
2015	Opracowanie metodyki analizy stanu zasobów przyrodniczych SPN na podstawie zestawów danych pomiarowych i zobrazowań teledetekcyjnych. Ekspertyza dla Słowińskiego Parku Narodowego.
2014	Analiza możliwości opracowania metodyki przetwarzania obrazów satelitarnych RapidEye pod kątem oceny zdrowotności lasów. Ekspertyza dla Instytutu Badawczego Leśnictwa.

W mojej działalności naukowej stawiam na wzmacnianie dobrych relacji z jednostkami badawczymi w kraju i za granicą oraz wykorzystywanie potencjału we współpracy z podmiotami gospodarczymi poprzez angażowanie się we wspólne projekty. Poszukiwanie źródeł finansowania dla przedsięwzięć badawczo-wdrożeniowych i pisanie wniosków zaowocowało w ostatnich latach (2020-2025) **złożeniem ponad 20 grantów oraz aplikacji do przetargów, w tym m.in. do Komisji Europejskiej, ESA, Norwegian Funds, Swiss Funds, NCN, NCBiR, POLSA** z czego 12 uzyskało finansowanie, 1 oczekuje na rozstrzygnięcie. Kolejny wniosek do KE jest w opracowaniu.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Dydaktyka

Zajęcia i prace dyplomowe prowadzone w Politechnice Warszawskiej

W ramach zadań dydaktycznych prowadzę przedmioty związane z tematyką teledetekcyjną i systemów informacji przestrzennej dla trzech kierunków studiów: geodezja i kartografia (GiK), gospodarka przestrzenna (GP) oraz geoinformatyka (GI), na dwóch stopniach tj. inżynierskim i magisterskim. Jest to średnio ponad 240 h dydaktycznych rocznie. Poniżej lista przedmiotów (funkcjonujących w USOS od 2015 roku) w podziale na kierunki i formy zajęć (pogrubione zajęcia na studiach magisterskich).

Przedmiot	GiK	GI	GP
<i>Teledetekcja</i>			
1. Podstawy teledetekcji			Ćwiczenia
2. Teledetekcja i Teledetekcja 2	Ćwiczenia	Ćwiczenia	
3. Zastosowania teledetekcji	Ćwiczenia		
4. Teledetekcja w GP			Projekt
5. Przetwarzanie i interpretacja zdjęć satelitarnych			Ćwiczenia
6. Teledetekcyjne źródła danych dla SIP	Wykład, projekt		
7. Teledetekcja radarowa	Ćwiczenia		
8. Teledetekcja hiperspektralna	Projekt		
9. Photogrammetry and Remote Sensing in Environmental and Urban Planning (eng)			Wykład, projekt
<i>Systemy Informacji Przestrzennej</i>			
10. Zastosowania SIP / GIS	Wykład, projekt	Wykład	
11. Infrastruktura Informacji Przestrzennej	Projekt		
12. Technologie SIP	Wykład, projekt		
13. Analizy przestrzenne i modelowanie			Projekt
14. Zastosowania fotogrametrii i teledetekcji	Wykład		

Od 2012 do 2025 roku byłam promotorką 94 prac dyplomowych, w tym 46 magisterskich i 48 inżynierskich. Oprócz tego, aktualnie (01.2026) 6 prac dyplomowych jest na ukończeniu (2 złożone oczekują na obronę). W tym samym czasie zrecenzowałam 72 prace i konsultowałam w zakresie teledetekcji kilka prac interdyscyplinarnych. Wypromowałam 5 prac napisanych w języku angielskim (obecnie dwie w trakcie opracowania). 18 prac ukończono wspólną publikacją lub referatem na konferencji naukowej (lista w Załączniku 4). Poniżej lista prac nagrodzonych lub wyróżnionych w różnych konkursach. W sumie **współuczestniczyłam w wypromowaniu około 180 prac dyplomowych.**

- Analiza zmian pokrycia terenu metodami klasyfikacji obiektowej i uczenia maszynowego z wykorzystaniem zdjęć Corona i Landsat. Aleksandra Wasik. Nagroda Ministra Rozwoju i Technologii, 2024. Autorka jest stypendystką grantu doktorskiego w Kent University (Kanada), gdzie obecnie realizuje PhD Study.
- Opracowanie metodyki wyznaczania lokalizacji ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych z wykorzystaniem narzędzi GIS. Anna Gregorczyk. Nagroda Prezydenta m.st. Warszawy, 2020.
- Wykorzystanie technologii GIS w analizie zielonej i błękitnej infrastruktury dla obszaru zurbanizowanego i podmiejskiego. Monika Władyka, Weronika Tulkowska. Nagroda Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, 2019.
- Opracowanie bazy danych pokrycia terenu i analiza czasowa zmian zalesienia Tatrzańskiego Parku Narodowego na podstawie zdjęć SPOT. Beata Weintrit. EARSeL & ISPRS Young Scientist Days at 34th EARSeL Symposium, 2014. Autorka obecnie realizuje pracę doktorską w Politechnice Warszawskiej.

Opracowanie i wdrożenie programów studiów w Politechnice Warszawskiej

- MMNS – Mobile Mapping and Navigation Systems, Kierownik Projektu wdrożeniowego w ramach zadania NERW PW (2019-2022), obecnie prowadzenie prac dyplomowych w języku angielskim.
- SEPD – Smart Environmental Planning and Design, koordynator przedmiotu: Photogrammetry and Remote Sensing in Environmental Planning and Design (2024-2025).
- Współpraca w przygotowaniu programu podwójnego dyplomowania z Politechniką w Walencji na kierunku geodezja i kartografia, studia 2go stopnia w jęz. angielskim.
- Udział w modernizacji programów dla kierunku geodezja i kartografia na Wydziale Geodezji i Kartografii PW na pierwszym (2024-2025) i drugim stopniu (2015, 2025-2026).

Prowadzone studia podyplomowe i szkolenia dla kadry w Politechnice Warszawskiej

- Systemy Informacji Przestrzennej (2012-obecnie) – prowadzenie przedmiotów z zakresu przetwarzania i wykorzystania danych przestrzennych oraz promotorstwo prac dyplomowych.
- Rozwój Obszarów Wiejskich (2021-2022) - prowadzenie przedmiotów z zakresu teledetekcji i GIS w gospodarce na terenach wiejskich.
- Organizacja seminariów dydaktycznych dla wykładowców Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej „Dydaktyczne Tornado”. Od 2024, 4/rok.

Prowadzone szkolenia i szkoły letnie

- Przeprowadzenie zajęć z zakresu „Zastosowań obrazów satelitarnych w gospodarce przestrzennej”. Realizacja usługi ProGEA dla POLSA, 2025.
- Opracowanie materiałów i przeprowadzenie wykładów dla Polskiej Agencji Kosmicznej w ramach „Szkoleń dla administracji publicznej w ramach projektu Sat4Env” zajęć z zakresu „Zastosowań obrazów satelitarnych w gospodarce przestrzennej”. Realizacja usługi ProGEA dla POLSA, 2020-2021.
- Szkolenia dla pracowników ZDM z Metod wyznaczania obszarów abonamentów rejonowych w Strefie Płatnego Parkowania Niestrzeżonego w Warszawie. Usługa dla ZDM Warszawa, 2023.
- Summer School on Geomatics, Politechnika Warszawska, dwie edycje 2022-2023. Współorganizacja i prowadzenie zajęć ze studentami w zakresie teledetekcji. Projekt SPINAKE.
- Prowadzenie zajęć w ramach Studium Podyplomowym TRISIG w zakresie baz danych glebowych w Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA), Toulouse, Francja 2001.

- Soil Summer School organizowaną przez European Soil Committee w JRC, wykład z zakresu teledetekcyjnych danych w analizie gleb i ich właściwości, 2000.

Inne aktywności w zakresie dydaktyki

- Promotor pomocnicza w pracy doktorskiej Heleny Łoś „Badanie wpływu polaryzacji i częstotliwości danych satelitarnych SAR na dokładność określania zasięgu i struktury zjawisk lodowych na rzekach”, Wydział Geodezji i Kartografii, data obrony: 26-10-2017.
- Współpraca z doktorantem Sandhi Wanghiyana z Wydz. Elektroniki i Informatyki PW w ramach projektu GREY-SAR. Pomoc w przygotowaniu rozprawy doktorskiej w jęz. angielskim. Obrona odbyła się 18-06-2025.
- Nadzór nad projektem Koła Naukowego Wektor „Planet Snow” w latach 2024-25. Pomoc w przygotowaniu 3 referatów na konferencjach studentów kierunków geodezyjnych (Warszawa 2024 oraz Kraków 2025).
- UM Kielce realizacja przedsięwzięcia „Datathon – Webskie Kielce” 2021 i 2022.
- Referaty zapraszane o charakterze dydaktycznym i popularyzacyjnym na GIS Day w Stolicy, ESRI, Viva Dydaktyka, Wydział Mechatroniki, Wydział EITI Politechniki Warszawskiej w latach 2016-2017, 2020-2024.
- Publikacje naukowo-popularyzatorskie w ArcanaGIS (ESRI) 2016, 2020, 2021.
- Członkini Kapituły Konkursowej IEEE Thesis Contest Engineer 4 Science w zakresie geoinformacji (2022, 2023).
- Członkini komisji konkursowych na konferencjach naukowych, m.in. SGGW 2015 „Zaplanuj przestrzeń”, OTiG 2016 na najlepszą pracę dyplomową,
- Członkini Komitetu Organizacyjnego i Jury olimpiady wiedzy z zakresu „Gospodarki Przestrzennej” – Konkurs o Indeks, WGiK (2016-2020).
- Festiwal Nauki 2013-2025, prowadzenie zajęć dla szkół ponadpodstawowych z teledetekcji oraz warsztatów dla nauczycieli w zakresie wykorzystania technologii ESRI do prowadzenia lekcji 2023-2024.
- Festiwal Nauki Małego Człowieka [2013-2018] oraz PW Junior – Projekt PW cyklicznych zajęć dla dzieci ze szkół podstawowych w zakresie teledetekcji, 2013-2018.

7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej

Inne osiągnięcia i aktywności zawodowe

- Zespołowa nagroda II stopnia JM Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia organizacyjne, 2024.

- Nagroda zespołowa I stopnia JM Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia organizacyjne, 2022.
- Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia dydaktyczne, 2021.
- Nagroda indywidualna III stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia organizacyjne, 2019.
- Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia naukowe, 2014.
- Brązowa Odznaka Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, 2021.
- Złota Odznaka Polskiego Towarzystwa Geograficznego, 2019.
- Organizacja seminarium polarnego w Politechnice Warszawskiej. Popularyzacja badań polarnych i prezentacja osiągnięć w projekcie HarSval, 2025.
- Członek Komitetu Organizacyjnego w XXV Ogólnopolska Konferencja Fotointerpretacji i Teledetekcji, Online, Polska, 2022.
- Członek Komitetu Naukowego w XXIV Ogólnopolska Konferencja Fotointerpretacji i Teledetekcji, Online, Polska 2020 – 2021.
- Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego i organizatorka warsztatów w XXII Ogólnopolska Konferencja Fotointerpretacji i Teledetekcji "Zdalne Techniki Badania Środowiska - historia, współczesność, nowe trendy" Warszawa, 2016.
- Redaktor tematyczna w Reports on Geodesy and Geoinformatics od 2023 [Reports on Geodesy], ISSN 2391-8365, e-ISSN 2391-8152.
- Redaktor tematyczna w Artificial Satellites Journal of Planetary Geodesy od 2022 [Artificial Satellites, The Journal of Space Research Centre of Polish Academy of Sciences], ISSN 0208-841X, e-ISSN 2083-6104.
- Redaktor tematyczna w Advances in Geodesy and Geoinformation od 2020 [Geodesy and Cartography], ISSN 2720-7242, e-ISSN 2720-7242.
- Redaktor pomocnicza w czasopiśmie Teledetekcja Środowiska, ISSN 0071-8076.
- Redakcja wydania tematycznego Image Processing, w Remote Sensing, ISSN, e-ISSN 2072-4292, 2020–2022.
- Współredakcja monografii „Informacja przestrzenna dla samorządów terytorialnych”, 2013, Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-7814-163-1.
- Ekspert dla Sekcji Teledetekcji Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN, 2018 – 2024.
- Członkini Oddziału Teledetekcji Polskiego Towarzystwa Geograficznego od 1995. Od 2014 Skarbnik i Wiceprzewodnicząca w poprzednich kadencjach.
- Członkini Polskiego Towarzystwa Informacji Przestrzennej od 2003. Obecnie w Komisji Rewizyjnej.
- Członkini Polskiego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji od 2012.

- Członkini Uczelnianej Rady ds. Jakości Kształcenia, Politechnika Warszawska 2024 – 2028.
- Pełnomocnik Dziekana ds. Jakości Kształcenia, Wydział Geodezji i Kartografii PW, 2024 – 2028.
- Przewodnicząca Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia, Wydział Geodezji i Kartografii PW, 2024 – 2028.
- Organizacja cyklicznych seminariów dydaktycznych „Dydaktyczne Tornado” na Wydziale GiK, od 2024.
- Pełnomocnik Dziekana ds. Międzynarodowych Programów Edukacyjnych, Wydział Geodezji i Kartografii PW, 2013 – 2025.
- Przewodnicząca Wydziałowej Komisji ds. Współpracy Międzynarodowej, Wydział Geodezji i Kartografii PW, 2012 – 2024.
- Kierownik zespołu badawczego: Wirtualne Laboratorium Modelowania Geoinformacji dla Miast VCITYLAB w PW, <https://repo.pw.edu.pl/info/team/WUT>

Podnoszenie kompetencji zawodowych

Duża część mojej aktywności zawodowej odnosi się do dydaktyki. Stąd nieodzownym jest stałe podnoszenie kompetencji w zakresie dydaktycznym (m.in. Master of Didactics), ale też w zakresie organizacji i zarządzania zespołem projektowym (m.in. Scrum Master, TRIZ). Poniżej lista wybranych kursów i szkoleń (pogrubione ukończone egzaminem i dyplomem):

- Szkolenie: AI jako asystent kadry akademickiej, SAGES - projekt OMNIS PW, 09.2025.
- **Szkolenie: Project-Based Learning (PBL). Make Students’ Learning Real and Effective. Europass Teacher Academy, 06.2025, Dublin. Certyfikat.**
- Udział w programie dot. podnoszenia kompetencji w zakresie samoświadomości i rozwoju zawodowego. Organizator Biuro Karier PW, 2023-24.
- Szkolenie: Myślowa transformacja: po co i jak w świecie zmian zmieniać paradygmaty swojego myślenia, Uniwersytet Gdański, 06.2024.
- Szkolenie: Zabawa jako klucz do angażujących zajęć ze studentami, Uniwersytet Gdański, 2024.
- **Studium „Advanced Master of Didactics” Groningen University, projekt MNiSW i PW 09.2022-09.2023. Dyplom.**
- **Studium „Master of Didactics” Aarhus University, projekt MNiSW i PW 03.2022-02.2023. Dyplom.**
- **Szkolenie w zakresie „Scrum Master” 07.2022, Egzamin, Politechnika Warszawska. Certyfikat.**
- Szkolenie: Action Learning. Projekt NERW PW - 07.2022.
- EO College course „Land in Focus – Urban Spaces” 07.2022 by ESA (online). Certyfikat.

- **Certyfikat I stopnia Międzynarodowego Stowarzyszenia TRIZ (Teoria Rozwiązywania Innowacyjnych Zadań). Od 2019 jestem na liście specjalistów I st.**
- Kurs w zakresie innowacyjnych form kształcenia, Projekt NERW PW, 9-24.03.2019.
- Kurs w zakresie zarządzania informacją. Projekt NERW PW – 11.2019.
- Szkolenie: Zdalne kierowanie zespołem. Projekt NERW PW – 04.2021.
- Szkolenie z zakresu ochrony praw własności intelektualnej. Projekt NERW PW – 12.2021, 05.2025.
- Szkolenie: Kryteria jakościowe dotyczące prowadzenia studiów międzynarodowych. Projekt NERW PW – 05.2018.

Istotne projekty zrealizowane przed i po doktoracie

Okres trwania	Tytuł, zamawiający, zakres prac
Po doktoracie	
2026-2028	“Advanced Geomatics and Remote Observation for Precise Agriculture in Terms of Higher education” w ramach ERASMUS-EDU-2025-CBHE-STRAND-2. Lider projektu: Politechnika Lwowska. Moje zadanie to zarządzanie projektem w ramach prac PW oraz organizacja i prowadzenie szkoły letniej dla wykładowców kierunków rolniczych w zakresie wykorzystania technik foto/tele w rolnictwie precyzyjnym.
2025-2027	“Land Tax Assessor” – ESA Project under InCubed Program. Lider projektu: ITTI. Moje zadanie to zarządzanie projektem w ramach prac PW oraz badania nad wykorzystaniem ML w detekcji budynków i zmian w użytkowaniu terenu.
2025-2026	“Svalbard Lagoons: Geomorphological Evolution, Biodiversity, Biogeochemical And Ecological Role”. Koordynator: The University Centre in Svalbard (UNIS) w ramach Svalbard Strategic Grant. Moje zadanie to wykorzystanie optycznych danych teledetekcyjnych w badaniach środowiska lagunowego.
2023-2025	“HarSval Bilateral initiative aiming at Harmonisation of the Svalbard cooperation”. NCN Projekt UMO-2023/43/7/ST10/00001 w ramach Funduszy norweskich. Moje zadanie to wykrywanie mokrego śniegu na zdjęciach optycznych i SAR w regionie Svalbard. Działania we współpracy z NORCE (Norwegia) i IGF PAN.
2023-2024	“High-resolution Satellite-based Mapping of Snow Distribution and Snowmelt on Svalbard (PlanetSnow)” w ramach SIOS–Planet Cooperation to demonstrate the usability of high- resolution Planet data in the Arctic. Koordynator: IGF PAN. Moje zadanie to badania and metodami detekcji śniegu na danych VHR z Planet.
2023-2024	„Wykorzystanie satelitarnych zdjęć SAR do analizy szarej infrastruktury.” Projekt Dyscypliny ILGiT PW, nr 13/ILGiT/2023. Kierownik.
2022-2023	„Rozwój strategicznej współpracy Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Narodowego Politechniki Lwowskiej we współpracy dydaktycznej i badawczej w zakresie Geomatyki”, Projekt NAWA, wykonawca.
2021-2023	„Innowacyjne podejście do wyznaczania wskaźników jakości życia w miastach z wykorzystaniem technologii geoprzestrzennych (INnovaCITY)” w ramach BEYOND POB Politechnika Warszawska. Wykonawca.
2019-2023	“Opracowanie technologii automatycznego rozpoznawania obiektów i ich cech na podstawie danych fotogrametrycznych i teledetekcyjnych oraz tworzenie modeli do wielokryterialnej analizy informacji geograficznej.” Lider: Cenatorium S.A. NCBiR Projekt. Kierownik R&D.

2017-2019	„Application for Monitoring of Greening Practices – CheckGREEN”. Lider Projektu WIZIPISI Ltd., Poland. ESA Project AO/1-8433/15/NL/CBi. Moje zadanie to kierowanie badaniami nad rozwojem metod identyfikacji praktyk zazielenienia.
2016-2018	“Innovative approach supporting the monitoring of non-forest Natura habitats using remote sensing methods HabitARS”, project of NCBiR, under BIOSTRATEG program. Wykonawca - badacz.
2016-2017	“Opracowanie zabudowy grodu kultury łużyckiej na stanowisku 4 w Biskupinie. Badania przedwojenne.” Projekt MKiDN. Lider Muzeum Archeologiczne w Biskupinie. Moje zadania dotyczyły opracowania bazy danych przestrzennych obiektów archeologicznych na podstawie fotoplanów przedwojennych.
2015-2020	“Advanced technologies to assist in flood risk prevention SAFEDAM”, NCBiR project. SAR and optical satellite data processing for flood detection. Wykonawca - badacz.
2014	“Development of a methodology for selecting and correcting satellite images for use in assessing the health of forest stands.” Kierownik projektu PW 504P10600920000
2009-2013	“Metodyka projektowania, tworzenia i eksploatacji Systemów Informacji Przestrzennej dla samorządów gminnych i powiatowych.” Projekt NCBiR, wykonawca.
2008	“Agricultural parcels measurement on TerraSAR images” with Infoterra, Germany - evaluation of area measurement accuracy on VHR TerraSAR images. Projekt JRC. Główny wykonawca.
2007-08	“Cartosat SAP” - part of an international project conducted by the Indian Space Research Organisation of using Cartosat-1 for agricultural parcels interpretation and measurement. Projekt JRC. Główny wykonawca.
2006-07	„ORFEO –SPOT Pleiades and CosmoSkyMed preparatory programme - Use VHR SAR images to identify and measure agricultural parcels” in cooperation with CNES and ESA. Projekt JRC. Główny wykonawca.
2005-06	„Use of ERS-SAR for identification and interpretation of agricultural parcels” in cooperation with the Paying Agency in Wallonia. Projekt JRC. Główny wykonawca.
2004-2005	“Methodology of satellite, aerial and terrestrial images and GIS applications in promotion and protection of cultural heritage”, Projekt KBN, wykonawca.
2005	„Object-based and knowledge-based classifications of VHR images,” Projekt KBN, Wykonawca.
2004-2005	“Study on topographical database, methods and technology of multispectral analysis of temporal changes based on VHR images,” Projekt KBN, wykonawca.
Przed doktorem	
2003	“Expert classification of the satellite images for soil information systems”, Projekt PW.
2000-2003	“Koncepcja systemu informacji przestrzennej województwa mazowieckiego” – projekt zamawiany KBN nr 9T12E-013-99-C/4782, wykonawca.
1999-2002	„Koncepcja regionalnego systemu informacji przestrzennej o glebach”. projekt badawczy KBN nr 9T12E-020-16. Wykonawca.
1999-2001	“Development of the soil digital database for the area of the Odra basin on a scale of 1:250000”. Projekt EU, wykonawca.
1999	“Strengthening capacity in agricultural development through Remote Sensing and GIS” - szkolenie wykonawców projektu FAO. FAO Projekt. Wykonawca.
1998-2000	“Application of GIS and Remote Sensing to planning and management of natural resources”. Polsko-szwedzki projekt badawczy PW-KTH, wykonawca.
1996-1999	“PRONET CCE – Multimedia Computer Based On-Line Training and Support Service for Professionals in Countries of Central Europe”. IV Program Ramowy UE, wykonawca.

1996-1997	„Porównanie metod przetwarzania wielospektralnych zdjęć satelitarnych SPOT eksponujących zróżnicowanie pokrywy glebowej”. Indywidualny projekt badawczy KBN.
1996	“Developpement des methodes d’etude des sols par télédetection et SIG”. Projekt INRA Avignon I INA Paris-Grignon, wykonawca.
1995-1996	„Koncepcja systemu informacji przestrzennej dla województwa ostrołęckiego i praktyczne rozwiązanie wybranych zagadnień na poziomie województwa i wybranej gminy rolniczej”. Projekt zamawiany KBN, wykonawca.

Inne obszary zainteresowań badawczych

Moje zainteresowania naukowe były zawsze skupione na szeroko rozumianej dziedzinie teledetekcji i możliwościach zastosowań w innych obszarach tematycznych, w tym m.in. ocenie jakości życia, aktualizacji baz danych przestrzennych, archeologii. Ponadto bardzo interesują mnie zagadnienia metod dydaktycznych, w tym neuroedukacji. Poniżej przedstawiam tematycznie pogrupowane publikacje naukowe. Pełny wykaz zamieściłam w Załączniku 4.

Wykorzystanie zobrazowań satelitarnych i narzędzi GIS w ocenie przestrzeni i jakości życia

1. Pluto-Kossakowska J., Wangiyana S.: Identyfikacja obszarów miejskich na zobrazowaniach SAR i w bazie danych Urban Atlas, Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], nr 2 (104), 2025 s. 49-64, <http://rg.ptip.org.pl/index.php/rg/article/view/1800>
2. Jaroszewicz J., Denis M., Fijałkowska A., Graszka O., Pluto-Kossakowska J., Krzysztofowicz S.: Spatially explicit mixed-use indicators to measure life quality across the city - A conceptual framework and case study: Piaseczno - A medium sized city in the peri-urban zone of Warsaw, Poland, Cities, vol. 137, 2023, s. 1-19, DOI:10.1016/j.cities.2023.104296
3. Pluto-Kossakowska J., Cuprjak M.: Indicators method of aesthetics analysis using spatial datasets, Przestrzeń i Forma, nr 55, 2023, s. 179-204
4. Pluto-Kossakowska J., Fijałkowska A., Denis M., Jaroszewicz J., Krzysztofowicz S.: Dashboard as a Platform for Community Engagement in a City Development—A Review of Techniques, Tools and Methods, Sustainability, MDPI, vol. 14, nr 17, 2022, s. 10809, DOI:10.3390/su141710809
5. Michalska Zuzanna, Pluto-Kossakowska Joanna: Indicators of Quality of Life in the City Based on Spatial Databases, Przestrzeń i Forma, 2022, nr 51, s.153-184. DOI:10.21005/pif.2022.51.C-02.
6. Pluto-Kossakowska Joanna, Wiśniewska Weronika: Analiza potencjału rolnictwa miejskiego z wykorzystaniem technologii GIS, Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], 2022, vol. 19, nr 4, s.87-94.
7. Mazur Karolina, Pluto-Kossakowska Joanna: Wykorzystanie danych teledetekcyjnych i technologii GIS w audycie krajobrazowym na przykładzie gminy Zwolen, Teledetekcja Środowiska, 2020, vol. 61, s.5-18.

8. Pluto-Kossakowska Joanna, Władyka Monika, Tulkowska Weronika: Wykorzystanie technologii GIS w analizie zielonej i błękitnej infrastruktury, Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], 2020, vol. XVIII, nr 1 (880), s.33-50.

Automatyzacja rozpoznania na zobrażowaniach satelitarnych do aktualizacji bazy danych przestrzennych

9. Pluto-Kossakowska J.: Automatic detection of grey infrastructure based on VHR image, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, vol. XLIII-B3, 2020, s. 181-187, DOI:10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-181-2020
10. Pluto-Kossakowska J., Władyka M., Tulkowska W.: Ocena obrazowych danych teledetekcyjnych do identyfikacji obiektów w zielonej i błękitnej infrastrukturze, Teledetekcja Środowiska, 2018, vol. 59 (2018/2), s.13-27. https://teledetekcja.pw.edu.pl/TDS_59_PLUTO-KOSSAKOWSKA-I-IN.a.pdf
11. Pluto-Kossakowska J., Kamiński M.: Analiza możliwości automatycznej detekcji obiektów topograficznych na zdjęciach lotniczych i satelitarnych VHR, Teledetekcja Środowiska, vol. 62, 2022, s. 5-15
12. Piasecka Ż., Pluto-Kossakowska J.: Przydatność danych lidarowych do zwiększenia potencjału informacyjnego bazy danych topograficznych w klasie "drzewo", Teledetekcja Środowiska, 2017, vol. 57 (2017/2), s.15-26.
13. Łoś H., Pawłowski B., Osińska-Skotak K., Pluto-Kossakowska J.: Comparison of quadpolarimetric and dual-polarimetric SAR data capabilities for river ice classification, W: Proceedings Living Planet Symposium 2016 / Ouwehand L. (red.), ESA Bulletin-European Space Agency, 2016, s.1-4, ISBN 978-92-9221-305-3
14. Pluto-Kossakowska J., Marczak S., Radło-Kulisiewicz M.: Ocena potrzeb i możliwości wykorzystania bazy danych przestrzennych obiektów rolniczych i akwakultury (ORA) w modelu podstawowym, Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], 2016, vol. XIV, nr 5(75), s.617-630.
15. Fijałkowska A., Pluto-Kossakowska J.: Przykłady tworzenia baz danych przestrzennych dla gminy i powiatu, W: Informacja przestrzenna dla samorządów terytorialnych / Białousz Stanisław (red.), 2013, ul. Polna 50, 00-644 Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, s.391-428, ISBN 978-83-7814-163-1.
16. Pluto-Kossakowska J.: Przykłady tworzenia baz danych przestrzennych dla gminy i powiatu. VI.2. Bazy danych dla powiatu, W: Informacja przestrzenna dla samorządów terytorialnych / Białousz S. (red.), 2013, ul. Polna 50, 00-644 Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, s.429-436, ISBN 978-83-7814-163-1.
17. Gotlib D., Osińska-Skotak K., Pluto-Kossakowska J.: Réalisation d'une couche thématique „réseau routier” destinée a un système d'information géographique pour

une voievodie et commune, W: V Francusko-Polskiego Seminarium Zastosowań Teledetekcji na temat „Zastosowania Teledetekcji i Systemów Informacji Geograficznej w Planowaniu Przestrzennym”, 1996, Łódź.

Archeologia

18. Bujno H., Pluto-Kossakowska J., Kopiasz J.: Baza danych przestrzennych dla potrzeb badań Muzeum Archeologicznego w Biskupinie, Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], 2018, vol. XVI, nr 3(82), s.199-217.
19. Pluto-Kossakowska J., Marczak S., Borawski D.: Opracowanie bazy danych przestrzennych dla potrzeb archeologicznych badań krajobrazu kulturowego w regionie Planinica w Czarnogórze, Roczniki Geomatyki [Annals of Geomatics], 2015, vol. XIII, nr z. 1(67), s.57-66.
20. Bujno H., Pluto-Kossakowska J., Kopiasz J.: Baza danych przestrzennych GIS w badaniach struktur zabudowy grodowej na stanowisku 4 w Biskupinie, W: V Sprawozdanie Biskupińskie / Kopiasz J. [i in.] (red.), 2017, Biskupin, Muzeum Archeologiczne w Biskupinie, s.117-134, ISBN 978-83-945256-3-7.

Lasy i roślinność naturalna

21. Pluto-Kossakowska J., Osińska-Skotak K., Stereńczak K.: Określenie rozdzielczości przestrzennej wielospektralnych zdjęć satelitarnych optymalnej do detekcji martwych drzew na obszarach leśnych, Sylwan, 2017, nr 161 (5), s.395-404. DOI:10.26202/sylvan.2016107.
22. Weintrit B., Pluto-Kossakowska J.: Multi-temporal analysis of forestation changes in Tatra National Park using SPOT images, W: EARSeL 34th Symposium Proceedings / Zagajewski B., Kycko M., Reuter R. (red.), 2014, EARSeL and University of Warsaw, s.6.57-6.63, ISBN 978-83-63245-65-8. DOI:10.12760/03-2014-11.

Dydaktyka

23. Pluto-Kossakowska J.: Nauczanie GIS poprzez zaangażowanie społeczne 2024, Viva Dydaktyka III Ogólnopolska Konferencja Dydaktyki Szkoły Wyższej pt. „Transformacje krajobrazu szkolnictwa wyższego” 2024, referat wygłoszony.
24. Pluto-Kossakowska J., Fijałkowska A.: Challenged-based learning z wykorzystaniem narzędzi GIS, 2023, Kongres GIS "Zmień Perspektywę" 2023, referat wygłoszony.
25. Pluto-Kossakowska J., Węzka K., Bakuła K., Gotlib D.: Mobile Mapping and Navigation Systems – A New Master's Program in the Field of Geomatics Launched During the Covid-19 Pandemic, FIG Peer Review Journal, 2022.
26. Chmiel J., Fijałkowska A., Osińska-Skotak K., Pluto-Kossakowska J.: Selected Aspects of GIS Education in the Context of Diverse Needs of Potential GIS Users and

Technology Development, W: Proceedings of 5th European GIS Education Seminar, 2005, Niedzica.

Zastosowanie teledetekcji i GIS w gleboznawstwie (przed doktoratem)

27. Pluto-Kossakowska Joanna: Wykorzystanie klasyfikacji eksperckiej zdjęć satelitarnych w systemach informacji o glebach, Geoinformatica Polonica: prace Komisji Geoinformatyki, 2004, nr 6, s.99-108.
28. Białousz Stanisław, Chmiel Jerzy, Osińska-Skotak Katarzyna, Pluto-Kossakowska Joanna: Technologia tworzenia Georeferencyjnej Bazy Danych dla gleb zlewni Odry, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 2000, vol. 10, s.25.1-25.8
29. Białousz Stanisław, Chmiel Jerzy, Osińska-Skotak Katarzyna, Pluto-Kossakowska Joanna: Regional Soil Information System, W: Proceedings of 10th EC-GI&GIS Workshop, ESDI: The State of the Art, 2004, Warsaw.
30. Białousz Stanisław, Chmiel Jerzy, Pluto-Kossakowska Joanna, Różycki Sebastian: Teledetekcja i technologie GIS w modelowaniu pokrywy glebowej, W: Materiały 26 Kongresu Polskiego Tow. Gleboznawczego, Gleba w środowisku, 2003, s.47-48, ISBN 83-88424-22-X.
31. Pluto-Kossakowska Joanna, Różycki Sebastian, Białousz Stanisław: Teledetekcja i technologie GIS w modelowaniu pokrywy glebowej, W: Materiały konferencyjne 26 Kongresu Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, „Gleba w Środowisku”, Kraków, 2003, s.47-48.
32. Białousz Stanisław, Chmiel Jerzy, Osińska-Skotak Katarzyna, Pluto-Kossakowska Joanna: Baza Danych Przestrzennych dla gleb zlewni Odry – integracja danych pochodzących z różnych źródeł, W: materiały konferencyjne z II Konferencji Użytkowników Systemu ERDAS, 2002, Warszawa.
33. Białousz Stanisław, Chmiel Jerzy, Głazewski Andrzej, Osińska-Skotak Katarzyna, Pluto-Kossakowska Joanna: Baza Danych Przestrzennych dla gleb zlewni Odry, W: Systemy informacji przestrzennej : X konferencja naukowo-techniczna, Zegrze k. Warszawy 12-14 czerwca 2000 / Gaździcki Jerzy, Musiał Ewa (red.), 2000, s.147-155, ISBN 8388368079.
34. Białousz Stanisław, Osińska-Skotak Katarzyna, Pluto Kossakowska Joanna, Głazewski Andrzej: Baza Danych Przestrzennych dla gleb zlewni Odry.
35. Materiały z X konferencji naukowo-technicznej Polskiego Towarzystwa Informacji Przestrzennej, „Systemy Informacji Przestrzennej”, 2000, Zegrze.
36. Białousz Stanisław, Chmiel Jerzy, Pluto-Kossakowska Joanna, Osińska-Skotak K.: The Georeferenced Soil Database for the area of Odra basin, W: "Soils in Central European Countries, New Independent States, Central Asian Countries and in Mongolia. Present

Situation and Future Prospect" / Lahmar M.; Ruellan A.; Montanarella L. (red.), 2000, Prague, Czech, European Commission.

37. Białousz Stanisław, Chmiel Jerzy, Osińska-Skotak Katarzyna, Pluto-Kossakowska Joanna: The Georeferenced Soil Database for the area of Odra basin, W: Soils in Central European Countries, New Independent States, Central Asian Countries and in Mongolia, 2000.

.....
(podpis wnioskodawcy)