

Uniwersytet Śląski w Katowicach

Wydział Nauk Przyrodniczych

Instytut Nauk o Ziemi

NATALIA JANCZEWSKA

NR ALBUMU: 9044

**Opracowanie metodyki ewidencjonowania
śródlądowych wód powierzchniowych
z wykorzystaniem narzędzi GIS oraz teledetekcji
niskiego pułapu**

ROZPRAWA DOKTORSKA

Promotor: dr hab. Magdalena Matysik

Opiekun pomocniczy: mgr inż. Marcin Jarzyński

Pracę opracowano we współpracy z Państwowym Gospodarstwem Wodnym Wody Polskie
w ramach programu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pn. „Doktorat wdrożeniowy”

Katowice, 2025 rok

***Dziękuję bardzo Pani Promotor
dr hab. Magdalenie Matysik, prof. UŚ***
*za opiekę naukową, ogromne zaangażowanie
wszelką pomoc oraz bezgraniczną życzliwość*

***Dziękuję również Opiekunowi pomocniczemu
mgr inż. Marcinowi Jarzyńskiemu, Zastępcy Prezesa
Państwowego Gospodarstwa Wody Polskie ds. Ochrony
przed Powodzią i Suszą***
*za ogromne wsparcie, opiekę i dawany wzór,
a także przekazaną wiedzę i kształtowanie kompetencji*

***Serdeczne podziękowania pragnę wyrazić również
Panu dr hab. Damianowi Absalonowi, prof. UŚ***
*za wsparcie oraz kierowanie i nadzór nad prowadzonymi
działaniami naukowymi, a także za ukształtowanie postaw*

Dziękuję również mężowi Kamilowi oraz Rodzicom
za cierpliwość i okazane wsparcie

Spis treści

Streszczenie	1
Abstract	2
Słownik akronimów:	3
1. Wstęp	5
1.1. Wprowadzenie	5
1.2. Cel i zakres pracy	7
2. Obszar badań	8
3. Metody badań i wykorzystane materiały	11
3. Wyniki.....	15
3.1. Wody powierzchniowe w ewidencjach – przegląd	15
3.1.1. Klasyfikacja wód	15
3.1.2. Bazy danych wód powierzchniowych w Polsce	17
3.1.3. Prezentacja danych hydrograficznych na świecie (implementacja rozwiązań GIS).....	18
3.2. Rozbieżności w bazach danych wód powierzchniowych.....	23
3.2.1. Płaszczyzny rozbieżności i metoda siatki referencyjnej.....	23
3.2.2. Analiza multikryterialna i preferencyjne dane.....	27
3.3. Metodyka zdalnej detekcji wód.....	32
3.3.1. Metody wektoryzacji obszarów pokrytych wodami.....	32
3.3.2. Metody wykrywania wód ze zobrażeń multispektralnych – wskaźnik NDWI.....	34
3.3.3. Algorytmy klasyfikacji oparte na uczeniu maszynowym.....	36
3.3.4. Metody wykrywania wód i miejsc ich potencjalnego występowania na podstawie danych LiDAR	37
3.4. Podsumowanie weryfikowanych metod	41
3.4.1. Pułapy pozyskiwania danych oraz ograniczenia	41
3.4.2. Porównanie czasu oraz efektywności	42
3.4.3. Porównanie precyzji w oparciu o dane GPS.....	44
3.4.4. Rekomendacje	46
3.5. Ewidencja wód	47
3.5.1. Struktura atrybutowa	47
3.5.2. Zdalna detekcja aktualnego przebiegu sieci hydrograficznej – schemat przetwarzania.....	49
3.5.3. Dodatkowe dane określające charakter wód.....	52

3.5.4. Kataster nieruchomości jako kompatybilne źródło informacji o własności i przebiegu wód powierzchniowych.....	53
3.5.5. Mapa interaktywna	63
4. Podsumowanie i wdrożenie.....	64
5. Bibliografia.....	67
Literatura	67
Akty prawne.....	71
Źródła internetowe	71
Spis tabel.....	73
Spis rycin	73
Spis fotografii.....	76
6. Załączniki	76

Streszczenie

Rozprawa podejmuje problematykę opracowania nowoczesnej, zintegrowanej metodyki ewidencjonowania śródlądowych wód powierzchniowych w Polsce, z wykorzystaniem narzędzi GIS oraz teledetekcji niskiego pułapu (UAV, LiDAR, multispektralne zobrazowania). Praca została zrealizowana w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” we współpracy z Państwowym Gospodarstwem Wodnym Wody Polskie Regionalnym Zarządem Gospodarki Wodnej w Gliwicach. Głównym celem było stworzenie metodyki umożliwiającej precyzyjne, aktualne i zgodne z przepisami prawa odwzorowanie sieci hydrograficznej oraz opracowanie struktury bazy danych wód powierzchniowych. Prace badawcze objęły trzy etapy:

- (1) weryfikację błędów i rozbieżności w istniejących bazach danych,
- (2) testowanie i porównanie metod zdalnej detekcji wód,
- (3) wdrożenie metodyki w Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gliwicach.

W badaniach wykorzystano dane wytworzone w trakcie nalogów bezzałogowymi statkami powietrznymi, przetworzone m.in. na multispektralne ortofotomapy (wskaźnik NDWI) i modele terenu. Przeprowadzono analizy statystyczne, analizy przestrzenne oraz ankietyzację wśród pracowników Wód Polskich.

Wyniki wykazały istotne rozbieżności geometryczne i atrybutowe pomiędzy bazami danych, a także niezgodności własnościowe gruntów pod wodami. Szczególnie krytyczne okazały się dane z Ewidencji Gruntów i Budynków, które nie mogą być traktowane jako źródło referencyjne. Z kolei NDWI i klasyfikacja chmur punktów LiDAR okazały się skuteczne w zdalnej i automatycznej detekcji wód. Efektem pracy jest gotowa do wdrożenia metodyka ewidencjonowania wód, obejmująca: schemat przetwarzania danych, strukturę atrybutową bazy, rekomendacje dotyczące wyboru algorytmów oraz propozycję integracji z systemami prawnymi i katastralnymi. Opracowano również interaktywną mapę hydrograficzną w środowisku ArcGIS Online. Rozprawa wnosi istotny wkład w rozwój narzędzi zarządzania gospodarką wodną w Polsce, wskazując na potrzebę harmonizacji danych przestrzennych, automatyzacji procesów oraz wykorzystania nowoczesnych technologii w administracji publicznej.

Abstract

The dissertation addresses the development of a modern, integrated methodology for the inventory of inland surface waters in Poland, utilizing GIS tools and low-altitude remote sensing technologies (UAVs, LiDAR, multispectral imaging). The research was conducted within the framework of the “Implementation Doctorate” program in cooperation with the Polish State Water Holding Regional Water Management Authority in Gliwice, (PGW Wody Polskie Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gliwicach). The main objective was to create a methodology that enables precise, up-to-date, and legally compliant mapping of the hydrographic network, along with the development of a structured surface water database. The research was carried out in three stages:

- (1) verification of errors and discrepancies in existing databases,
- (2) testing and comparison of remote water detection methods,
- (3) implementation of the methodology at the Regional Water Management Authority in Gliwice.

The study utilized data collected through UAV flights, processed into multispectral orthophotos (NDWI index) and terrain models. Statistical analyses, spatial analyses, and surveys among employees of PGW Wody Polskie were conducted. The results revealed significant geometric and attribute discrepancies between databases, as well as ownership inconsistencies regarding land with water. Particularly critical were the data from the cadastral database (EGiB), which cannot be considered a reliable reference source. In contrast, NDWI and LiDAR point cloud classification proved effective for remote and automated water detection.

The outcome of the research is a ready-to-implement methodology for water inventory, including: a data processing workflow, an attribute structure for the database, algorithm selection recommendations, and a proposal for integration with legal and cadastral systems. An interactive hydrographic map was also developed using ArcGIS Online.

The dissertation makes a significant contribution to the development of water management tools in Poland, highlighting the need for spatial data harmonization and the use of modern technologies in public administration.

Słownik akronimów:

ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler (profilujący przepływomierz akustyczny)

ArcGIS – system informacji geograficznej firmy ESRI (Environmental Systems Research Institute)

BDOT – Baza Danych Obiektów Topograficznych

DEM – Digital Elevation Model (numeryczny model wysokościowy)

DTM – Digital Terrain Model (numeryczny model terenu)

EGiB – Ewidencja Gruntów i Budynków

FTP – File Transfer Protocol – przestrzeń używana do wymiany plików

GIS – Geographic Information System (system informacji geograficznej)

H – hour (godzina)

LiDAR – Light Detection and Ranging (lotniczy skanowanie laserowe)

MMQGIS – wtyczka do QGIS rozszerzająca możliwości analiz przestrzennych

MHPH – Mapa Podziału Hydrograficznego Polski

MIN - minuta

NDWI – Normalized Difference Water Index (znormalizowany różnicowy wskaźnik wodny)

NIR – Near Infrared (bliska podczerwień)

NMPT – Numeryczny Model Pokrycia Terenu

NMT – Numeryczny Model Terenu

PUWG 1992 – Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992

QGIS – Quantum GIS (otwarte oprogramowanie GIS)

RPA – Republika Południowej Afryki

RZGW – Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej

UA – Urban Atlas

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (bezzałogowy statek powietrzny, dron)

WMS – Web Map Service (usługa sieciowa map)

WFS – Web Feature Service (usługa sieciowa danych przestrzennych)

W – użytek gruntowy: rowy

Wp – użytek gruntowy: śródlądowe wody płynące

Ws – użytek gruntowy: wody stojące

1. Wstęp

1.1. Wprowadzenie

Digitalizacja obiektów hydrograficznych jest naturalnym skutkiem informatyzacji procesów i systemu zarządzania gospodarką wodną (Barczyńska i in., 2013). Niezbędne do realizacji tego celu były narzędzia Geograficznych Systemów Informacyjnych (dalej: GIS). Efektywne i spójne zarządzanie środowiskiem wodnym opierać się musi jednak na danych aktualnych, poprawnych geometrycznie oraz pod względem bazodanowym (Jaiswal i in., 2021). Zachowanie spójności i aktualności przestrzennych danych hydrograficznych okazuje się wyzwaniem, na które odpowiada niniejsza praca. Niezbędnym do osiągnięcia tego celu jest opracowanie metodyki uwzględniającej nowoczesne narzędzia (w tym bezzałogowe statki powietrzne) oraz zaawansowane metody teledetekcyjne i geoinformacyjne.

Metodyka ewidencjonowania wód jest finalnym efektem pracy, a jej opracowanie przebiegało w następujących krokach:

- 1) Identyfikacja aktualnego stanu ewidencji oraz baz danych wód powierzchniowych w Polsce i na świecie.
- 2) Określenie problematyki definiowania śródlądowych wód powierzchniowych oraz ich zakresu przestrzennego.
- 3) Analiza implementacji narzędzi teledetekcyjnych i GIS w gospodarce wodnej.
- 4) Schemat bazy danych wód powierzchniowych.
- 5) Pozyskanie i walidacja danych fotogrametrycznych (średni i niski pułap).
- 6) Identyfikacja alternatywnych metod i źródeł danych, w tym walidacja Ewidencji Gruntów i Budynków.
- 7) Prezentacja optymalnej metodyki ewidencjonowania wód.

Praca stanowi syntetyczne ujęcie wyników opublikowanych w serii tematycznie powiązanych ze sobą artykułów naukowych. Cykl publikacji będących podstawą niniejszej pracy przedstawiono z zachowaniem tematycznej chronologii:

1. Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 1. *Przegląd geodezyjny* **2024**, 7, 17 – 20. DOI: 10.15199/50.2024.7.2 (Załącznik 1);
2. Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 2. *Przegląd geodezyjny* **2024**, 8, 18 – 23. DOI: 10.15199/50.2024.08.2 (Załącznik 2);

3. Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 3. *Przegląd geodezyjny* **2024**, 9, 15-18. DOI: 10.15199/50.2024.09.1 (Załącznik 3);
4. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Jarzyński, M.; Pieron, Ł. Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. *Environ Socio-Econ Stud* **2025**, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005> (Załącznik 4);
5. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D. Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. *J Hydrol Reg Stud* **2023**, 49, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486> (Załącznik 5);
6. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Pieron, Ł. Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. *Remote Sens.* **2023**, 15, 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356> (Załącznik 6);
7. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Bieda, A. Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study. *Transactions in GIS* **2025**, 29, e70055. <https://doi.org/10.1111/tgis.70055> (Załącznik 7);
8. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. *Water Resources Management*, **2025**, DOI: 10.1007/s11269-025-04324-1 (Załącznik 8);
9. Janczewska, N.; Matysik, M.; Jarzyński, M.; Absalon, D. Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (artykuł na dzień złożenia rozprawy doktorskiej pozostaje w recenzjach) (Załącznik 9).

Dodatkowo będącą przedmiotem rozprawy metodyka została rozszerzona o zagadnienia zdalnego badania jakości wód oraz określania potencjału retencyjnego w oparciu o przebieg historycznej sieci hydrograficznej. Wyniki badań w tym zakresie, jak i dotyczące zmian przestrzennych parametrów fizykochemicznych i hydrobiologicznych wód opublikowano w następujących artykułach naukowych, stanowiących dorobek uzupełniający:

1. Absalon, D.; Matysik, M.; Woźnica, A.; Janczewska, N. Detection of changes in the hydrobiological parameters of the Oder River during the ecological disaster in July 2022 based on multi-parameter probe tests and remote sensing methods. *Ecological Indicators* **2023**, 148, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110103>

2. Matysik, M.; Absalon, D.; Janczewska, N.; Woźnica, A. Detection of changes in water salinity based on patrol monitoring and remote sensing methods. *Desalination and Water Treatment* **2025**, 321, 100930. ISSN 1944-3986. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100930>
3. Biela, M.; Janczewska, N.; Sierka, E.; Matysik, M.; Woźnica, A. Blue-green infrastructure of metropolitan areas: changes, trends, environmental potential [w:] Trofymchuk, O.; Rivza, B. (red.): 24th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2024, 1 July-7 July, 2024, Albena, Bulgaria *Conference Proceedings. Vol. 24, Ecology, Economics, Education and Legislation. Iss. 5.1, International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM, 2024*, Sofia, STEF92 Technology, ISBN 978-619-7603-72-9.
4. Ruman, M.; Janczewska, N.; Kosek, K.; Artichowicz, W.; Nasiek, M.; Matysik, M. Fluvial ecology disasters: the impact of the Gliwice Canal on the ecological crisis in the Oder River basin, Poland (2022). *Acta Geophys.* **2025**, 73, 775–798 <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01390-8>
5. Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Kalinowska-Wójcik, B.; Grudniewski, J.; Janczewska, N.; Sierka, E.; Absalon, D.; Pieron, Ł.; Lipowczan, M.; Piekarska-Stachowiak, A.; et al. Assessment of the Potential of Small Beads Reservoirs to Mitigate Climate Change Impacts in Urban Areas. *Water* **2025**, 17, 419. <https://doi.org/10.3390/w17030419>
6. Janczewska N.; Absalon D.; Matysik M. Ocena rozbieżności pomiędzy przestrzennymi bazami danych wód powierzchniowych w kontekście gospodarowania wodami w Polsce [w:] Więzik B. (red.) Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk*. **2022**. Zeszyt 45. 85–96.
7. Woźnica, A.; Karczewski, J.; Lipowczan, M.; Tylko, G.; Jarosz, W.; Matysik, M.; Sierka, E.; Janczewska, N.; Bąk, M.; Prokopowicz, A.; Robaszkiewicz, E.; Libera, M.; Pasztaleniec, A.; Kolada, A.; Mazur-Marzec, H.; Absalon, D. The Reaction of *Prymnesium parvum* to a Sudden Salinity Decrease. *Ecohydrology & Hydrobiology* **2025**, 25, 642–653. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2024.10.004>

1.2. Cel i zakres pracy

Głównym celem pracy było opracowanie metodyki ewidencjonowanie informacji hydrograficznej w oparciu o wykorzystanie narzędzi teledetekcyjnych i GIS. Realizacja głównego celu pracy przebiegała w 3 kluczowych etapach, które stanowiły jednocześnie cele szczegółowe

1. Weryfikacja błędów – opracowanie metodyki badania rozbieżności, określenie ich zakresu i wielkości;
2. Koncepcja struktury bazy danych oraz testowanie metod zdalnej detekcji wód – optymalizacja zakresu atrybutowego oraz narzędziowego;
3. Wdrożenie – podsumowanie procesu koncepcyjno-badawczego w postaci opracowań implementacyjnych.

Tym samym w wyniku prowadzonych prac dążono do zbadania stopnia implementacji Geograficznych Systemów Informacyjnych oraz metod teledetekcyjnych w gospodarce wodnej, a szczególnie do wykazania korzyści i w efekcie poprawy stopnia ich implementacji.

Głównym celem wdrożeniowym pracy było testowe wdrożenie opracowanej metodyki w Państwowym Gospodarstwie Wodnym Wody Polskie Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gliwicach, bazujące na dostępnych zasobach sprzętowych i softwarowych.

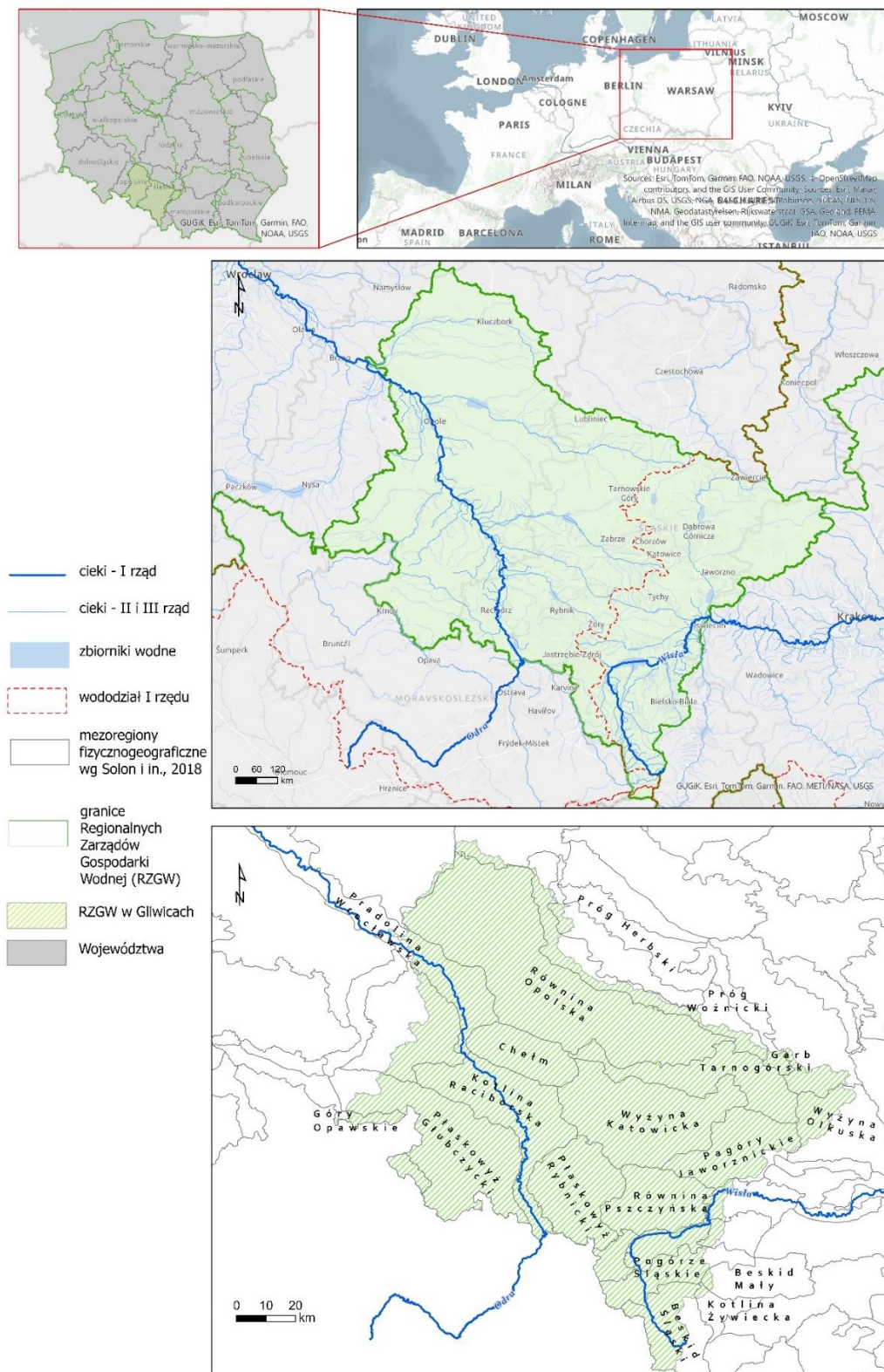
2. Obszar badań

Zasadniczym obszarem badań był teren objęty administracją Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach (dalej: RZGW w Gliwicach). Jest to teren położony na południu Polski, obejmujący centralną i południową część województwa śląskiego, wschodnią część województwa opolskiego oraz niewielką część województwa małopolskiego (w rejonie Kotliny Oświęcimskiej).

Pod względem geologicznym obszar badań jest częścią dewońsko-karbońskiego piętra platformy zachodnioeuropejskiej (Żelaźniewicz i in., 2011). Obejmuje on głównie obszar niecki górnośląskiej, z dominującymi karbońskimi piaskowcami oraz węglem kamiennym, a także dolomitami i innymi skałami węglanowymi wapienia muszlowego (Gabzdyl i Gorol, 2008). W północno-zachodniej części obszar badań obejmuje nieckę opolską (z kredowymi marglami i dolomitami), a od strony zachodniej monoklinę przedsudecką (z permskimi piaskowcami i zlepieńcami), zaś od strony południowo-wschodniej zapadlisko przedkarpackie (gdzie dominującymi są neogeńskie molasy) (Burda, 2014).

Pod względem geomorfologicznym jest to teren obejmujący górskie i przedgórskie tereny Beskidu Śląskiego, obszary wyżynne (głównie Wyżynę Śląską), a także tereny Równiny Opolskiej i Kotliny Raciborskiej (Ryc. 1). Taka rzeźba terenu wraz z występującymi surowcami oraz centralnym położeniem administracyjnym zdeterminowała wysoką urbanizację, uprzemysłowienie oraz szeroko rozwiniętą infrastrukturę wraz z dużą gęstością zaludnienia konurbacji górnośląskiej, a także rolniczy charakter Opolszczyzny. Zagospodarowanie terenu silnie wpływa na eksploatację wód oraz determinuje dużą dynamikę zmian przebiegu sieci hydrograficznej.

Granice Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach obejmują tereny regionów wodnych Małej Wisły oraz Górnej Odry. W administracji Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach znajdują się górne części dorzeczy dwóch największych polskich rzek – Wisły i Odry, a tym samym obszar wododziałowy I rzędu (Ryc. 1).

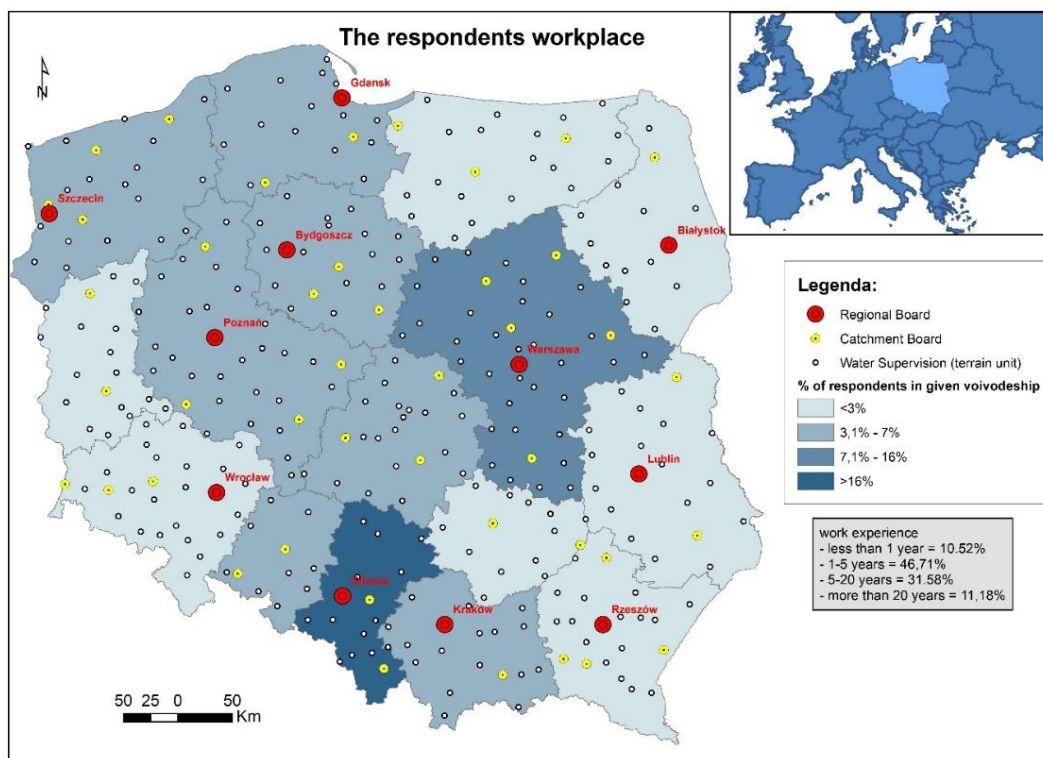


Ryc. 1: Obszar badań – obszar administracyjny Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach.

Sieć hydrograficzna na terenie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach jest mocno zróżnicowana. Występują zarówno liczne ciekі górskie (z wąskimi korytami i wartkim nurtem), obszary źródliskowe, jak i ciekі o charakterze nizinny. Z kolei centralna część obszaru jest uboga pod względem hydrograficznym (obszar wododziałowy), a jednocześnie stosunki wodne zostały znacznie zmodyfikowane w wyniku podziemnej eksploatacji węgla kamiennego i związanej z tym deformacji terenu. Na opisywanym terenie nie występują żadne naturalne jeziora zaś istotne dla gospodarki wodnej są urządzenia wodne w postaci zbiorników wielofunkcyjnych (z naciskiem na funkcję przeciwpowodziową i retencyjną) oraz kanały. Z uwagi na dostosowanie do żeglugi transportowej znaczna część rzeki Odry została skanalizowana tj. ukształtowane zostało koryto oraz powstały liczne stopnie wodne i śluzy regulujące przepływ. Drogę wodną na omawianym obszarze stanowi również Kanał Gliwicki (Ryc. 1).

Powyższy opis eksponuje przyczyny wyboru obszaru RZGW w Gliwicach jako obszaru testowego dla opracowywanej metodyki. Zarówno zróżnicowany charakter pod względem rzeźby terenu (od zlewni górskich po nizinne), jak i częste modyfikacje przebiegu wód powierzchniowych (wywołane podziemną eksploatacją węgla kamiennego i urbanizacją) wpływają z jednej strony na potrzebę opracowania takiej metodyki, która uwzględni potrzebę częstej aktualizacji przebiegu sieci hydrograficznej, a z drugiej strony pozwala na zapewnienie pełnej reprezentatywności terenu.

Część badań, a szczególnie tych dotyczących rozbieżności baz danych wód powierzchniowych oraz ankietyzacja, dla zachowania obiektywnego charakteru, zostały przeprowadzone dla całego obszaru Polski (Ryc. 2).



Ryc. 2: Struktura respondentów badań ankietowych. Źródło: Janczewska i in.: *Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (w trakcie recenzji)*.

3. Metody badań i wykorzystane materiały

Niniejsza praca ma charakter metodyczny. Stąd szczegółowe założenia zastosowanych metod zostaną opisane w kolejnych rozdziałach.

W pierwszym etapie dokonano walidacji aktualnego stanu wiedzy. Najpierw dokonano przeglądu aktów prawnych, a tym samym zidentyfikowano aktualny status prawny wód powierzchniowych w Polsce. Głównymi aktami prawnymi, w oparciu o które oparto analizy, są:

- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne (t.j. Dz. U. z 2025 poz. 960 ze zm.) i rozporządzenia związane;
- Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii w sprawie ewidencji gruntów i budynków (t.j. Dz.U. z 2024 poz. 219);
- Ustawa z dnia z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (t.j. Dz. U. z 2024 poz. 1151 ze zm.);
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane (t.j. Dz.U. z 2025 poz. 418 ze zm.).

Kolejnym etapem był przegląd literatury, szczególnie zagranicznej, a także przegląd portali o charakterze przestrzennym oraz oficjalnych rządowych źródeł internetowych. Ten krok pozwolił na

walidację statusu wód powierzchniowych na świecie oraz weryfikację aktualności, sposobu prezentacji i narzędzi stosowanych do ewidencjonowania wód powierzchniowych.

Szeroko stosowano również narzędzia statystyczne. Poza porównaniem podstawowych wielkości statystycznych (średnia, mediana, odchylenie standardowe, wartości MIN i MAX) analizy oparto o współczynniki korelacji Pearsona, Kendalla oraz Spearmana. Dodatkowo w przypadku badania poprawności danych katastralnych zastosowano również analizę opartą o nieparametryczny test McNemar'a.

- Współczynnik korelacji Pearsona (r) – przy jego pomocy dokonuje się oceny siły i kierunku liniowej zależności między dwiema zmiennymi ilościowymi.
 - Uproszczony wzór: $r = \Sigma[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] / \sqrt{[\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \cdot \Sigma(y_i - \bar{y})^2]}$
gdzie:
 - x_i, y_i — wartości zmiennych w i -tej obserwacji
 - $\bar{x}, \bar{y}$ — średnie arytmetyczne zmiennych x i y
 - Zakres: od -1 do 1.
 - Interpretacja:
 - $r \approx 1$ — silna dodatnia korelacja
 - $r \approx -1$ — silna ujemna korelacja
 - $r \approx 0$ — brak korelacji liniowej
- Współczynnik korelacji rang Spearmana (ρ lub r_s) – przy jego pomocy dokonuje się oceny siły i kierunku monotonicznej zależności między zmiennymi.
 - Uproszczony wzór: $r_s = 1 - [6 \cdot \Sigma d_i^2] / [n(n^2 - 1)]$
gdzie:
 - d_i — różnica między rangą x_i i rangą y_i
 - n — liczba obserwacji
 - Zakres: od -1 do 1
 - Interpretacja: analogicznie do współczynnika korelacji Pearsona, ale dla zależności monotonicznych
- Współczynnik korelacji Kendalla (τ) – służy ocenie zgodności rang między dwiema zmiennymi.
 - Uproszczony wzór: $\tau = (P - Q) / [n(n - 1)/2]$
gdzie
 - P — liczba par zgodnych
 - Q — liczba par niezgodnych
 - n — liczba obserwacji

- Zakres: od -1 do 1
- Interpretacja:
 - $\tau \approx 1$ — pełna zgodność rang
 - $\tau \approx -1$ — pełna niezgodność rang
 - $\tau \approx 0$ — brak zależności
- Test McNemara – służy ocenie istotności różnicy między proporcjami w parach obserwacji (np. przed i po interwencji).
 - Uproszczony wzór: $\chi^2 = (b - c)^2 / (b + c)$
gdzie:
 - b — liczba przypadków zmieniających się z „nie” na „tak”
 - c — liczba przypadków zmieniających się z „tak” na „nie”
 - Interpretacja:

Jeśli wartość testu przekracza wartość krytyczną → różnica jest statystycznie istotna

Podstawą pozyskania materiału źródłowego oraz analiz były metody teledetekcyjne i fotogrametryczne. Wykonano naloty niskopułapowe (wysokość 108 m) przy pomocy bezzałogowego statku powietrznego (ang. Unmanned Aerial Vehicle, dalej: UAV) DJI Mavic 3 Multispectral, wyposażonego w moduł RTK, kamerę RGB z matrycą 4/3" CMOS, 20 MP oraz cztery niezależne kamery, każda o matrycy 1/2,8" CMOS, 5 MP rejestrujące obrazy w pasmach: Green: 560 ± 16 nm, Red: 650 ± 16 nm, Red Edge: 730 ± 16 nm i NIR: 860 ± 26 nm. Pokrycie poprzeczne było równe $q = 30\%$, a podłużne $q = 80\%$. Z kolei w celu porównania danych dla zlewni cieku Imielinka wykonano również średniopułapowy nalot przy pomocy samolotu bezzałogowego SP-OPK Diamond DA62 w dn. 15 czerwca 2024 r. między godziną 4:35 a 7:45. Wielkość piksela terenowego (GSD) wynosiła mniej niż 0,1 metra, przy pokryciu poprzecznym $q = 30\%$ i podłużnym $p = 80\%$. Kierunek lotu to wschód-zachód. Zdjęcia fotogrametryczne wykonano w czterech pasmach widmowych: czerwonym, zielonym, niebieskim i bliskiej podczerwieni (NIR). Wykorzystano kamerę CityMapper-2 wyposażoną w obiektyw D69.146/4.8 146 mm i skaner LiDAR (Light Detection and Ranging). Gęstość chmury punktów wynosiła 7 punktów na metr kwadratowy. Rozmiar piksela (GSD = odległość próbkowania gruntu) wynosił 1,5 m.

W obydwu przypadkach uzyskane zdjęcia zostały sparowane i przetworzone na ortofotomapy przy użyciu oprogramowania Agisoft Metashape. Zastosowano metodę Structure from Motion (SfM), polegającą na przetworzeniu pozyskanych zdjęć na gęstą chmurę punktów, a następnie na cyfrowy

model wysokościowy (o rozdzielczości terenowej 5 cm) i ortofotomozaiki, w celu odtworzenia trójwymiarowego obrazu analizowanego terenu.

Z kolei chmury punktów w formacie LAS zostały pogrupowane w zbiory danych (zbiory danych LAS) i przetworzone na cyfrowy model wysokościowy i cyfrowy model terenu w oprogramowaniu ArcGIS Pro 3.2.

Badania w zakresie rozbieżności w bazach danych wód powierzchniowych przeprowadzono dla następujących warstw przestrzennych:

- *Cieki Naturalne* – warstwa składowa ewidencji melioracji (EM), aktualizowana do 2018 roku;
- *Cieki wyróżnione* – warstwa składowa komputerowej Mapy podziału hydrograficznego Polski (MPHP), opublikowana 7 czerwca 2021 roku;
- *Scalone warstwy o kodzie SWRS_L* – rzeka i strumień zgodnie z ogólnodostępną Bazą Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) aktualizowane w zróżnicowanym okresie (lata 2014-2021) na podstawie podziału administracyjnego, a pobrane w grudniu 2021 r.;
- *Użytki „Wp” i „W”* – wygenerowane z warstw GML udostępnionych przez Starostwa Powiatowe, których źródłem jest Ewidencja Gruntów i Budynków (dalej: EGIB).

Powyższe bazy, stanowią główne źródło wektorowej informacji hydrograficznej w Polsce dlatego zostały szczegółowo opisane w rozdziale 3.1.2., w którym dokonano analizy ich jakości i kompatybilności.

Pozostałe dane stanowiące informację przestrzenną głównie o pokryciu wodami, to:

- Corine Land Cover 2018 (CLC) - uwzględniono elementy oznaczone kodami 511 (cieki wodne) oraz 512 (zbiorniki wodne). Dane pochodzą z programu Copernicus i zostały opracowane metodą wizualnej interpretacji zdjęć satelitarnych, co sprawia, że skala odwzorowania danych to 1:10 000.
- Urban Atlas 2018 (UA) – wykorzystano warstwę oznaczoną kodem 5000 (wody). Urban Atlas to baza danych o pokryciu terenu w obszarach zurbanizowanych, również opracowana w ramach programu Copernicus.

Analizy przestrzenne były prowadzone z wykorzystaniem narzędzi Geograficznych Systemów Informacyjnych, głównie w oprogramowaniu ArcGIS Pro 3.2. oraz przy pomocy ArcGIS 10.1.1 i QGIS 3.6 Noosa wraz z wtyczką MMQGIS, a także pakietu Microsoft Office. Do wykonania interaktywnej mapy wykorzystano platformę ArcGIS Online.

Stosowano głównie autorską metodykę:

- W celu zbadania rozbieżności w kilometrażu przebiegu cieków wykorzystano narzędzia Construct Point, Hub Lines oraz siatki referencyjnej (fishnet);

- W celu zbadania spójności danych liniowych oraz powierzchniowych dotyczących pokrycia wodami zastosowano analizę multikryterialną z polami podstawowymi w postaci heksagonów o średnicy 500 m;
- W celu zobrazowania obszarów problemowych względem rozbieżności z Ewidencją Gruntów i Budynków wykorzystano klastrowe mapy cieplne.

W celu określenia najlepszej struktury atrybutowej posłużono się z kolei badaniem ankietowym przeprowadzonym w 2024 roku wśród pracowników Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie (Ryc. 2).

Pomiar terenowy przebiegu koryta cieką Imielinka przeprowadzono 29 sierpnia 2024 roku przy użyciu odbiornika GPS 198 Carlson BRx7. Łącznie zmierzono 53 punkty w układzie współrzędnych PUWG 1992.

Wszystkie opracowania zostały osadzone w jednolitym układzie współrzędnych płaskich tj. Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych PUWG 1992 (EPSG: 2180).

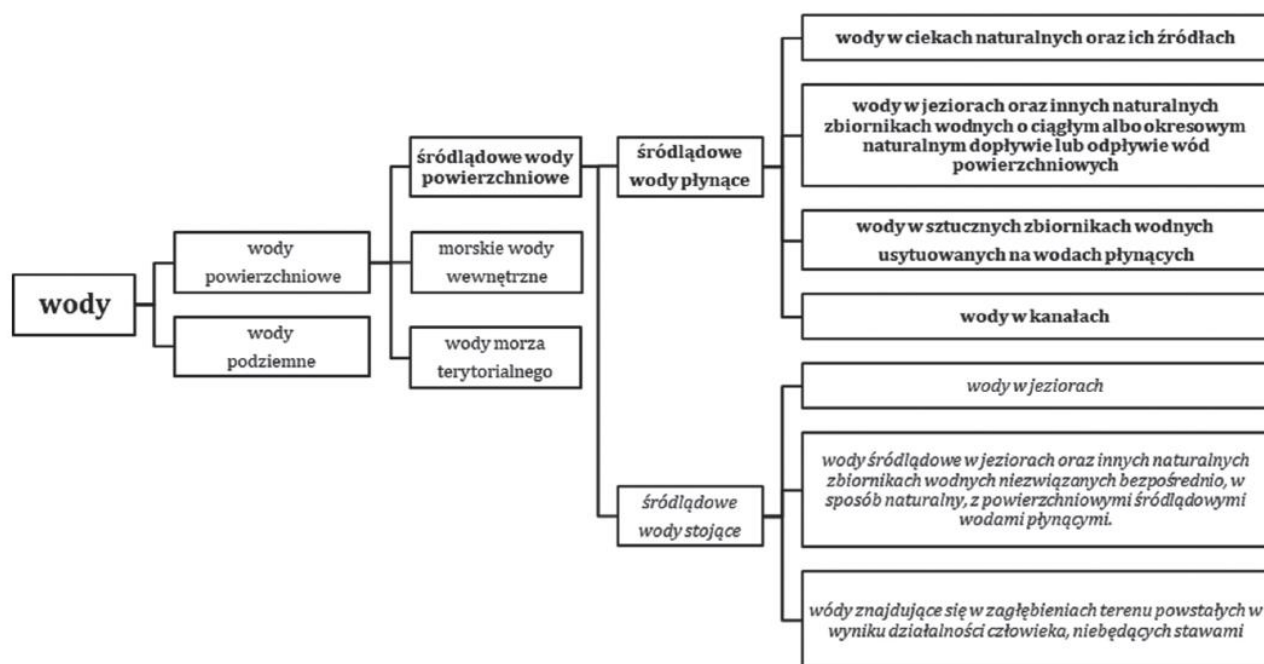
3. Wyniki

3.1. Wody powierzchniowe w ewidencjach – przegląd

3.1.1. Klasyfikacja wód

Podstawowym zagadnieniem każdej przestrzennej ewidencji jest zakres i zasięg zjawiska, które dana ewidencja ma przedstawiać. Przedmiotem pracy jest ewidencja śródlądowych wód powierzchniowych na terenie obszaru badań (tj. obszar Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej obejmujący zlewnie Małej Wisły i Górnej Odry). Z tego powodu w pierwszej kolejności w oparciu o przepisy polskiego prawa należało zdefiniować pojęcie śródlądowych wód płynących oraz sposobu określania ich zasięgu.

Według ustawy z dn. 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (t.j. Dz.U. z 2025 poz. 960 ze zm.) śródlądowe wody powierzchniowe dzielą się na wody płynące (zarówno w ciekach naturalnych jak i jeziorach, kanałach czy sztucznych zbiornikach usytuowanych na wodach płynących) oraz wody stojące. Schemat prezentujący podział wód w polskim prawie przedstawia Rycina 3. Według ustawodawstwa tylko wody płynące stanowią z mocy prawa własność Skarbu Państwa w administracji Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie, a wody stojące stanowią własność właściciela nieruchomości, na której występują.



Ryc. 3: Podział wód według ustawy Prawo wodne. Źródło: Biela i in., 2024a.

W przypadku wątpliwości charakter wód ustala w drodze decyzji minister właściwy do spraw gospodarki wodnej w oparciu o wytyczne art. 219 Prawa wodnego. W tym przypadku niezbędne jest określenie elementów hydromorfologicznych takich jak: reżim hydrologiczny, warunki morfologiczne oraz kwestię ciągłości wód, a także dokonanie analizy historycznej przynależności tych wód do wód publicznych/śródlądowych wód powierzchniowych oraz zbadanie stanu prawnego gruntów pod wodami i gruntów z nimi sąsiadujących (w oparciu o ewidencję gruntów i budynków).

Istotną kwestię w aspekcie przestrzennego ewidencjonowania zasięgu wód powierzchniowych stanowi ich granica. Jej zatwierdzenie poprzez decyzję również pozostaje w gestii ministra właściwego ds. gospodarki wodnej, a podstawę prawną stanowi art. 220 ustawy Prawo wodne. Wskazuje on, że linię brzegu stanowi wyraźna krawędź brzegu, krawędź budowli regulacyjnej, linia określona na podstawie stałego porostu traw lub średniego stanu wód z okresu ostatnich 10 lat, a w przypadku występowania plantacji wikliny jej granica od strony lądu.

Szczegółowa interpretacja przepisów prawnych, zarówno w zakresie określania charakteru wód jak i ich przestrzennego zasięgu, została przedstawiona w cyklu trzech publikacji pt. *Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą* (Biela i in., 2024a, Biela i in., 2024b, Biela i in., 2024c), zaś najważniejsze wnioski przedstawiają się następująco:

- do śródlądowych wód płynących zalicza się: wody w ciekach naturalnych, wody w jeziorach o naturalnym ciągłym dopływie, wody w zbiornikach wodnych zlokalizowanych na śródlądowych wodach płynących, wody w kanałach;
- wyłącznie ww. wody powinny stanowić przedmiot ewidencji śródlądowych wód płynących;
- w przypadku gdy w wyniku następstwa prawnego brak jest możliwości określenia czy charakter wód jest naturalny czy jest to woda w urządzeniu wodnym należy dokonać analizy hydrologicznej, morfologicznej oraz historycznej przynależności tych wód do wód publicznych – dane te są kluczowe dla ministra właściwego ds. gospodarki wodnej do wydania decyzji w przedmiocie ustalenia charakteru wód, dlatego należy rozważyć zasadność ich gromadzenia w ewidencji śródlądowych wód płynących;
- ww. wody stanowią własność Skarbu Państwa i aktualnie podlegają administracji Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie;
- przepisy prawa dotyczące wyznaczania linii brzegu nie zawierają klarownych wytycznych dla geodetów w zakresie określania zasięgu koryta;
- w praktyce granica koryta cieków nie pokrywa się z granicą działki ewidencyjnej.

3.1.2. Bazy danych wód powierzchniowych w Polsce

Krokiem niezbędnym dla dalszych analiz było zdefiniowanie aktualnego stanu baz danych wód powierzchniowych w Polsce. Pierwotnie sieć hydrograficzna przedstawiana była na mapach hydrograficznych w skali 1:50 000 i 1:10 000, które zostały następnie zdigitalizowane i przekształcone w komputerową Mapę Podziału Hydrograficznego Polski (dalej: MPHP) przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, a następnie warstwy przestrzenne zostały przekazane Krajowemu Zarządowi Gospodarki Wodnej. Równocześnie w ramach działalności Wojewódzkich Urzędów Melioracji i Urzędów Wodnych w prowadzonych ewidencjach melioracji znajdowała się warstwa przestrzenna z pozostającymi w ich administracji ciekami naturalnymi. W ten sposób Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie stało się właścicielem dwóch zasobów prezentujących przestrzenną informację hydrograficzną. Jednocześnie w oparciu o wytyczne Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. (Dz.U. 2011 nr 279 poz. 1642 – uchylone) oraz Rozporządzenia Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych (Dz.U. 2021 poz. 1412), Główny Urząd Geodezji i Kartografii w Bazie Obiektów Topograficznych (dalej: BDOT) tworzy i aktualizuje warstwę wektorową o kodzie SWRS-L zawierającą cieków naturalne. W prowadzonych badaniach wykazano, że warstwy cieków

z MPHP, jak i BDOT posiadają tę samą liczbę węzłów o jednorodnych współrzędnych, a więc całkowicie się pokrywają.

MPHP udostępniania jest na hydroportalu Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie (<https://isok.gov.pl/hydroportal.html>) i aktualizowana w ramach Systemu Informacyjnego Gospodarowania Wodami. Zgodnie z treścią Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 10 września 2020 r. w sprawie zakresu informacji z systemu informacyjnego gospodarowania wodami podlegających udostępnianiu na warunkach określonych w art. 333 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne, sposobu ich udostępniania i ponownego wykorzystania oraz wysokości opłat za ich przygotowanie i udostępnianie (Dz.U. 2020 poz. 1657) MPHP stanowi element Systemu Informacyjnego Gospodarowania Wodami - bazę, z której udostępniane są warstwy wektorowe w zakresie sieci hydrograficznej.

Kolejnym rejestrem zawierającym informację o sieci hydrograficznej (choć nie jest to jej główne przeznaczenie) jest Ewidencja Gruntów i Budynków. Jest to rejestr prowadzony w Polsce od lat 60. XX wieku na podstawie dekretu z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków. Obecnie za prowadzenie EGiB odpowiedzialna jest administracja powiatowa, a jej podstawę prawną stanowi ustawa z dnia 17 maja 1989 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. 2024 poz. 1151 ze zm.). W ewidencji gruntów i budynków wyróżnia się kontury klasyfikacyjne gruntów zależne od faktycznego sposobu ich użytkowania. Tym samym dla obszarów pokrytych wodami wyznaczono następujące typy użytków gruntowych:

- wody płynące (Wp),
- wody stojące (Ws),
- grunty pod rowami (W),
- grunty pod stawami (Wsr).

Wymienione bazy danych oraz ewidencje powinny być ze sobą spójne. Jednakże w dalszej części pracy zostaną wykazane rozbieżności przestrzenne oraz atrybutowe występujące pomiędzy tymi bazami.

3.1.3. Prezentacja danych hydrograficznych na świecie (implementacja rozwiązań GIS)

W celu rozszerzenia wiedzy oraz w poszukiwaniu wzorców dokonano również przeglądu zagranicznej literatury oraz ogólnosiwiatowych portali mapowych. Stwierdzono, że dane przestrzenne spójne i reprezentatywne dla całego świata dostępne są wyłącznie w małoskalowej formie rastrowej (Tabela 1). Z kolei ich geneza związana jest z automatyczną klasyfikacją globalnych zobrazowań satelitarnych.

Tabela 1: Globalne dane hydrograficzne. Na podstawie: Janczewska i in., 2025b.

Typ	Nazwa	Hiperłącze	Rozdzielczość źródłowych danych rastrowych	Literatura
Dane rastrowe	Hydrosheds	https://www.hydrosheds.org/products/hydrosheds	90 m (SRTM)	Lehner et al., 2008
	The Hydrography 90m	https://fred.igb-berlin.de/data/allpackages/	90 m	Amatulli et al., 2022
	Hydro1K	https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-hydro1k	30 m (GTOPO 30m)	USGS Eros Archive, 2018
	MERIT Hydro	https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_Hydro/	90 m	Yamazaki et al., 2019
Dane wektorowe	EU-Hydro River Network Database 2006-2012	https://land.copernicus.eu/en/products/eu-hydro/eu-hydro-river-network-database	-	Copernicus, 2019
	Hydrographic Surveys (International Hydrographic Organization (IHO))	https://iho.int/en/iho-online-catalogues	-	Golub et al., 2023; Hecht, 2023

Prowadząc dalej proces walidacji kwestii ewidencjonowania wód na świecie dokonano przeglądu baz danych hydrograficznych wybranych krajów (Tabela 2).

Tabela 2: Ewidencje i bazy danych wód powierzchniowych w podziale na wybrane kraje. Na podstawie: Janczewska i in., 2025b.

Państwo	Nazwa instytucji (właściciela danych)	Nazwa portalu lub bazy danych	Data założenia lub ostatniej aktualizacji	Link do portalu z danymi	Źródła
Indie	India National Water Informatics Centre	India Water Resources Information System	2018	https://indiawris.gov.in/wris/#/	Kumar, 2018
USA	United States Geological Survey	National Water Information System (NWIS) and The National Hydrography Dataset (NHD) and D	2014 (NWIS) i 2023 (3DHP – ostatnia aktualizacja)	https://waterdata.usgs.gov/nwis https://www.usgs.gov/national-hydrography/	U.S. Geological Survey, 2014,

		Hydrography Program (3DHP)			
Polska	Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie	MPHP 10k	2023 (ostatnia aktualizacja)	https://isok.gov.pl/hydroportal.html	Barczyńska, 2013
Niemcy (region Bawaria)	In this case: Bayerisches Landesamt für Umwelt	Gewässerkundlicher Dienst	bd	https://www.gkd.bayern.de/en/	Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2018
Brazylia	National Water and Sanitation Agency	National Water Agency Open Data Portal	2019	https://storymaps.arcgis.com/stories/d4991710873845d688cea101c6149856	Borges et al., 2022
Kanada	Water Survey of Canada	The National Hydro Network (NHN)	bd	https://open.canada.ca/data/en/dataset/a4b190fe-e090-4e6d-881e-b87956c07977	Government of Canada, 2023
Szwecja	Lantmäteriet	Hydrography View Service, INSPIRE and Hydrography Download Service, INSPIRE	2023 (ostatnia aktualizacja)	https://www.lantmateriet.se/en/geodata/geodata-products/product-list/hydrography-download-service/	Lantmäteriet, 2023
Hiszpania (River Basin District of Catalonia)	Agencia catalana de l'aigua (ACA)	Gencat	bd	https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html	Albiac i in. 2012
Wielka Brytania	UK Hydrographic Office and Ordnance Survey	Ordnance Survey and the UK water resources portal	2023	https://www.data.gov.uk/dataset/dc29160b-b163-4c6e-8817-f313229bcc23/os-open-rivers https://nrfa.ceh.ac.uk/content/uk-water-resources-portal	Ordnance Survey Ltd 2023
Włochy (Zlewnia Wschodnich Alp)	Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali	SIGMA	bd	https://sigma.distrettoalpiorientali.it/portal/index.php/cartografie/	Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali, 2023
Japonia	Geological Survey of Japan	Water Environment Map Hydrogeological Maps of Japan	bd	https://www.gsj.jp/Map/EN/environment.html	Japan International Cooperation Agency, 2022

Australia	Australian Government - Bureau of Meteorology and Geoscience Australia	Australian Hydrological Geospatial Fabric (Geofabric)	2023	http://www.bom.gov.au/water/geofabric/	Australian Government - Bureau of Meteorology, 2023
Republika Południowej Afryki	Department of Water and Sanitation of Republic of Southern Africa	National Integrated Water Information System (NIWIS)	XXI wiek	https://www.dws.gov.za/niwis2	Sambo et al., 2015
Irlandia	Environmental Protection Agency	River Network Routes	2012 (powstanie) 2017 (aktualizacja)	https://data.gov.ie/dataset/river-network-routes	-

Format i sposób udostępniania danych hydrograficznych znacząco różni się w każdym z analizowanych krajów. Niejednokrotnie struktura danych jak i sposób (zakres) ich udostępniania jest pochodną struktury organów odpowiadających za zarządzanie wodami w danym państwie. Jakość (szczegółowość i aktualność) udostępnianych danych jest dodatkowo zależna od priorytetyzacji danych przez władze rządowe bądź samorządowe, co przekłada się na prawodawstwo. Jeżeli przepisy obowiązujące w danym państwie/stanie nie wymagają częstej aktualizacji oraz publicznego udostępniania również dane hydrograficzne nie są aktualizowane i udostępniane.

W przypadku państw demokratycznych (np. Polska, Francja) dane dotyczące hydrografii są najczęściej jednolite w skali ogólnokrajowej. Z kolei w państwach federalnych (np. USA, Niemcy) każdy autonomiczny region prowadzi własny geoportal (Mitani i in., 2020). Jak podają R. Chatterjee i S.K. Sinha (2014) w Indiach jeszcze w 2014 r. dane hydrograficzne były rozproszone i niecyfrowane, co zmieniło się w 2018 roku, od którego gromadzone są w krajowym portalu *India Water Resources Information System*.

Brazylijska *Agência Nacional de Águas* udostępnia dane o sieci hydrograficznej za pomocą oprogramowania ArcGIS Online (serwer ESRI). Z kolei kanadyjskie agencje rządowe są szczegółowo podzielone kompetencyjnie, co przekłada się na zakres tworzonych danych (są to różne instytucje odpowiedzialne za wody śródlądowe, wody morskie itp.). Udostępnianie tych danych odbywa się za pomocą serwerów FTP. W Hiszpanii struktura administracyjna zarządzania wodami jest znacznie bardziej skomplikowana – gospodarką wodną zajmują się trzy ministerstwa, a każdy region niezależnie posiada swój *Basin Authorities*, który odpowiada za gromadzenie, udostępnianie danych o sieci hydrograficznej oraz w całości gospodarkę wodną w danych zlewniach (Albiac i in., 2012). Podobnie we Włoszech dane systemu gospodarki wodnej są gromadzone w ramach jednego regionu wodnego

(zespołu zlewni). W Wielkiej Brytanii dane gromadzone są dla całego kraju przez rządowy instytut kartograficzny (*Ordnance survey*) udostępniający dane wektorowe, zaś gospodarką wodną zajmuje się *UK Hydrographic Office*, a dane hydrologiczne gromadzi organizacja non profit *National River Flow Archive* i udostępnia je na *UK Water Resources Portal*. Australijski rząd we współpracy z ESRI rozwija infrastrukturę GIS tworząc portal pn. *geofabric*, gdzie za dostarczanie danych odpowiedzialny jest *Bureau of Meteorology*, a za ich gromadzenie i publikację instytut GIS. Z kolei w Irlandii dane hydrograficzne udostępniane są w postaci wektorowej, ale ich ostatnia aktualizacja miała miejsce w 2017 r.

Chociaż już w ubiegłym wieku Hussain i Caselton (1980) próbowali znaleźć uniwersalny model do precyzyjnej lokalizacji sieci hydrograficznej na mapie, to z dokonanego przeglądu wynika, że zarówno wewnątrz danego kraju, a tym bardziej w skali międzynarodowej dane hydrograficzne są niespójne zarówno pod względem formatu, jak i zakresu, tj. są gromadzone w całkowicie niekompatybilnych bazach danych.

To właśnie jednolite dane o sieci hydrograficznej wraz ze spójnymi systemami zarządczymi (w zakresie wprowadzania i aktualizacji danych) są kluczowymi czynnikami efektywnej gospodarki wodnej. Odnosząc się do badań United States Agency for International Development (2020) interoperacyjność baz danych wód powierzchniowych jest kluczowa dla bezpieczeństwa kraju, szczególnie w zakresie zapobiegania powodziom (w tym coraz częściej występującym powodziom miejskim) jak i skutkom suszy, czy zanieczyszczaniu źródeł wody pitnej.

Wzorując się na przykładzie prac wykonanych przez G. Barović'a i in. (2016), należy stwierdzić, że tworzenie kompletnej bazy danych wód powierzchniowych powinno przebiegać w następujących etapach:

1. Wstępna klasyfikacja terenu w oparciu o istniejące dane;
2. Pozyskanie danych (np. metodami teledetekcyjnymi);
3. Przetworzenie z wykorzystaniem wyłącznie narzędzi GIS uzyskanych materiałów na warstwy wektorowe prezentujące sieć hydrograficzną;
4. Stworzenie struktury bazy danych (wymaganych atrybutów);
5. Wdrożenie - systematyczne pozyskiwanie i uzupełnianie danych.

Etapy te zostały uwzględnione w trakcie procesu optymalizacji opracowywanej metodyki ewidencjonowania wód. Szczegółowe wyniki przeglądu zostały opublikowane w artykule pt. *Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview* (Janczewska i in., 2025b).

3.2. Rozbieżności w bazach danych wód powierzchniowych

3.2.1. Płaszczyzny rozbieżności i metoda siatki referencyjnej

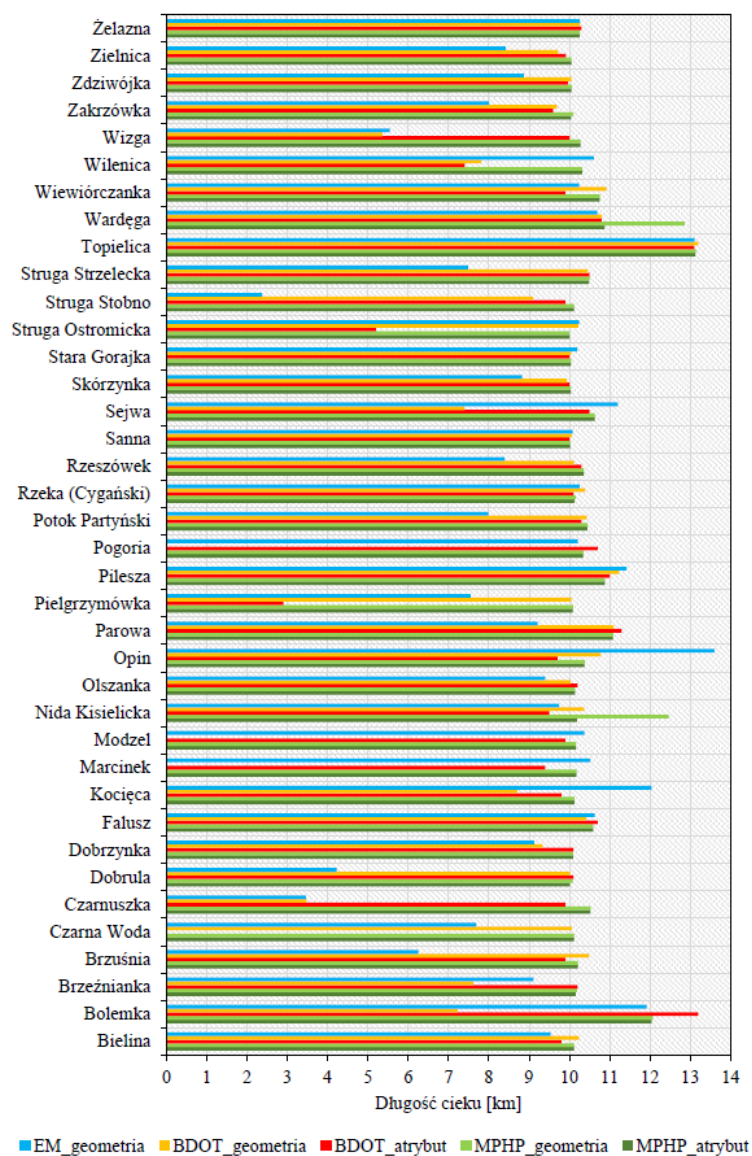
Tworząc nowy produkt, jakim w przypadku niniejszej pracy jest metodyka ewidencji wód, należy dokonać weryfikacji i walidacji aktualnie funkcjonujących materiałów pod kątem możliwości ich wykorzystania w prowadzonych pracach. Pierwszym z kluczowych etapów była więc weryfikacja spójności wymienionych w poprzednim rozdziale baz danych tj. Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP 10k), Ewidencji Melioracji (EM), Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT 10k) i Ewidencji Gruntów i Budynków (EGiB). Dla zachowania obiektywnych wyników występujące rozbieżności (zarówno nieprzestrzenne jak i przestrzenne) badano w oparciu o studium przypadku, jak i dla wybranych obiektów na terenie całej Polski. Z uwagi na brak dedykowanej dla tego celu metodyki należało ją opracować, do czego wykorzystano narzędzia GIS. Badania dotyczyły następujących płaszczyzn rozbieżności:

1) Nazewnictwo cieków

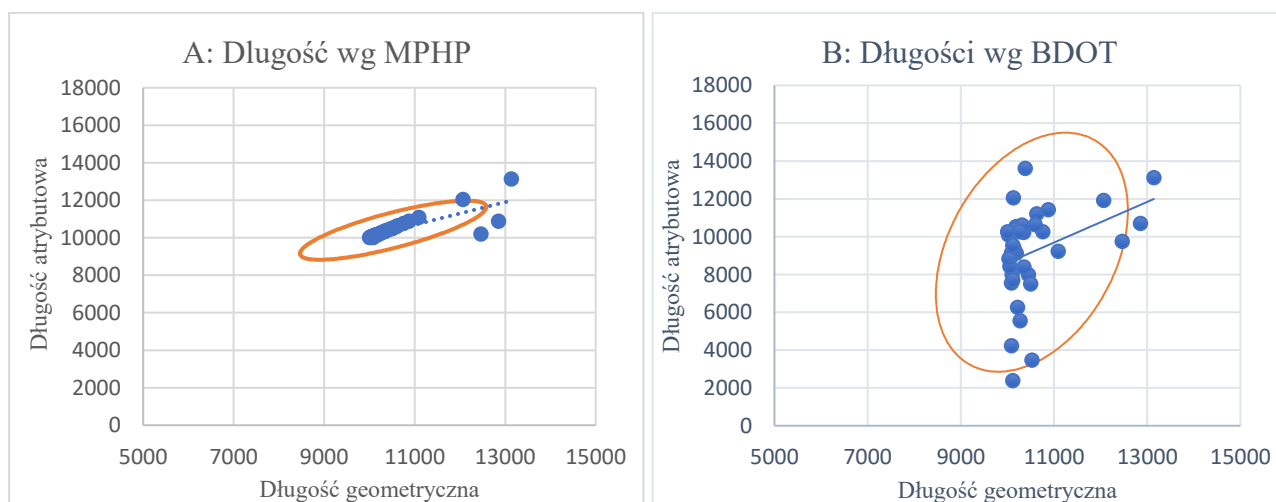
Porównując nazwy cieków o tej samej lokalizacji (z próby losowej na obszarze całej Polski) wykryto, że różna nazwa tego samego cieku w trzech bazach danych (MPHP, BDOT, EM) występuje w 47% przypadków (tj. 18 z 38 analizowanych cieków).

2) Długość cieku (polilinii)

Aż 97% badanych obiektów przestrzennych różniło się długością pomimo iż reprezentują ten sam ciek. Różnica ta dotyczyła również opisu atrybutowego (Ryc. 4). Analiza statystyczna korelacji we wszystkich badanych obiektach pomiędzy atrybutem długości a długością polilinii wykazała z kolei, że wielkości te cechuje wysoka rozbieżność w przypadku bazy BDOT (współczynnik korelacji = 0,017). W przypadku MPHP korelacja pomiędzy długością geometryczną a atrybutową wyniosła 0,791 (Ryc. 5).



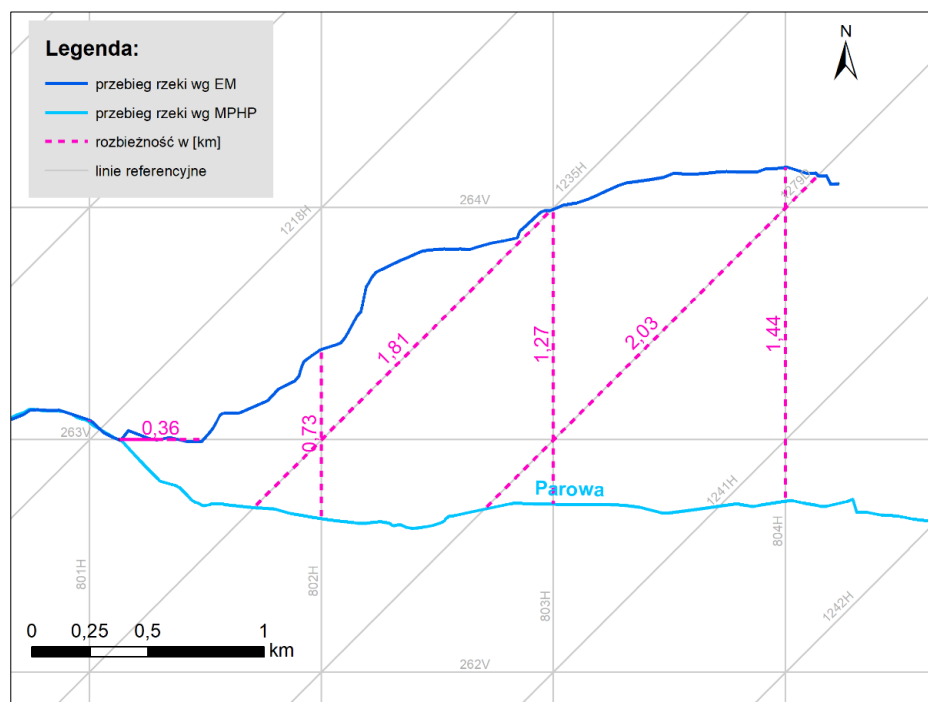
Ryc. 4: Długość tego samego cieku wg ewidencji BDOT, MPHP, EM oraz informacji zawartych w atrybutach. Źródło: Janczewska i in., 2022.



Ryc. 5: Korelacja pomiędzy długościami atrybutowymi a geometrycznymi w bazie MPHP (A) i BDOT (B). Na podstawie: Janczewska i in., 2023a.

3) Przebieg tego samego cieku

W celu oceny wielkości rozbieżności pomiędzy tym samym ciekim wrysowanym w różnych przestrzennych bazach danych stworzono warstwę linii referencyjnych z wykorzystaniem narzędzia siatki (*Fishnet*). Przy pomocy narzędzia *Intersect* wygenerowano warstwy punktowe wskazujące punkty przecięcia badanych warstw liniowych z siatką linii referencyjnych. Następnie zostały zmierzone odległości w linii prostej pomiędzy punktami przecięcia w przypadku poszczególnych ewidencji zgodnie z przebiegiem linii referencyjnych (Ryc. 6)



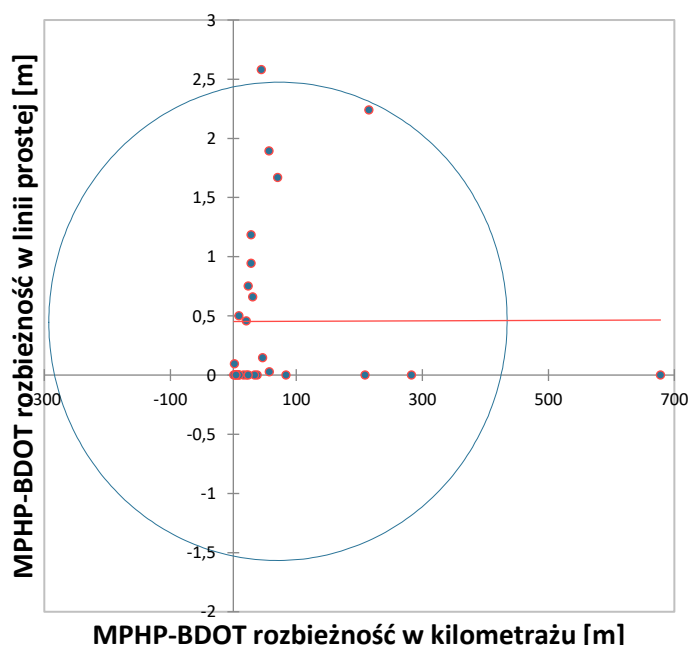
Ryc. 6: Pomiar rozbieżnych odległości pomiędzy punktami przecięcia z liniami referencyjnymi. Na podstawie: Janczewska i in., 2023a.

W efekcie stwierdzono, że największa średnia rozbieżność w przebiegu tego samego ciekę występuje pomiędzy MPHP a EM, a z kolei geometria tego samego ciekę wg MHPM i BDOT w 9 przypadkach (24%) była całkowicie zbieżna tj. pokrywała się liczba i współrzędne węzłów. Rozbieżność pomiędzy przebiegiem ciekę wrysowanego w ewidencji melioracji (EM) w porównaniu do MPHP czy BDOT w przypadku cieków: Nida Kisielicka, Dobruła, Brzeźnianka, Parowa, Zakrzówka, Dobrzyńka, Bielina wynosiły więcej niż 100 m, a w przypadku ciekę Opin rozbieżność ta wyniosła ponad 2 km. Spójność MPHP i BDOT oraz brak spójności tych dwóch baz z ewidencją melioracji potwierdzają wysokie wyniki korelacji (0,997 - współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy średnimi rozbieżnościami EM i MPHP oraz MPHP i BDOT; 0,180 - współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy średnimi rozbieżnościami MPHP i BDOT oraz EM i MPHP). Według W. Majewskiego (2011) oraz M. Barczyńskiej i in. (2013) ewidencja melioracji była tworzona poprzez ręczną digitalizację w oparciu o wiedzę empiryczną oraz dostępne analogowo materiały kartograficzne, z kolei MPHP 10k czy BDOT

10k były tworzone w oparciu o zdigitalizowane mapy hydrograficzne lub o ortofotomapę a niejednokrotnie wzajemnie na swojej podstawie.

4) Kilometraż

Rozbieżność w kilometrażu cieków jest pochodną rozbieżności w przebiegu geometrycznym cieków wg różnych warstw przestrzennych, co bezpośrednio wiąże się z rozbieżnością w długości takich obiektów. Dowodem jest wysoka korelacja między wielkością rozbieżności przebiegu cieków z rozbieżnością w kilometrażu (Ryc. 7).



Ryc. 7: Korelacja pomiędzy rozbieżnościami w przebiegu cieków a kilometrażem. Porównanie baz MPHP oraz BDOT. Na podstawie: Janczewska i in., 2023a.

Badanie rozbieżności w kilometrażu opierało się na wyznaczeniu odległości pomiędzy tymi samymi punktami w interwale 100 m. Podkreślić należy, że poprawne określenie kilometrażu jest istotne z uwagi na to, że jest on wskazywany m.in. w decyzjach administracyjnych, określa punkty charakterystyczne szlaku żeglownego lub pozwala na identyfikację miejsca na cieku, w którym np. wystąpiła sytuacja kryzysowa. Każda z badanych ewidencji wskazuje różne lokalizacje tego samego kilometra rzeki, przy czym w 10 badanych obiektach różnica odległości pomiędzy tym samym kilometrem rzeki wyniosła 100 m, a często dwa punkty leżące w niewielkiej odległości wskazywały różny kilometraż (Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, 2020).

W oparciu o bazę Corine Land Cover odnotowano również korelację pokrycia terenu z wielkością rozbieżności pomiędzy przebiegiem i kilometrażem tych samych cieków:

- największe rozbieżności wystąpiły na terenach gęsto porośniętych roślinnością (prawdopodobną przyczyną są zasłonięcia i zacienienia przez korony drzew i krzewy),

- znacznie mniejsze rozbieżności występowały w obszarach zabudowanych,
- niemożliwe było określenie cieków w miejscach, w których został on zarzuwany lub przebiegał przez zbiornik wodny.

Geometria danego cieków powinna zostać zatem zweryfikowana w terenie (Drwal i in., 2005; Piórkowski i in., 2013). Przedstawione w rozdziale 3.2.1. wyniki stanowią podsumowanie badań opisanych w artykule pt. *Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland* (Janczewska i in., 2023a). W cytowanej pracy wykonano szczegółowe badania statystyczne, zaś podstawowe wnioski dla polskiej gospodarki wodnej z uwagi na ich krajowy charakter i znaczenie dla lokalnej gospodarki przedstawiono w trakcie ogólnopolskiego Kongresu Hydrologicznego oraz opublikowano w Monografii Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk (Janczewska i in., 2022).

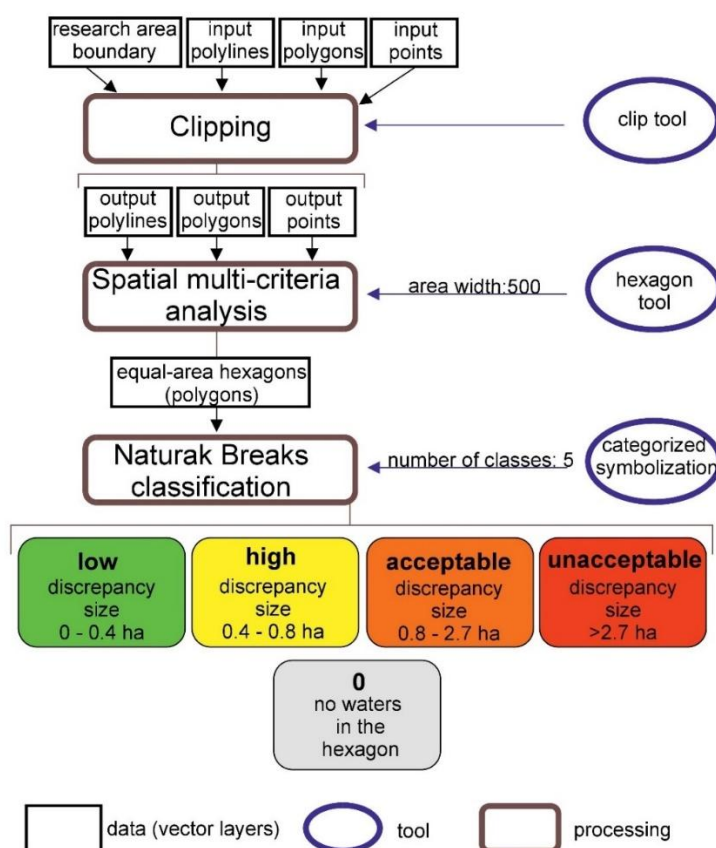
Polskie prawo nie wskazuje jednoznacznie, która z baz danych powinna być referencyjna w zakresie gospodarki wodnej. Każdą z baz cechują liczne błędy oraz rozbieżności względem siebie.

3.2.2. Analiza multikryterialna i preferencyjne dane

Wykorzystując metodę analizy multikryterialnej, która została opracowana przez Ł. Pierona i in. (2024) przeanalizowano dane powierzchniowe o pokryciu terenu wodami oraz dane liniowe w zakresie przebiegu cieków. Metoda ta polegała na wyznaczeniu 313 pól podstawowych o geometrii heksagonu i powierzchni 648180 m² oraz średnicy równej 500 m, a następnie na zbadaniu różnicy pomiędzy procentowym zajęciem danego pola podstawowego przez obiekt hydrograficzny z każdej z następujących baz:

- Corine Land Cover 2018 (CLC) – element pokrycia określone kodami 511 (cieki) i 512 (zbiorniki wodne),
- Urban Atlas 2018 (UA) – elementy pokrycia oznaczone kodem 5000 (wody),
- Baza Danych Obiektów Topograficznych 10k (BDOT) – warstwa liniowa oznaczona kodem SWRS_L (rzeka i strumień) oraz warstwa poligonowa z obiektami oznaczonymi kodem PTWP (woda powierzchniowa)
- Mapa Podziału Hydrograficznego Polski – warstwa liniowa cieków wyróżnionych oraz scalone warstwy poligonowe: jeziora_wyróżnione i jeziora_niewyróżnione
- Ewidencja Gruntów i Budynków – warstwa poligonowa wskazująca zasięg użytków gruntowych: „Wp” – grunty pod wodami powierzchniowymi płynącymi i „Ws” - grunty pod wodami powierzchniowymi stojącymi.

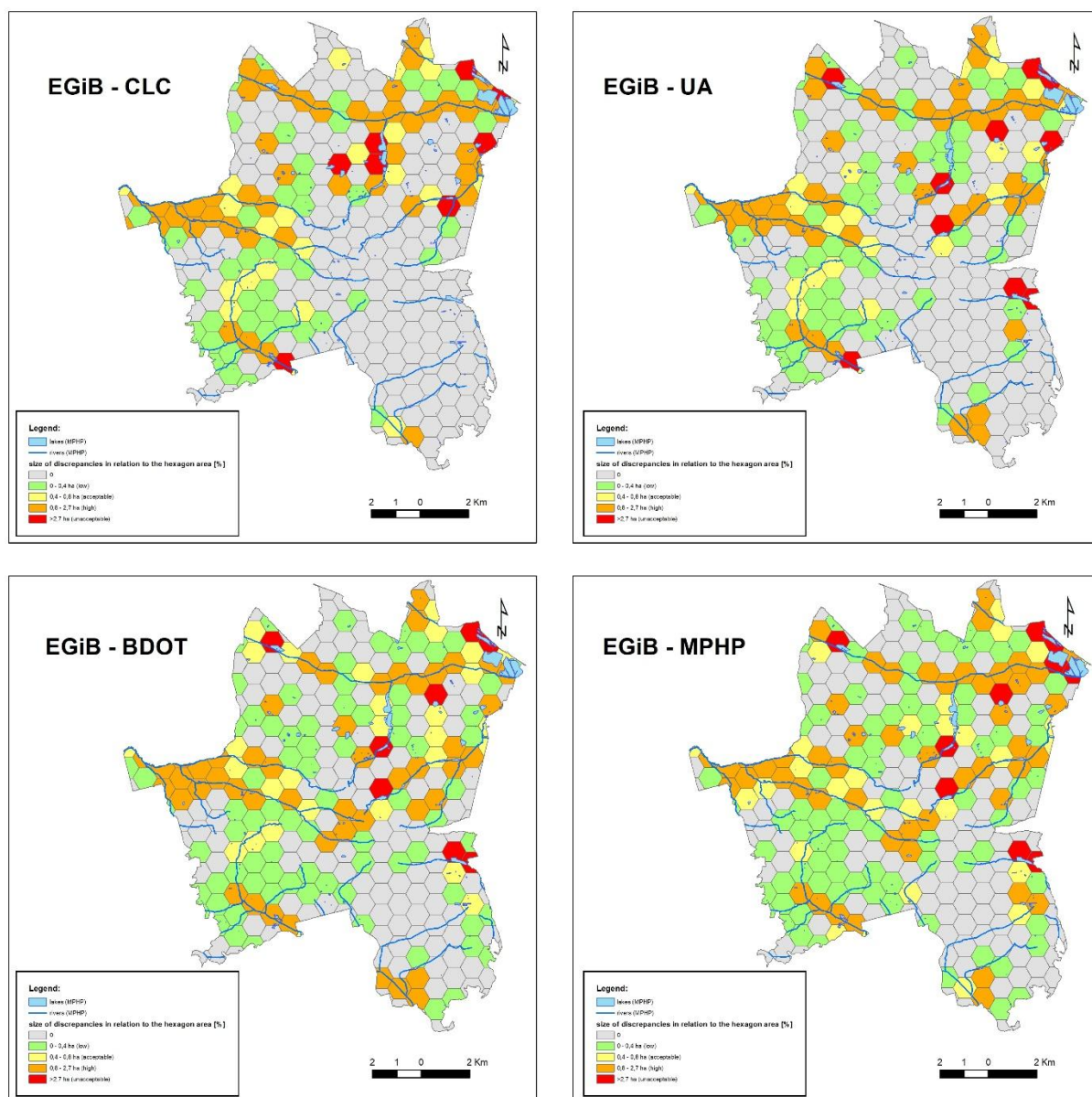
Ostatecznym wynikiem analizy jest mapa, którą sklasyfikowano w sposób bazujący na metodzie naturalnych przerw (Natural Breaks (Jenks)). Metoda ta charakteryzuje się wyodrębnieniem grup o maksymalnej wewnętrznej spójności różniące się od pozostałych, w przeprowadzonych badaniach wskazuje ona na największe rozbieżności w pokryciu terenu zajmowanego przez wody powierzchniowe. W celu zachowania jednolitości w każdym porównaniu zastosowano 5 klas o jednolitych wartościach rozbieżności. Założenia analizy multikryterialnej oraz kolejne kroki prezentuje Rycina 8. Metoda ta pozwoliła na obiektywne porównanie danych powierzchniowych i liniowych w skali lokalnej (obszar miasta Katowice).



Ryc. 8: Schemat obrazujący kolejne kroki w analizie multikryterialnej rozbieżności w warstwach liniowych i poligonowych reprezentujących wody powierzchniowe. Źródło: Janczewska i in., 2023b.

Najbardziej precyzyjna i aktualna spośród badanych baz, Ewidencja Gruntów i Budynków osiąga wartości nieakceptowalne (rozbieżności > 2,7 ha) w północno-wschodniej części Katowic (rejon występowania największych powierzchniowo zbiorników antropogenicznych). Wartości krytyczne rozbieżności pomiędzy wszystkimi bazami danych widoczne są w okolicach stawów zlokalizowanych na Potoku Leśnym. W przypadku porównania EGİB z UA i MPHP w 10 polach podstawowych odnotowano wartości krytyczne, a w przypadku porównania EGİB z BDOT i CLC tylko w 8 heksagonach. Wysokie wartości rozbieżności pomiędzy EGİB jak i analogicznie CLC i UA występowały wzdłuż całego przebiegu Rawy i Kłodnicy, czyli cieków cechujących się znacznym

przekształceniem antropogenicznym (uregulowane, betonowe brzegi, zarurowania) oraz w większości pól obejmujących koryto Kłodnicy (poza obszarem źródłiskowym). Najbardziej zbieżnymi danymi w porównaniu do BDOT cechuje się MPHP (brak wartości krytycznych, a wysokie rozbieżności wystąpiły w 5% przypadków). Bazy te były relatywnie zbieżne z pokryciem terenu wg Urban Atlas. Wysokie rozbieżności wykryto porównując EGiB z pozostałymi bazami danych (MPHP, BODT) (Ryc. 9).

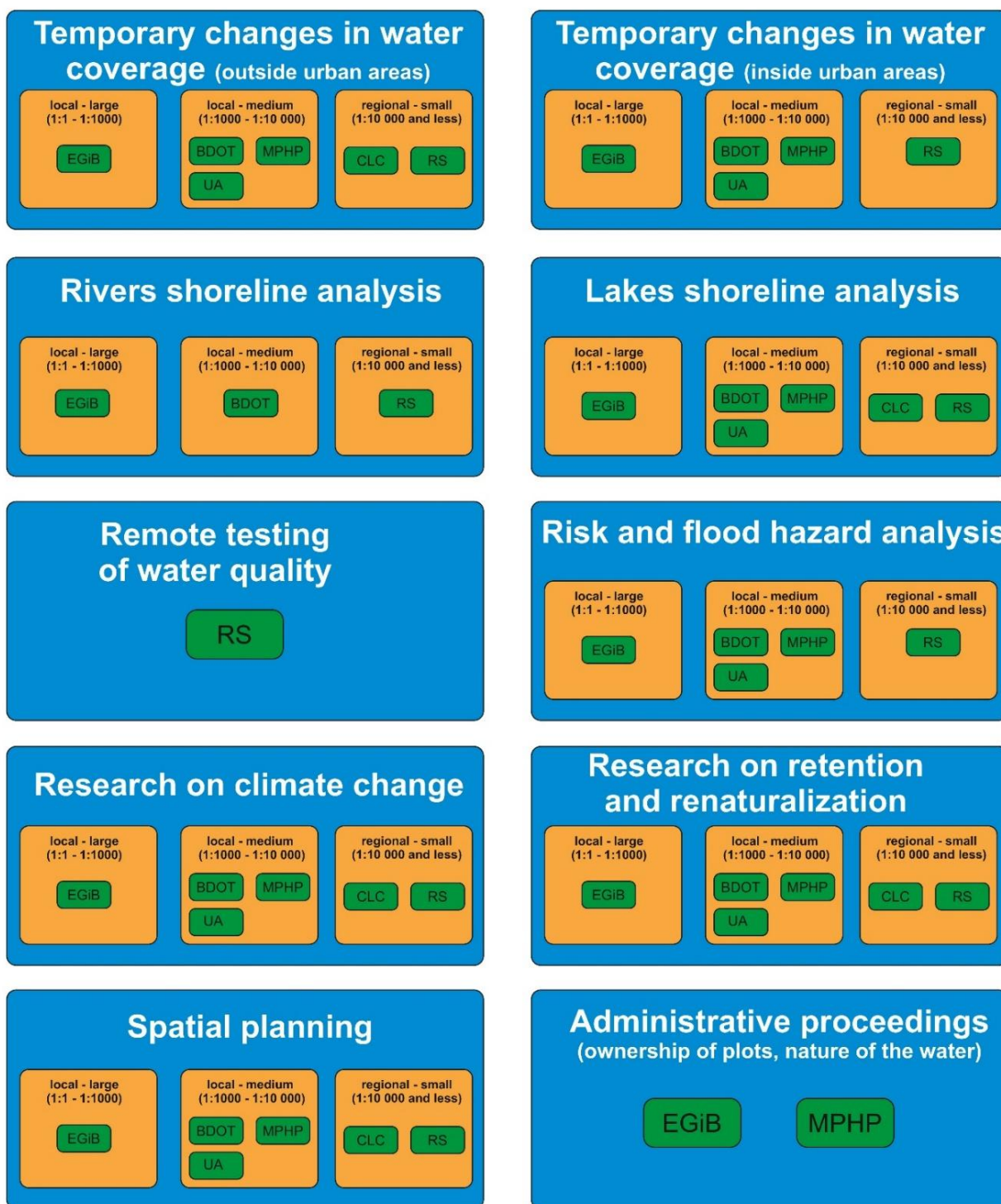


Ryc. 9: Multykryterialna analiza przestrzenna – porównanie rejestru gruntów i budynków (EGiB) z innymi badanymi bazami danych dotyczącymi pokrycia terenu. Źródło: Janczewska i in., 2023b.

Należy zwrócić uwagę, że EGiB to najbardziej precyzyjne i aktualne źródło informacji przestrzennej w zakresie gruntów pokrytych wodami. Błędne dane zawarte w Ewidencji Gruntów i Budynków rodzą skutki formalno-prawne (np. związane z ograniczeniami inwestycji budowlanych, obrotem

cywilnoprawnym nieruchomościami czy kwestiami własnościowymi). Niepokojąca jest zatem rozbieżność tych danych z danymi zarówno powierzchniowymi jak i liniowymi BDOT i MPHP, udostępnianymi przez jednostki państwowe jako referencyjne dane odpowiednio w zakresie pokrycia terenu oraz sieci hydrograficznej.

Zarówno założenia metodyki analizy multikryterialnej dla powierzchniowych i liniowych danych hydrograficznych, jak i wyniki na przykładzie obszaru miasta Katowice opublikowano w pracy pt. *Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study* (Janczewska i in., 2023b). W publikacji tej na podstawie wyników przedstawionych badań oraz analizy literatury opracowano schemat wyboru optymalnej bazy danych w zależności od założonego celu wykonywanych analiz (Ryc. 10). Schemat ten dotyczy baz danych dostępnych w Polsce. Można go jednak odnieść również do podobnych lokalnych baz danych dotyczących pokrycia wodami w innych krajach. Należy podkreślić, że dokładność innych niż wody rodzajów pokrycia terenu nie została zweryfikowana.



EGiB - Register of Land and Buildings
BDOT - Database of Topographic Objects
MPHP - Digital Map of Poland's Hydrographic Division

UA - Urban Atlas
CLC - Corine Land Cover
RS - Water indexes based on actual remote sensed imagery (e.g. NDWI)

Ryc. 10: Rekomendowane do wykorzystania bazy danych w zakresie pokrycia wodami zależne od kryterium celu i typu analiz. Źródło: Janczewska i in., 2023b.

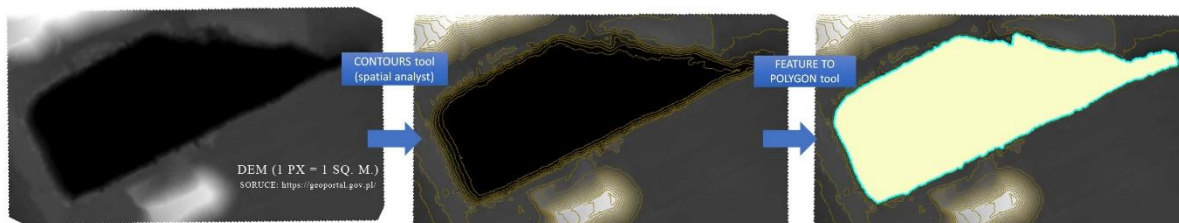
3.3. Metodyka zdalnej detekcji wód

Kluczową kwestią dla opracowywanej metodyki ewidencjonowania wód jest przegląd dotychczas wykorzystywanych metod umożliwiających przenoszenie informacji hydrograficznej do przestrzeni wirtualnej. W pierwszym etapie porównano wybrane metody bazując na ogólnodostępnych materiałach w geoportalu krajowym (geoportal.gov.pl) biorąc pod uwagę fragment koryta rzeki Odry oraz zbiornik powyroboiskowy - lokalizacje te znajdują się w obrębie zbiornika Racibórz Dolny (patrz 3.3.1.). W kolejnym etapie wykonany został nalot fotogrametryczny z pułapu lotniczego wraz ze skanowaniem laserowym (LiDAR), w wyniku którego pozyskano zarówno zdjęcia multispektralne jak i chmurę punktów (patrz 3.3.2.).

3.3.1. Metody wektoryzacji obszarów pokrytych wodami

Podstawową metodą digitalizacji danych hydrograficznych jest manualna wektoryzacja ortofotomap, polegająca na wykorzystaniu oprogramowania GIS do szkicowania poligonów (shapefile) na podkładzie ortofotomapy. Zasięg wód w tym wypadku jest określany subiektywnie przez osobę dokonującą digitalizacji. W przypadku polskich baz danych metoda ta była jednak najczęściej wykorzystywaną przy tworzeniu obecnie funkcjonujących baz danych wód powierzchniowych – komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski oraz Bazy Danych Obiektów Topograficznych (Barczyńska i in., 2013; Dz.U. 2021 poz. 1412).

Kolejną możliwością jest wykorzystanie numerycznego modelu terenu (NMT) oraz numerycznego modelu pokrycia terenu (NMPT). Model ten może zostać pozyskany zarówno w ramach danych otwartych (w przypadku Polski model o rozdzielczości 1 m udostępniany jest na geoportalu krajowym) oraz zostać wytworzony w trakcie nalotu fotogrametrycznego w postaci chmury punktów, przetworzonej narzędziami przestrzennymi (Spatial Analyst Tools). Model terenu opracowany w oparciu o sklasyfikowaną chmurę punktów pozwala precyzyjnie wykrywać najniższe punkty w terenie, którymi są koryta cieków (ciągłość należy sprawdzać od miejsca ujścia). W przypadku zbiorników na bazie NMT lub NMPT możliwe jest z kolei utworzenie rysunku poziomowego, z którego wyodrębniona poziomicą odpowiadająca maksymalnemu poziomowi piętrzenia (określonego w Instrukcji Gospodarowania Wodą, stanowiącą załącznik do pozwolenia wodnoprawnego), wskazuje granice zbiornika (Ryc. 11).

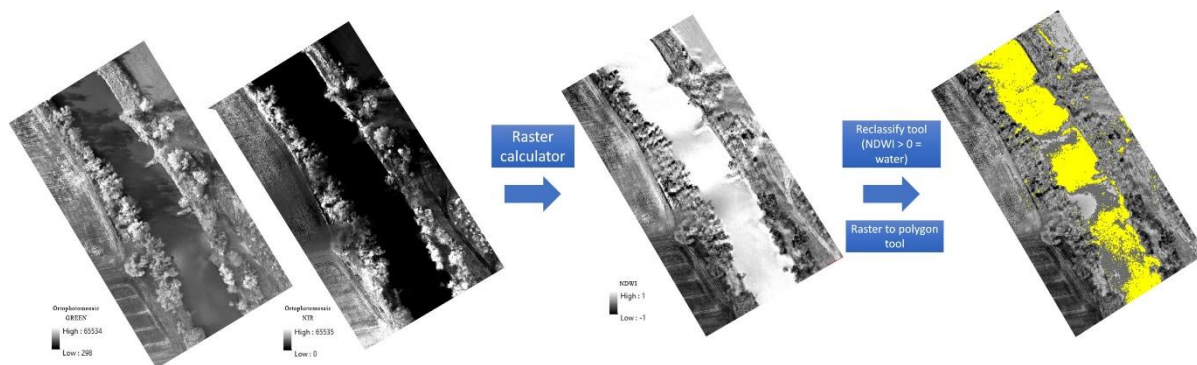


Ryc. 11: Przetworzenie Numerycznego Modelu Terenu na rysunek poziomicowy a następnie poligon reprezentujący zbiornik wodny

Kolejną metodą jest wykorzystanie wskaźników teledetekcyjnych oraz rekłasyfikacji. W przypadku detekcji wód najbardziej popularnym a zarazem efektywnym jest wskaźnik NDWI (Normalized Difference Water Index), który służy do wykrywania obecności wód płynących w oparciu o specyficzną wartość refleksyjności powierzchni wody względem pozostałego otoczenia. Wskaźnik oblicza się poprzez wykonanie algebry pikseli, tj. przez dzielenie międzykanałowe zdjęć pozyskanych w paśmie zielonym (GREEN) i bliskiej podczerwieni (NIR) wg poniższego wzoru (McFeeters, 1996):

$$(GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

Wskaźnik przyjmuje wartości pomiędzy -1 a 1, gdzie wartości >0 odpowiadają obszarom pokrytym wodami (McFeeters, 2013), stąd wynikowy raster może zostać zreklasifikowany i przekształcony na poligon (Ryc. 12).



Ryc. 12: Schemat przetworzenia ortofotomozaik na raster ze wskaźnikiem NDWI, a następnie poligony reprezentujący obszar wód

Kolejną możliwością jest rekłasyfikacja zobrażenia NIR wg naturalnych przerw. W tej metodzie wykorzystuje się zobrażenia wykonane wyłącznie w zakresie bliskiej podczerwieni (NIR). Piksele obrazu należy sklasyfikować wg poziomu jasności (np. 10 klas), zaś według subiektywnej oceny na bazie doświadczeń empirycznych najbardziej skuteczną metodą klasyfikacyjną jest metoda

naturalnych przerw. Metoda ta charakteryzuje się wyodrębnieniem grup o maksymalnej wewnętrznej spójności różniącej się od pozostałych. Po podziale, najniższe wartości jasności będą odpowiadać wodzie i należy je przetworzyć na poligony. Zakres bliskiej podczerwieni z dużą precyzją wskazuje obszary pokryte wodami, co z kolei powoduje utrudnienia z parowaniem zdjęć przy tworzeniu ortofotomozaiki.

W tabeli 3 zaprezentowano obliczone powierzchnie poligonów wygenerowanych przy pomocy opisanych wyżej metod. W przypadku wykorzystania do metody manualnej różnych danych źródłowych otrzymane wyniki różnią się. W przypadku podkładu bazowego zobrazowania satelitarnego powierzchnia objęta wodami powierzchniowymi wykreślona na podstawie wskaźnika NDWI jest większa w porównaniu do poligonu wygenerowanego na podstawie zobrazowania lotniczego. Największe wartości odstające zauważono w przypadku powierzchni wygenerowanej na podstawie DEM dla koryta Odry oraz powierzchni wyrobiska na podstawie zdjęcia satelitarnego.

Tabela 3: Porównanie powierzchni (m^2) określonej jako pokryta wodami na podstawie różnych metod wektoryzacji dla fragmentu rzeki Odry (obszar A) oraz dla wyrobiska (obszar B)

	Metoda I (manualna)		Metoda II (DEM)		Metoda III (NDWI)		Metoda IV (rekasyfikacja)
	Na bazie ortofotomozaiki	Na bazie ortofotomapy (geoportal.gov.pl)	Wygenerowany DEM	Pobrany DEM (geoportal.gov.pl)	Sentinel L2A (GSD = 10 m)	Zobrazowanie UAV (GSD = 0,4 m)	NIR
Obszar A (koryto rzeki Odry)	11226,78	10949,91	<235 m 4584,86	<184 m 11566,93	11 309,55	9935,34	10572,09
Obszar B (wyrobisko)	9548,00	9010,85	<238 m 11787,77	<187 m 13123,28	19 285,70	9484,55	8971,40

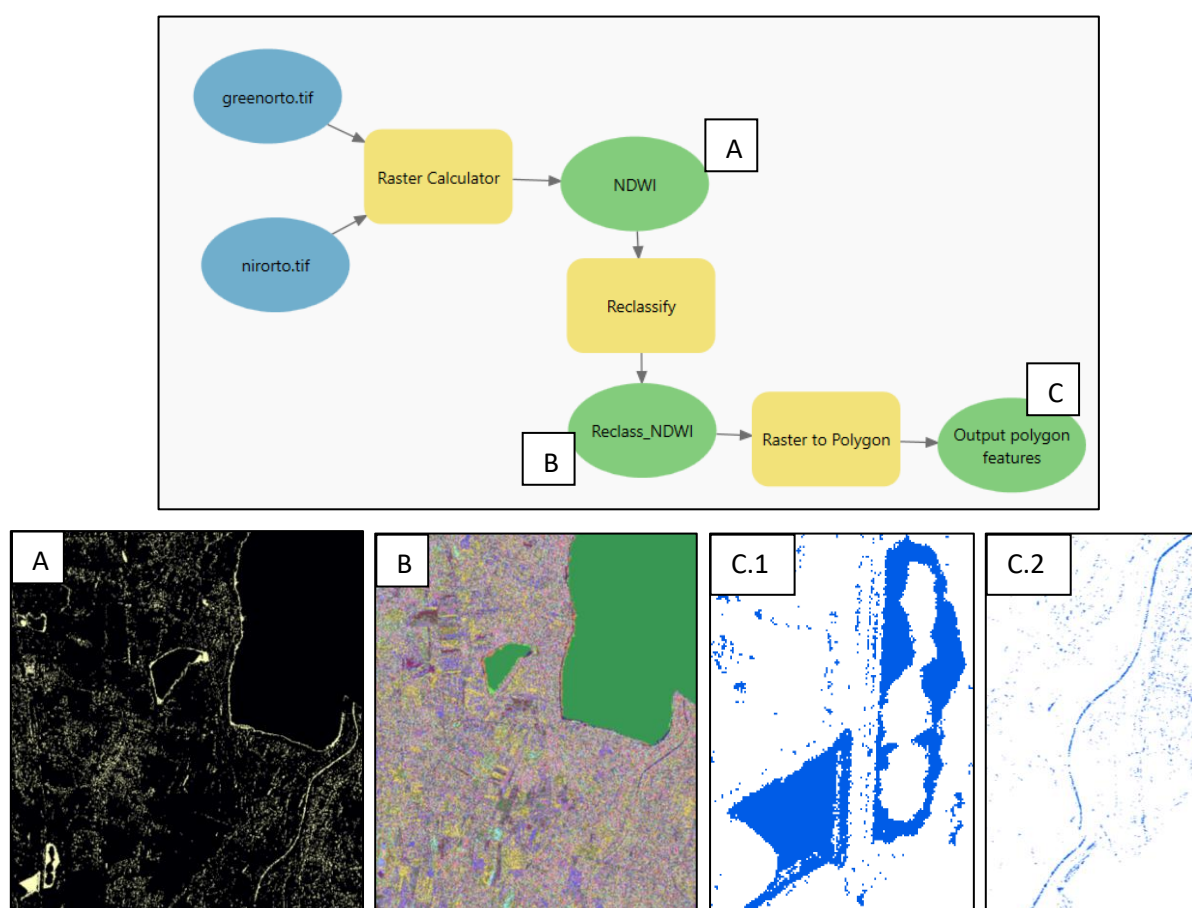
3.3.2. Metody wykrywania wód ze zobrazowań multispektralnych – wskaźnik NDWI

Wskaźnik NDWI obliczono również dla zdjęć lotniczych obejmujących całą zlewnię cieków Imielinka. Raster wynikowy (NDWI) został zreklasifikowany wg funkcji równych przedziałów (equal interval) dla 20 zmiennych. Po przetworzeniu obrazu rastrowego ze wskaźnikiem NDWI na dane wektorowe wyodrębniono klasy od 15 do 20 wskazujące wartości NDWI $>0,5$, co oznacza obszary pokryte wodami. Według tak uzyskanych danych na badanym obszarze występuje 6,75 km² obszarów pokrytych wodami (6,9% całego obszaru nalotu fotogrametrycznego). Wyraźnie widoczne są liczne artefakty (np. jako obszary wód wyodrębniane są punktowe elewacje budynków o podobnych do wody właściwościach absorpcyjnych światła) (Ryc. 13 C.2.). W przypadku zbiorników wodnych wyraźnie wyróżnione są ich granice zaś nie można obliczyć całej powierzchni zbiornika – w niektórych

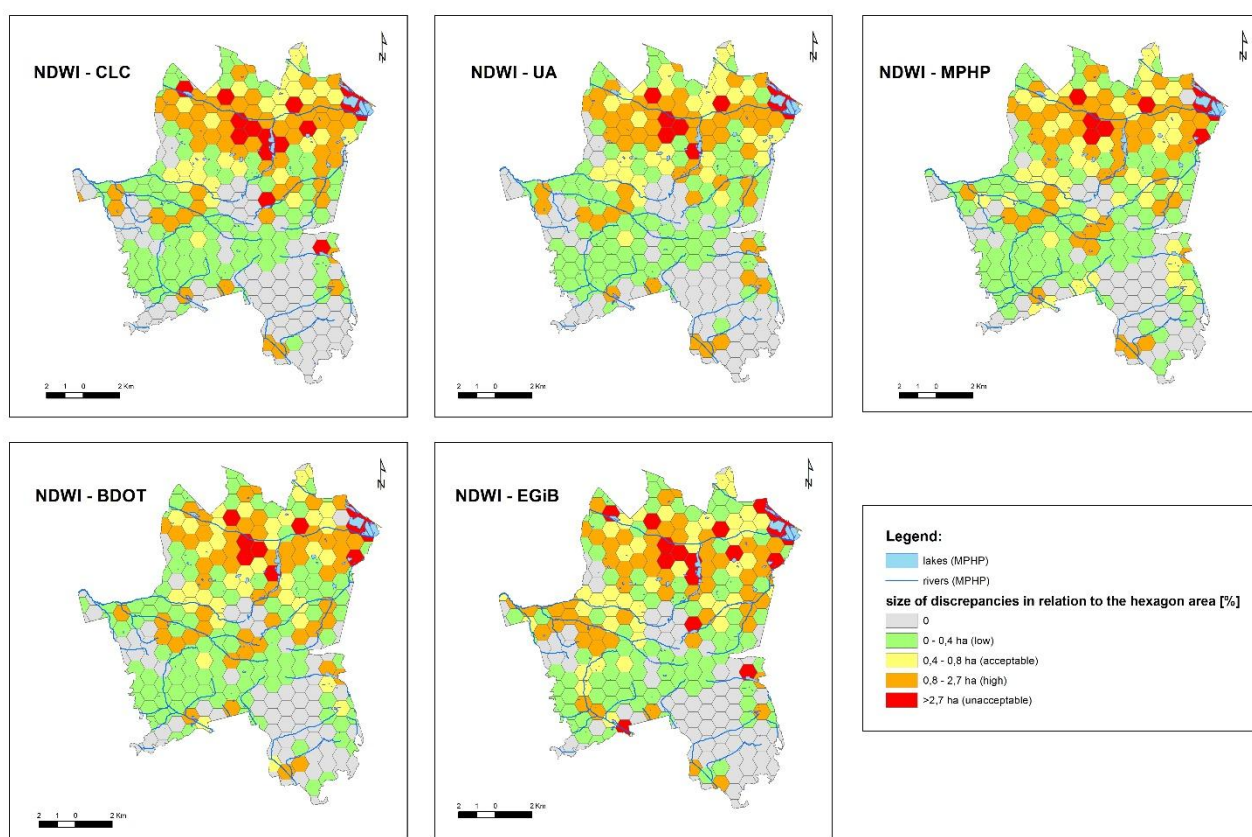
przypadkach wartości wskaźnika NDWI są dużo niższe niż określone dla obszarów wodnych na całym obszarze (Ryc. 13 C.1.).

Przy pomocy metody opartej na wskaźniku NDWI można zatem określić przebieg szerokiego cieku oraz zasięg zbiornika. Nie jest możliwe określenie miejsca występowania potencjalnych zbiorników oraz dokładnej powierzchni istniejących zbiorników czy obszaru zajętego przez powierzchnię rzeki. Najbardziej precyzyjną informację można otrzymać przez subiektywną reklasyfikację.

Należy zwrócić uwagę, że we wcześniej prowadzonej analizie multikryterialnej dane wynikowe wskaźnika NDWI opartego na zdjęciach satelitarnych pokrywały się z przestrzennymi danymi hydrograficznymi prezentowanymi przez MPHP, EGiB czy ewidencją melioracji (za wyjątkiem przebiegu cieku Rawa, który różnił się również w pozostałych ewidencjach ze względu na duże przekształcenia koryta i przebieg w odcinkach zarurowanych) (Ryc. 14). Przeprowadzone badania potwierdzają prezentowaną w literaturze wysoką wiarygodność wskaźnika NDWI (Legleiter, 2012; Huang, 2018).



Ryc. 13: Model przetwarzania ortofotomozaik na wskaźnik NDWI oraz wektoryzacji sieci hydrograficznej. Niebieskim kolorem oznaczone są dane wejściowe, żółtym narzędzia a zielonym dane wyjściowe. A: raster z wartościami wskaźnika $>0,5$; B: raster ze wskaźnikiem NDWI podzielony na 20 równych klas; C.1.: zwektoryzowane zbiorniki wodne; C.2: zwektoryzowana rzeka. Źródło: Janczewska i in., 2025c.



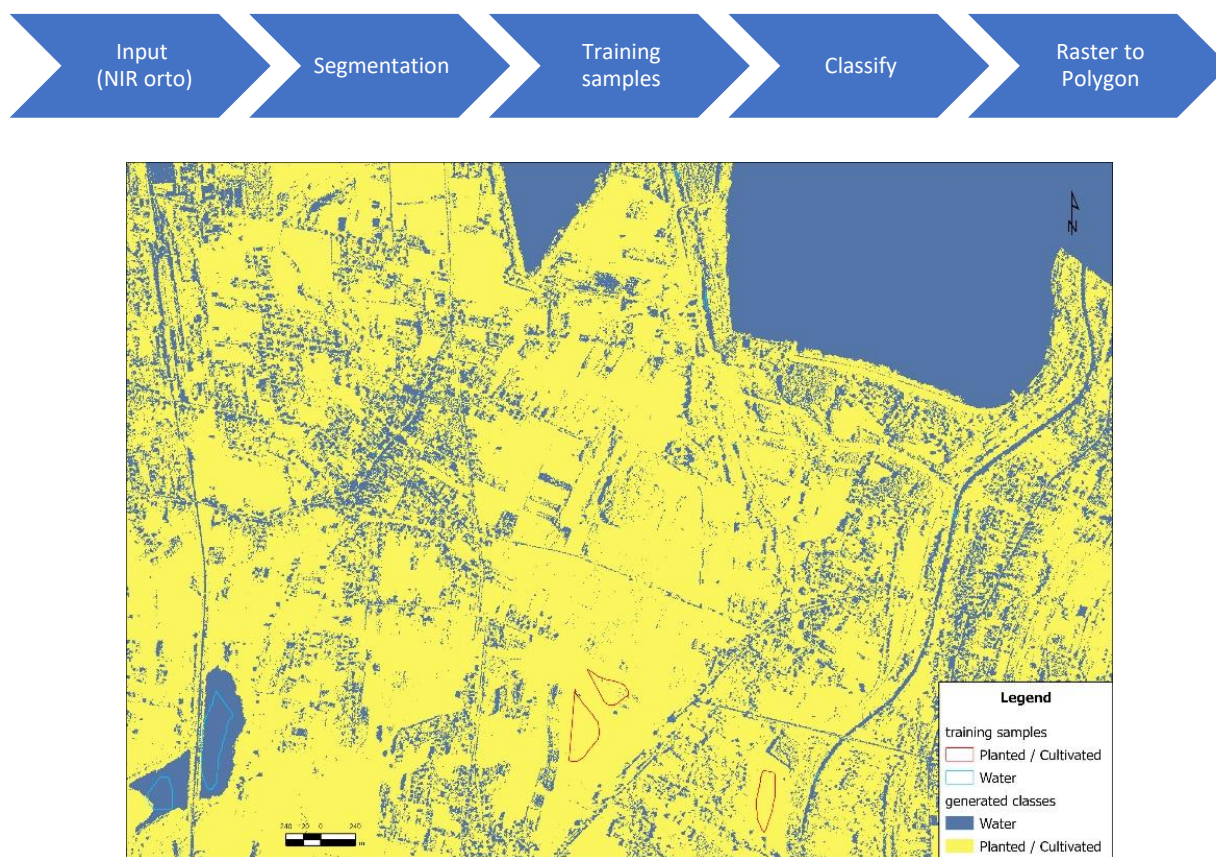
Ryc. 14: Porównanie poligonów wygenerowanych na podstawie wskaźnika NDWI z innymi bazami danych. Źródło: Janczewska i in., 2023b.

3.3.3. Algorytmy klasyfikacji oparte na uczeniu maszynowym

ArcGIS Pro 3.2. posiada szeroki zasób algorytmów opartych na sztucznej inteligencji, a szczególnie uczeniu maszynowym. Precyzyjną funkcją jest *deep learning* polegający na tworzeniu modelu klasyfikacyjnego opartego o pola treningowe (ESRI, 2024). Na etapie tworzenia modelu dla obszaru pokrytego wodami w używanej wersji programu pojawiał się błąd krytyczny (całkowite zamknięcie aplikacji), stąd nie było możliwe wykorzystanie tej metody i zdecydowano o zastosowaniu klasyfikacji nadzorowanej.

Klasyfikacja nadzorowana jest klasyczną metodą opartą o uczenie maszynowe, w którym dla wybranych typów użytkowania terenu wskazuje się odpowiadające im jasności pikseli. W ten sposób program klasyfikuje obraz rastrowy według skrajnych wartości zakresów pikseli w danej klasie (Nunzio i Sordoni, 2014). Klasyfikację nadzorowaną przeprowadzono na podstawie ortofotomozaiki ze zdjęć pozyskanych w spektrum bliskiej podczerwieni (NIR) z uwagi na największą wrażliwość tego zakresu spektralnego dla terenów pokrytych wodami (Ailavajhala i in., 2020). W pierwszym kroku dokonano segmentacji obrazu (połączenia w grupy pikseli o zbliżonym poziomie jasności), następnie wskazano pola testowe (miejsca na środku zbiorników wodnych lub w środku koryta Przemszy) oraz

pogrupowano raster na dwie klasy: woda i pozostałe. Klasa pozostałych obiektów została domyślnie nazwana jako rośliność (planted/cultivated). W ostatnim kroku dane rastrowe przetworzono na dane wektorowe (Ryc. 15).



Ryc. 15: Workflow klasyfikacji nadzorowanej, pola treningowe oraz sklasyfikowany obraz wyjściowy (2 klasy).
Źródło: Janczewska i in., 2025c.

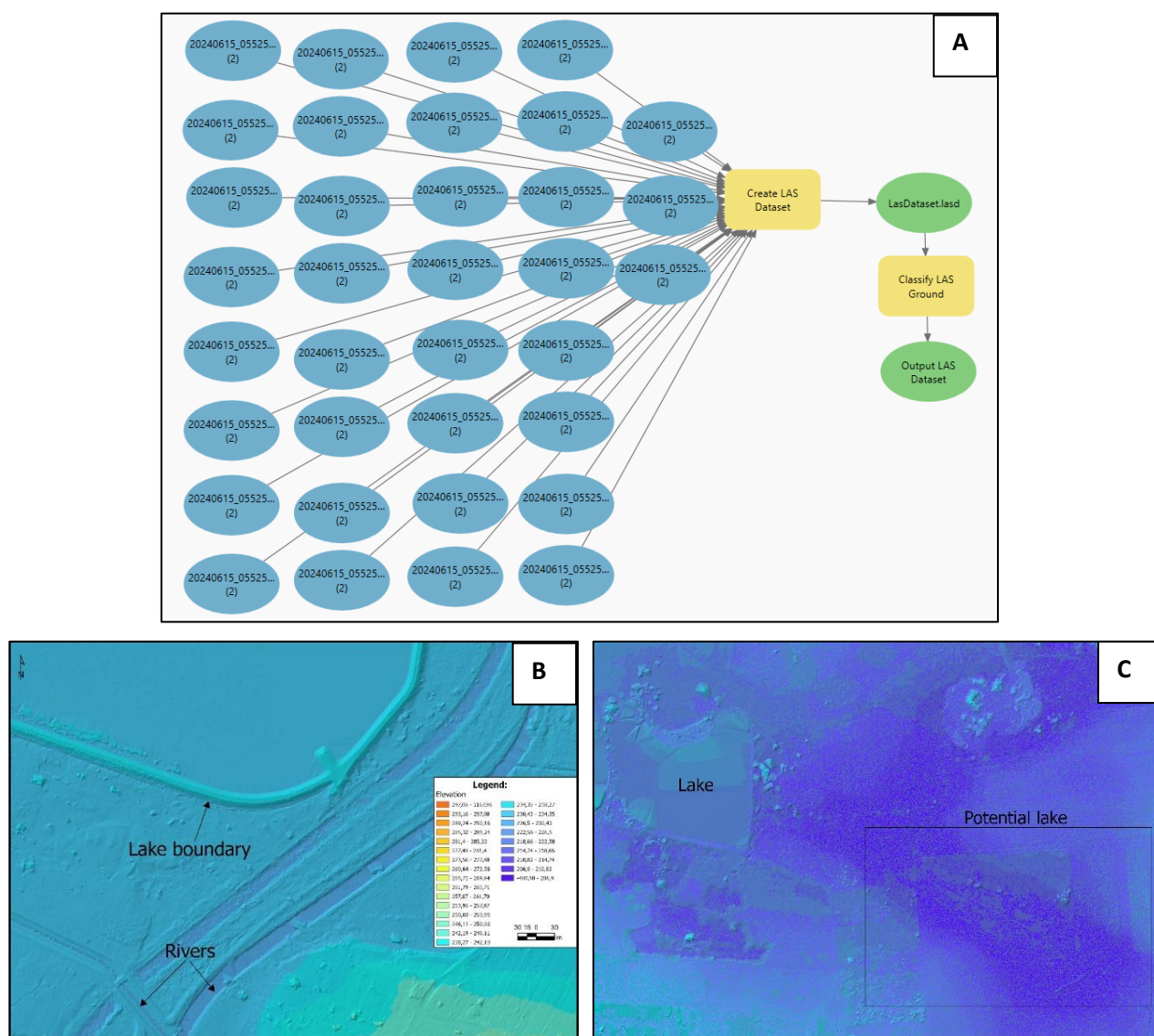
Według informacji uzyskanych z wektoryzowanych klas na badanym obszarze występuje 20,75 km² obszarów pokrytych wodami (24,9% całego obszaru nalotu fotogrametrycznego). W całości ujęte zostały zatem obszary zbiorników, lecz piksele o jasności = 0 (np. obrzeża obszaru nalotu) również zostały sklasyfikowane jako obszary wodne.

3.3.4. Metody wykrywania wód i miejsc ich potencjalnego występowania na podstawie danych LiDAR

W kolejnych testach do wykrywania obszarów wód posłużono się chmurą punktów lotniczego skaningu laserowego. Chmura punktów nie została domyślnie sklasyfikowana a jej gęstość była różna lecz nie mniejsza niż 7 pkt/m².

3.3.4.1. Klasyfikacja chmury punktów na podstawie *generated ground*

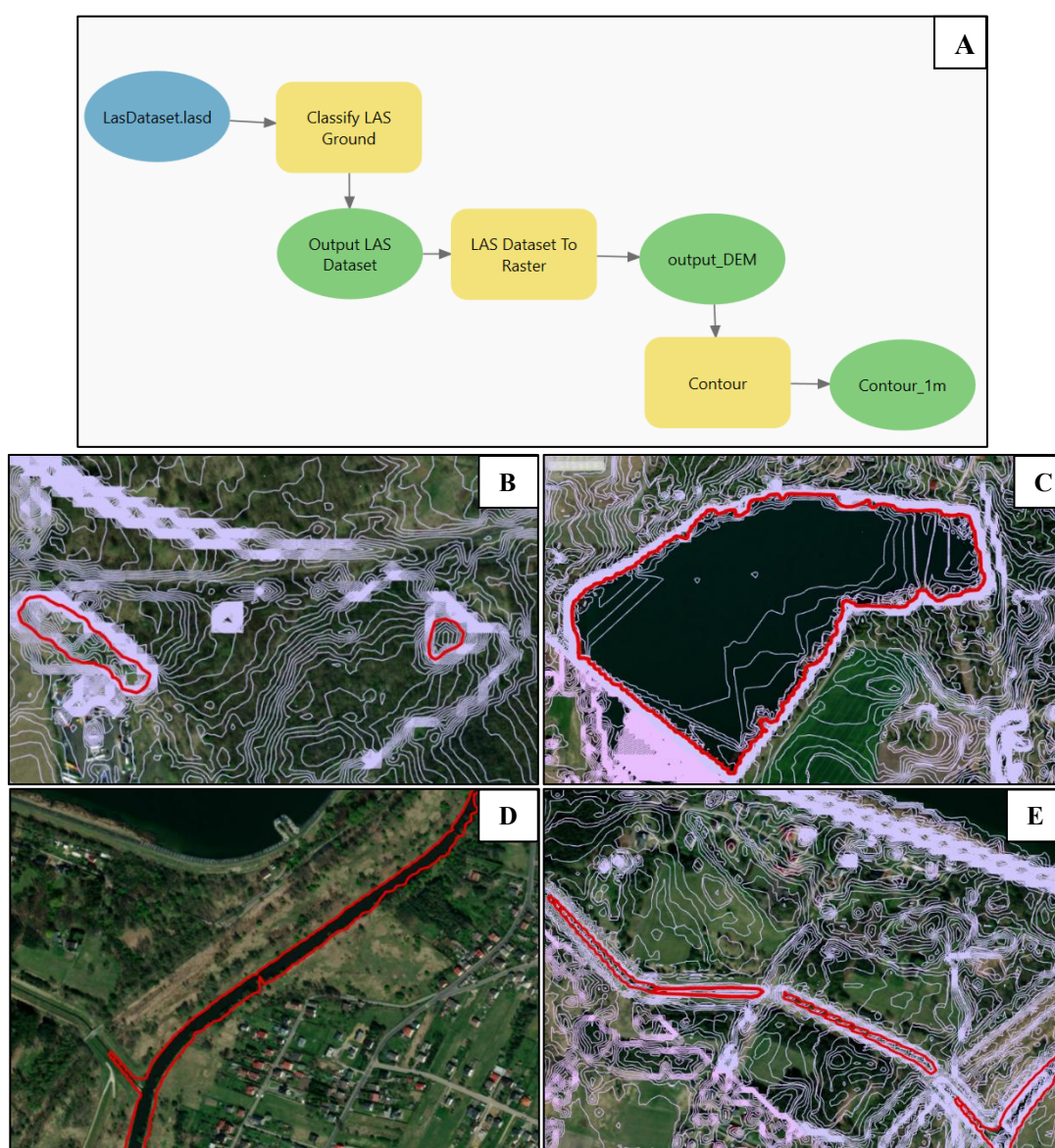
W pierwszym kroku utworzono zestawy danych (LAS datasets) oraz uruchomiono algorytm wyróżniający punkty reprezentujące teren a nie jego pokrycie (narzędzie Classify LAS ground) (Ryc. 16A). W efekcie wyraźnie wyróżniono koryto zarówno szerokiej jak i wąskiej rzeki. Przy wyróżnianiu cieków tą metodą należy jednak zweryfikować na obrazie RGB czy obniżenie faktycznie stanowi ciek. Wyraźnie widoczne są również obiekty techniczne - zapora istniejącego zbiornika (Ryc. 16B) jak i obszary obniżenia – miejsca, które w sposób naturalny mogą zostać przeobrażone w zbiorniki wodne (Ryc. 16C), a także fragmenty starych grobli.



Ryc. 16: Model przetwarzania chmury punktów w formacie LAS na informacje o ukształtowaniu terenu (A). Efekt końcowy przetworzony na model terenu (B) oraz chmura punktów reprezentująca ukształtowanie terenu (C). Źródło: Janczewska i in., 2025c.

3.3.4.2. Konwersja na poziomice

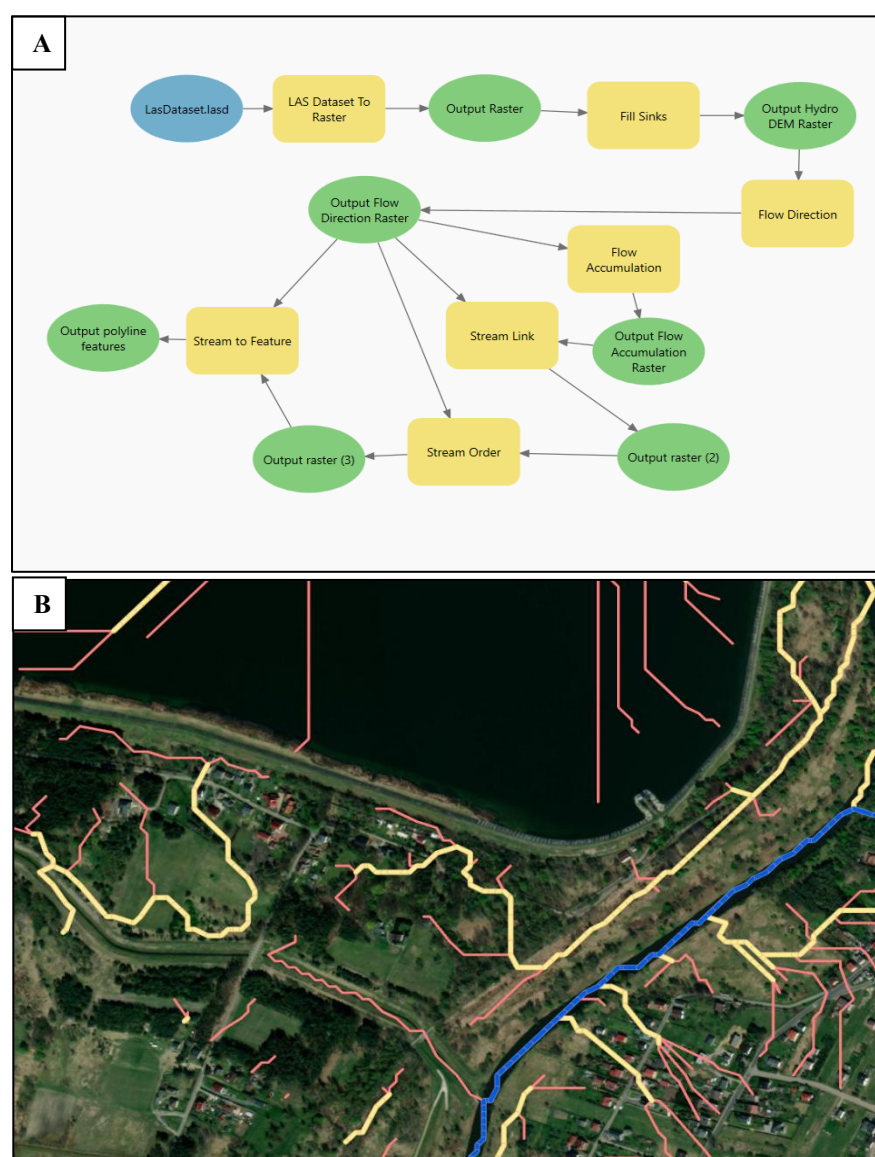
Kolejna próba wyodrębnienia miejsc pokrytych wodami oraz miejsc, w których potencjalnie mogłyby zostać utworzone zbiorniki polegała na konwersji chmury punktów na Numeryczny Model Terenu (jeden obraz rastrowy) i przetworzenie go na poziomice (Ryc. 17A). Przyjęto interwał 0,2 m. Ta metoda pozwoliła precyzyjnie wyznaczyć granice istniejących zbiorników (Ryc. 17C) oraz miejsc, w których potencjalnie mogą się utworzyć zbiorniki wodne (Ryc. 17B). W przypadku koryt rzecznych metoda ta może być skuteczna w określaniu zasięgu tylko fragmentów koryt, głównie szerokich (Ryc. 17D, 17E).



Ryc. 17: Model przetwarzania chmury punktów w formacie LAS na poziomice (A). Wykrywanie na podstawie szczegółowej mapy poziomkowej: miejsc, w których potencjalnie mogą tworzyć się zbiorniki wodne (B), granic zbiorników wodnych (C), granic koryta rzeki szerokiej (D) oraz granic wąskiego koryta cieku (E). Źródło: Janczewska i in., 2025c.

3.3.4.3. Wykorzystanie zestawu narzędziowego Arc Hydro Tools Pro

Dokonano również próby wykorzystania pakietu narzędziowego Arc Hydro Tools Pro do wytworzenia informacji o liniowej sieci hydrograficznej. W pierwszej kolejności z zestawu danych LAS wygenerowano DEM i wypełniono puste przestrzenie (*fill sinks*), następnie sprawdzono kierunki spływu i wyznaczono miejsca akumulacji przepływu, a finalnie wygenerowano raster z estymowanym przebiegiem sieci hydrograficznej i nadano rzędowość stosując metodę Stahlera. Wynikową warstwą jest wektorowa warstwa liniowa z ciekami, którym przyporządkowano rzędowość (Ryc. 18A). Metoda ta pozwoliła precyzyjnie wyznaczyć przebieg większych cieków, zaś część obniżen terenu została nieprawidłowo sklasyfikowana jako ciek (Ryc. 18B).



Ryc. 18: Model przetwarzania chmury punktów w formacie LAS na warstwę liniową cieków (A) oraz zrzut ekranu z warstwą wynikową (B). Źródło: Janczewska i in., 2025c.

3.4. Podsumowanie weryfikowanych metod

3.4.1. Pułapy pozyskiwania danych oraz ograniczenia

Stosując automatyczne metody detekcji wód należy pamiętać o ograniczeniach powodujących szумы i artefakty w końcowym produkcie (uzyskanym wyniku operacji).

Na etapie pozyskiwania danych są to:

- Warunki atmosferyczne – zachmurzenie wpływające na zacielenia lub w przypadku wysokich pułapów zakrycie przez chmury (których właściwości odbicia są zbliżone do zakresu odbicia wód), a także silne nasłonecznienie mogące powodować refleksy na powierzchni wody.
- Kąt padania światła/zmienne warunki oświetleniowe – w przypadku pozyskiwania wysokorozdzielczych obrazowań wielkoobszarowych, jakimi są m.in. obszary dorzeczy dużych rzek, nie jest możliwe pozyskanie zdjęć w tym samym czasie, a zdjęcia wykonane w innej porze dnia np. przy niskim kącie padania światła (tj. rano lub wieczorem) mogą mieć silne cienie, które zmieniają wartości refleksyjności, a przez to powodują, że piksele reprezentujące obszary wód nie mają zbliżonych wartości jasności.
- Rodzaj i jakość sensorów - niska rozdzielczość przestrzenna lub spektralna ogranicza zdolność rozróżniania wody od innych obiektów (np. asfalt, cienie).
- Zakłócenia radiometryczne - niejednorodna ekspozycja, różnice w oświetleniu między zdjęciami, szумы w obrazie.
- Błędy geolokalizacji - niedokładne lub nieskalibrowane dane GPS/IMU mogą prowadzić do błędów w ortorektyfikacji i późniejszej analizie przestrzennej.
- Nieodpowiedni dobór pułapu pozyskiwania danych do zakresu obszarowego - zbyt duża wysokość nalotu może skutkować pominięciem mniejszych obiektów wodnych, zaś zbyt niska wysokość nalotu powoduje nagromadzenie tak dużej ilości zdjęć, która spowoduje problemy w ich przetworzeniu na ortofotomozaiki.

Na etapie przetwarzania danych zidentyfikować można następujące ograniczenia lub problemy:

- Błędy w ortorektyfikacji i mozaikowaniu - niewłaściwe dopasowanie zdjęć (szczególnie w obrębie zbiorników gdzie występuje duże podobieństwo jasności pikseli) może prowadzić do przesunięć i zniekształceń obiektów wodnych.
- Problemy z klasyfikacją - woda może być mylona z cieniem, ciemną roślinnością, asfaltem lub mokrym gruntem.

- Brak kalibracji radiometrycznej - różnice w jasności i kontrastach między zdjęciami mogą utrudniać automatyczną analizę.
- Zakłócenia od roślinności i obiektów antropogenicznych - sztuczne zbiorniki, betonowe powierzchnie, dachy mogą być błędnie interpretowane jako woda, z kolei występująca roślinność brzegowa, szczególnie wysoka, przy rzucie ortogonalnym całkowicie zasłania obszary pokryte wodami.

Przy zdalnej detekcji wód istotną pozostaje kwestia pokrycia terenu, a szczególnie występowania obiektów wysokich. W strefach brzegowych wód szczególnie problematyczne pozostaje występowanie roślinności, która zasłania teren wód. Z tego powodu przy badaniu rozbieżności analiza statystyczna pozwoliła stwierdzić wzrost wartości rozbieżności przy porównaniu ewidencji melioracji z pozostałymi bazami w miarę intensyfikacji pokrycia rzek i ich terenów zalewowych zadrzewieniami. W przypadku obszarów otwartych (tereny rolne) rozbieżności te były znacznie mniejsze.

Dokonane analizy wskazują, że niezwykle istotną kwestią pozostaje pułap pozyskiwania danych, szczególnie w kontekście optymalizacji planowanej automatycznej detekcji wód. Z jednej strony im niższy pułap pozyskiwania danych tym większa rozdzielczość przestrzenna i dokładność detekcji wód. Z drugiej zaś strony im wyższy pułap pozyskiwania danych tym bardziej spójna informacja (zdjęcia wykonane w jednakowych warunkach oświetleniowych) i mniejsza ilość danych do przetworzenia.

3.4.2. Porównanie czasu oraz efektywności

Ograniczenia związane z zasięgiem scen, zachmurzeniem oraz wielkością terenową piksela uniemożliwiają pozyskanie jednolitej informacji o zasięgu wód na dużym obszarze jak np. koryto rzeki o kilkusetkilometrowej długości w ciągu jednego dnia (Absalon i in., 2023). Efekt ten może zostać uzyskany wykorzystując komercyjne wysokorozdzielcze platformy satelitarne (Mullen i in., 2023), co z kolei wiąże się z dużymi nakładami finansowymi i koniecznością przetworzenia dużej ilości danych. Alternatywną metodą pozyskiwania danych o zasięgu wód powierzchniowych jest przetwarzanie Numerycznych Modeli Terenu, pozyskiwanych również w oparciu o teledetekcję lotniczą lub satelitarną. Sensorem w tym wypadku jest skaner laserowy, a najczęściej stosowaną jest metoda LiDAR (Toscano i in., 2015), polegająca na rejestracji położenia punktu na podstawie jego odbicia od różnych powierzchni (w tym powierzchni wody, przez którą wiązka skanera nie przenika). Ograniczenia związane z wielkością i dokładnością danych są podobne jak w przypadku zdjęć multispektralnych (rozmiar pozyskiwanych danych, zasięg nalotu) wykluczając jednak niekorzystne warunki atmosferyczne. W oparciu o Numeryczne Modele Terenu można wyznaczać wyraźne

zarysowane koryta cieków czy zasięg zbiorników ale również modelować np. aktualne kierunki spływów wody, akumulacji przepływów, czy wyznaczać zasięg zlewni (Chowdhury, 2023).

Efektywność przetwarzania równocześnie danych rastrowych i wektorowych jest możliwa poprzez automatyzację powtarzalnych czynności przy pomocy narzędzi takich jak Model Builder/Model Designer czy środowisk programistycznych implementowanych do programów GIS jak „Python” czy „R” (Schürz i in., 2023; Masetti i in., 2022, Silalahi i Hidayat, 2020).

Czasochłonnym procesem jest przetworzenie zdjęć wykonanych w poszczególnych zakresach (Red, Green, Blue lub NIR) na ortofotomapy. Wykorzystując wysoko wydajny sprzęt komputerowy w przypadku obszaru o powierzchni 82 km² przetwarzanie pojedynczego kanału zajmowało około 9 godzin. Tworzenie zestawu danych z chmury punktów zajmowało dla jednego zestawu około 30 minut przy czym w trakcie skaningu utworzono 7 zestawów danych. Nalot fotogrametryczny wraz ze skanowaniem laserowym trwał 3 h 10 min. W tabeli 4 podano łączny czas potrzebny do wyróżnienia aktualnej i/lub potencjalnej sieci hydrograficznej na całym obszarze zlewni Imielinki (ok. 800 ha). Z kolei kolorem zielonym oznaczono, jaki element sieci hydrograficznej mógł zostać wyodrębniony przy użyciu danej metody, a kolorem czerwonym - brak takiej możliwości. Kolor pomarańczowy oznacza, że istniała taka możliwość ale precyzyjne uzyskanie informacji wymagało manualnej interwencji operatora.

Tabela 4: Możliwość wyodrębnienia elementu sieci hydrograficznej przy pomocy danej metody oraz potrzebny na to czas

Metoda	Czas potrzebny na pozyskanie i przetworzenie materiału łącznie	Dane bazowe	Rzeka szeroka (szerokość koryta przy ujściu >3 m)	Rzeka wąska (szerokość koryta przy ujściu <3 m)	Zbiornik aktualnie istniejący	Zbiornik historyczny lub potencjalny
Wykorzystanie wskaźnika NDWI	22 h	Ortofotomozaika NIR i GREEN				
Klasyfikacja nadzorowana (pixel-based w zakresie NIR)	13 h	Ortofotomozaika NIR				
Klasyfikacja chmury punktów na podstawie <i>generated ground</i>	8 h	Chmura punktów (LAS)				
Konwersja na poziomice	6 h	DTM				
Wykorzystanie zestawu narzędziowego Arc Hydro Tools Pro	7 h	DEM				

3.4.3. Porównanie precyzji w oparciu o dane GPS

W celu weryfikacji dokładności testowanych metod porównano powierzchnię wybranych obszarów pomierzonych w terenie przy pomocy precyzyjnego odbiornika GPS z powierzchniami otrzymanymi w wyniku przetwarzania obrazów rastrowych lub chmury punktów. Wyniki prezentuje tabela 5, z której wynika, że w przypadku rzeki wąskiej najbardziej zbliżoną wartość do pomiaru terenowego otrzymano wykorzystując klasyfikację chmury punktów metodą *generate ground* (po przetworzeniu DTM). W przypadku rzeki szerokiej oraz istniejącego zbiornika wodnego najbardziej efektywna okazała się konwersja na poziomice wcześniej wytworzonego DTM.

Tabela 5: Porównanie pomiaru powierzchni wybranych obiektów przy pomocy testowanych metod z pomiarem terenowym (ha). Kolorem zielonym oznaczono najbardziej zbliżone wartości do pomiaru terenowego.

Metoda	Powierzchnia poligonu utworzonego na podstawie danych GPS (ha)	Wykorzystanie wskaźnika NDWI	Klasyfikacja nadzorowana (pixel-based w zakresie NIR)	Klasyfikacja chmury punktów na podstawie <i>generated ground</i>	Konwersja na poziomice
Rzeka wąska na odcinku 100 m (Imielinka)	0,036	Brak możliwości wyróżnienia	0,17	0,028	Brak możliwości wyróżnienia
Rzeka szeroka na odcinku 500 m (Przemsza)	1,11	0,59	0,87	0,96	1,01
Zbiornik aktualnie istniejący (jezioro po piaskowni)	26,03	19,36	26,9	27,6	26,02

Fragmentami wyznaczono również faktyczny przebieg ciekę Imielinka w terenie. Pomiary wykonano przy pomocy precyzyjnego odbiornika GPS w miejscach, w których było możliwe wytyczenie punktu w środku ciekę. Jednak ze względu na bezpieczeństwo tj. stromość zabudowanych skarp czy wysoką roślinność lub niekorzystne ukształtowanie terenu nie było możliwości wytyczenia pełnego przebiegu ciekę w terenie.

Szerokość koryta ciekę Imielinka przy ujściu wynosi 2 m, zaś maksymalna odległość wyrysowanych automatycznie polilinii (w oparciu o NDWI i DTM/DEM) wynosi ponad 6 m w przypadku zdjęć lotniczych, a w przypadku zdjęć z drona ponad 4 m. W przypadku odległości punktów GPS od polilinii wytyczonej automatycznie na podstawie zdjęć niskiego pułapu niższe są również pozostałe podstawowe dane statystyczne (średnia czy mediana) (Tabela 6).

Linia wrysowana ze zdjęcia lotniczego jest położona w odległości większej niż 2 m od punktu zmierzonego w terenie w środku koryta w 18,5% (10 punktów z 54). W przypadku linii wrysowanej

ze zdjęć wykonanych przy pomocy UAV w odległości więcej niż 2 m od punktu zmierzonego w terenie położonych jest 14 punktów z 54, tj. 26%.

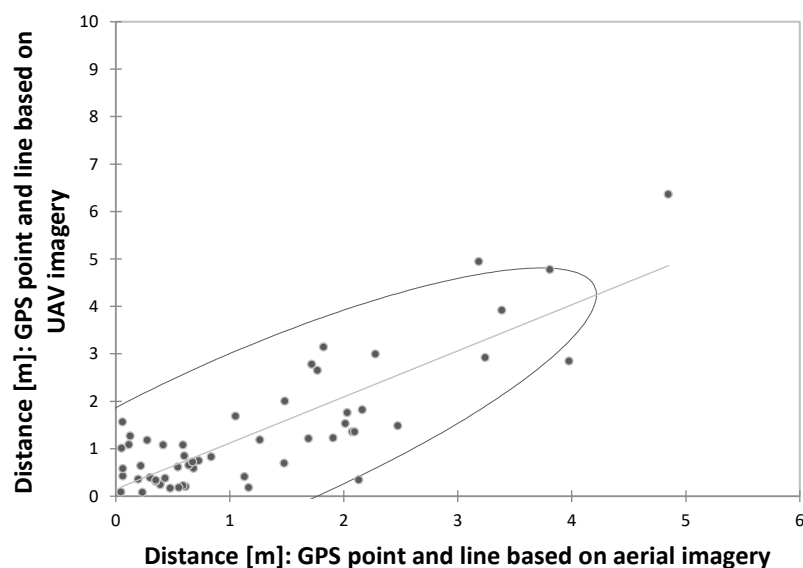
Linia wrysowana ze zdjęcia lotniczego jest położona w odległości większej niż 1 m od punktu zmierzonego w terenie w środku koryta w 52 % (28 punktów z 54). W przypadku linii wrysowanej ze zdjęć wykonanych przy pomocy UAV w odległości większej niż 1 m od punktu zmierzonego w terenie położonych jest 25 punktów z 54 tj. 46%.

Tabela 6: Podstawowe dane w zakresie odległości punktu GPS od polilinii wyznaczonych w oparciu o zdjęcia lotnicze średniego i niskiego pułapu (średnia dokładność pomiarów: 1,2 cm).

	Odległość pkt GPS od linii wyznaczonej na podstawie zdjęcia lotniczego (m)	Odległość pkt GPS od linii wyznaczonej na podstawie zdjęcia z drona (m)
MAX	6.37	4.85
MIN	0.08	0.05
ŚREDNIA	1.40	1.27
MEDIANA	1.08	0.78

Można zauważyć ogólny trend wskazujący, że przebieg cieku został wyznaczony z większą dokładnością w oparciu o materiał fotogrametryczny zgromadzony przy pomocy teledetekcji niskiego pułapu.

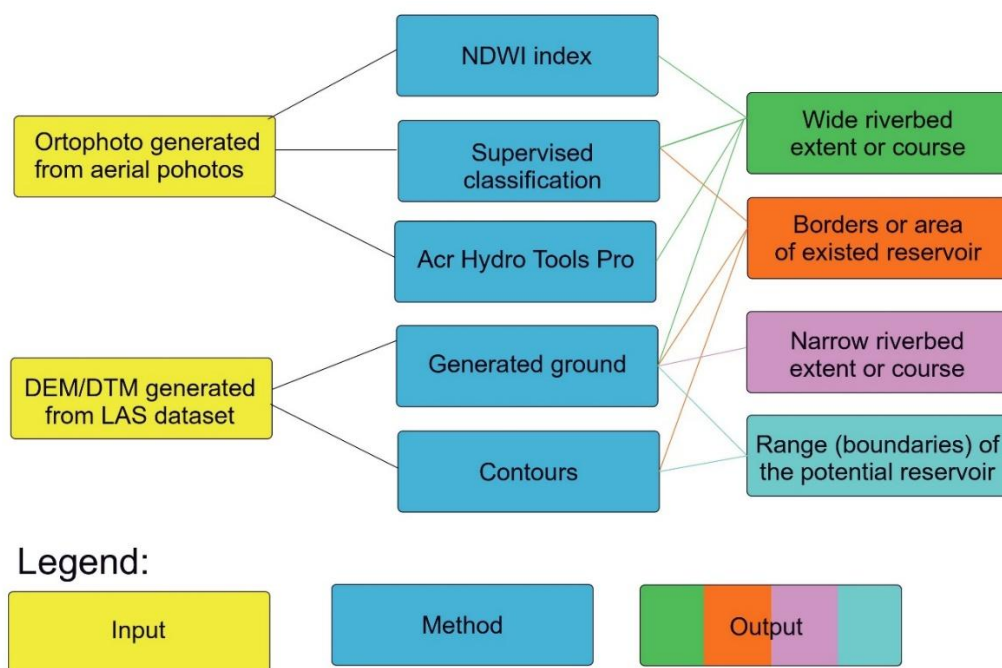
Dodatkowo przy pomocy testu korelacji Pearsona zbadano czy zachodzi korelacja pomiędzy odległością wrysowanych linii w oparciu o zdjęcia lotnicze oraz zdjęcia z niskiego pułapu od punktów wytyczonych przy pomocy GPS w korycie Imielinki. Wielkość korelacji wynosi 0,836 i jest wartością istotną statystycznie (Ryc. 19). Dla potwierdzenia wysokiej zbieżności wykonano również nieparametryczny Test Znaków (ang. *Sign Test*), gdzie wartość p-value wyniosła aż 0,892, przy czym dla p-value >0,05 należy przyjąć możliwość wystąpienia hipotezy, że obie próby mają ten sam rozkład. Badania statystyczne wykazały zatem wysokie podobieństwo pomiędzy przebiegiem cieku wrysowanym w oparciu o zobrażenia lotnicze pułapu średniego i niskiego.



Ryc. 19: Wynik korelacji Pearsona pomiędzy odległościami linii wrysowanych na podstawie zdjęć lotniczych średniego i niskiego pułapu od punktów w korycie cieku Imielinka. Źródło: Janczewska i in.: *Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing* (w trakcie recenzji).

3.4.4. Rekomendacje

Rozdział 3.4. stanowi podsumowanie wyników badań i analiz opublikowanych w artykule pt. *A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features* (Janczewska i in., 2025c). Z przeprowadzonych badań wynika, że zasadnym jest wykorzystanie zobrazowań lotniczych oraz produktów skaningu laserowego do weryfikacji, tworzenia i aktualizacji danych hydrograficznych. Wybór najbardziej efektywnej metody zależy od posiadanych danych wejściowych oraz oczekiwanego efektu (elementu sieci hydrograficznej, który ma stać się finalną warstwą wektorową). Zaproponowano następujący schemat wyboru odpowiedniego algorytmu (Ryc. 20):



Ryc. 20: Schemat wyboru najbardziej optymalnej metody uzależniony od danych wejściowych oraz elementu sieci hydrograficznej, który ma zostać automatycznie wygenerowany. Źródło: Janczewska i in., 2025c.

3.5. Ewidencja wód

Ewidencja wód powinna się składać z informacji przestrzennej (prawidłowy przebieg sieci hydrograficznej reprezentowany w przestrzeni geoinformacyjnej) oraz opisu atrybutowego. Opis ten musi być zgodny z wytycznymi prawa, szczególnie w zakresie tego co przedstawia, a więc w przypadku Polski to śródlądowe wody powierzchniowe. Ewidencja wód z kolei powinna mieć możliwość dynamicznej aktualizacji i być kompatybilna z pozostałymi danymi funkcjonującymi w systemie prawnym danego państwa. Opierając się na przeprowadzonych badaniach w rozdziale tym przedstawiono kolejne, najbardziej optymalne kroki służące jej utworzeniu. Propozycja optymalnej metodyki ewidencjonowania wód, została przedstawiona w artykule pt. *Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing* (który na dzień złożenia rozprawy doktorskiej jest w trakcie recenzji w czasopiśmie *Journal of Water and Land Development*). Kluczowe wnioski cytowanej pracy przedstawiono w podrozdziałach 3.5.1 i 3.5.2.

3.5.1. Struktura atrybutowa

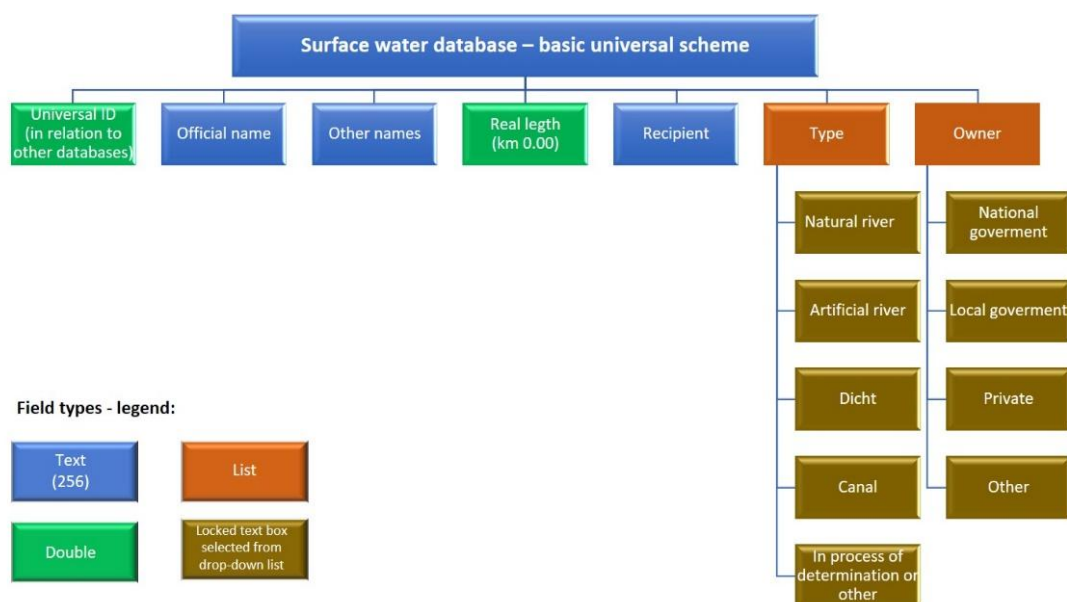
Utworzenie funkcjonalnej struktury atrybutowej jest kluczowym elementem dla dobrze funkcjonującej bazy danych, wielokrotnie pozostając subiektywną kwestią administratora bazy. W celu dostosowania uniwersalnego zakresu atrybutów wykorzystano doświadczenie własne

(proponując do badania ankietowego główne kryteria), a następnie doświadczenie specjalistów gospodarki wodnej – pracowników Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie. Odpowiedzi zebrano w 2024 roku od 93 uczestników zamieszkałych na terenie całej Polski, głównie w województwie śląskim. W związku z tym na opinie dotyczące struktury bazy danych wód powierzchniowych nie wpływają w istotnym stopniu lokalne warunki hydrograficzne ani historyczne.

W odpowiedzi na pytanie: *Które informacje są najważniejsze dla opisu konkretnego ciek w wodnego i powinny być obowiązkowe w powstającej bazie danych?* (Skala: 0 – niepotrzebne; 6 – bardzo potrzebne), przedstawiono następujące możliwości wyboru:

- Oficjalna nazwa ciek,
- Alternatywne nazwy (używanie kolokwialnie lub w innych ewidencjach),
- Rząd ciek,
- Recypient (nazwa odbiornika),
- Charakter ciek (woda powierzchniowa + rodzaj i numer odpowiedniego dokumentu, niepewny, inny)
- Podmiot odpowiedzialny za utrzymanie,
- Data ostatniej aktualizacji,
- Uwagi (aktualne problemy związane z danym ciekiem).

W oparciu o uzyskane wyniki badania ankietowego zaproponowano schemat bazy danych wód powierzchniowych, która będzie mogła pełnić funkcję ewidencji (Ryc. 21). Zaznaczyć należy, że w polu długości powinna być podana długość zgodnie z informacją terenową w kilometrach (w formacie 0.00), gdyż będzie ona różna od długości polilinii reprezentującej ciek (z uwagi na przekształcenia związane z rzeźbą terenu przy przeliczaniu długości za pomocą algorytmu).



Ryc. 21: Proponowany schemat atrybutowy warstwy cieków. Źródło: Janczewska i in.: *Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing* (w trakcie recenzji).

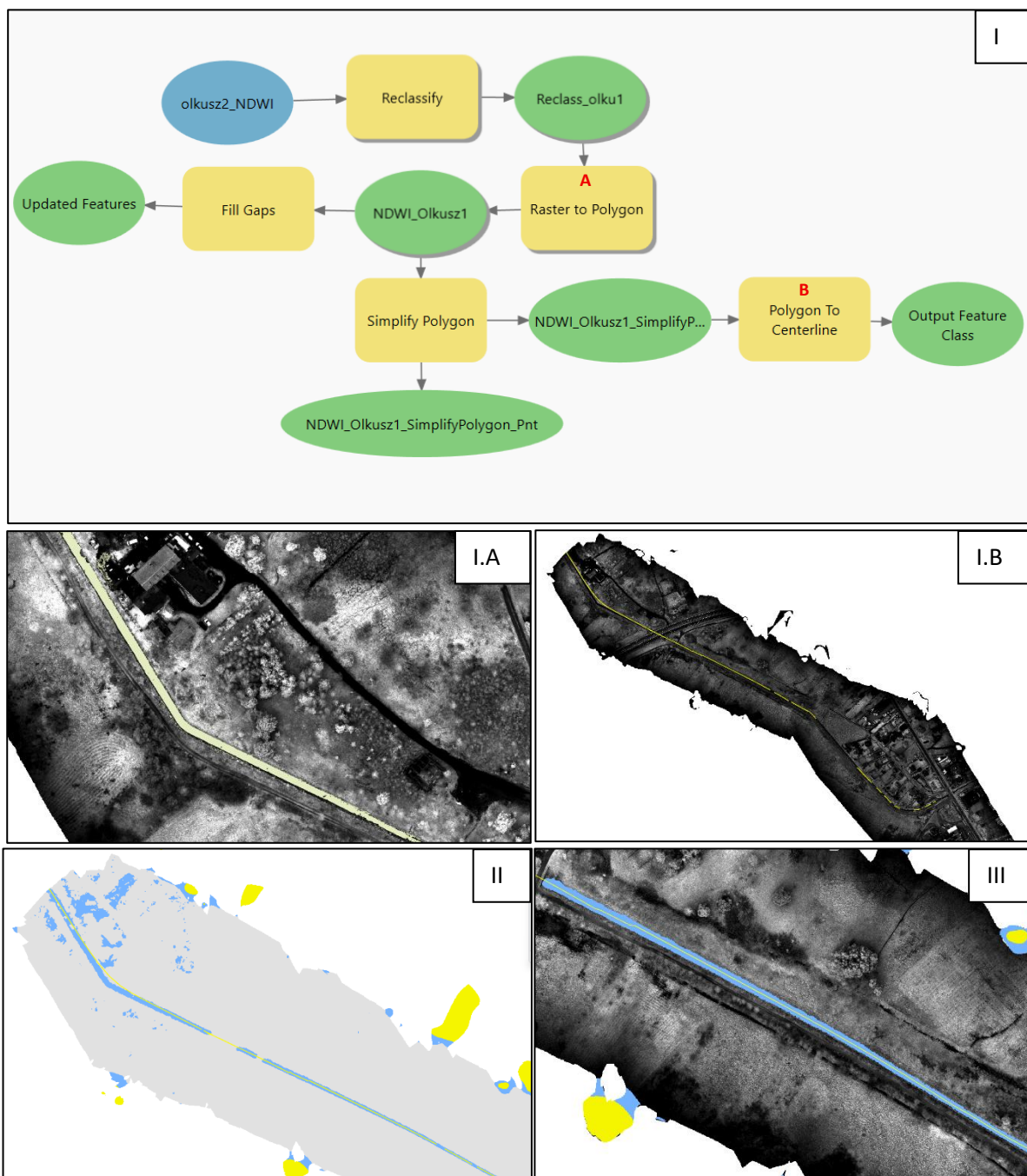
3.5.2. Zdalna detekcja aktualnego przebiegu sieci hydrograficznej – schemat przetwarzania

Po utworzeniu struktury atrybutowej kolejnym krokiem jest prawidłowe zdefiniowanie geometrii obiektów. Opierając się na uzyskanych wcześniej wynikach stwierdzono, że weryfikacja przebiegu koryta cieków w oparciu o DTM/DEM nie jest efektywna w obszarze gęsto porośniętym roślinnością (liczne artefakty – przewyższenia lub brak możliwości wyodrębnienia punktów reprezentujących grunt). Ogólnie jednak stosując odpowiednią symbolizację łatwo wyodrębnić najniższe położone punkty względem otoczenia, a więc te reprezentujące przebieg koryta czy zbiorniki wodne. Z kolei wskaźnik NDWI charakteryzuje się wysoką skutecznością w przenikaniu sygnału przez pokrywę roślinną, co umożliwia precyzyjną identyfikację zbiorników wodnych występujących w obrębie obszarów porośniętych roślinnością. Stosując uzupełniającą obie metody można zatem z dużą dokładnością wskazać na faktyczny przebieg sieci hydrograficznej. DEM lub DTM daje ogólny obraz terenu, a NDWI pomaga wyodrębnić czy dane obniżenie stanowi obiekt hydrograficzny (tj. czy w obniżeniu występują wody powierzchniowe). W wyniku opisywanej w rozdziale 3.2.2. wielokryterialnej analizy przestrzennej zweryfikowano zbieżność danych teledetekcyjnych, przetworzonych przy użyciu wskaźnika NDWI. Badania wykazały, że wygenerowane na tej podstawie obszary pokryte wodami zlokalizowane były w tych samych polach podstawowych, w których występowanie wód powierzchniowych wskazywały porównywane bazy danych. Dane teledetekcyjne są zatem wiarygodnym źródłem informacji, dlatego opierając się na prowadzonych badaniach przyjęto

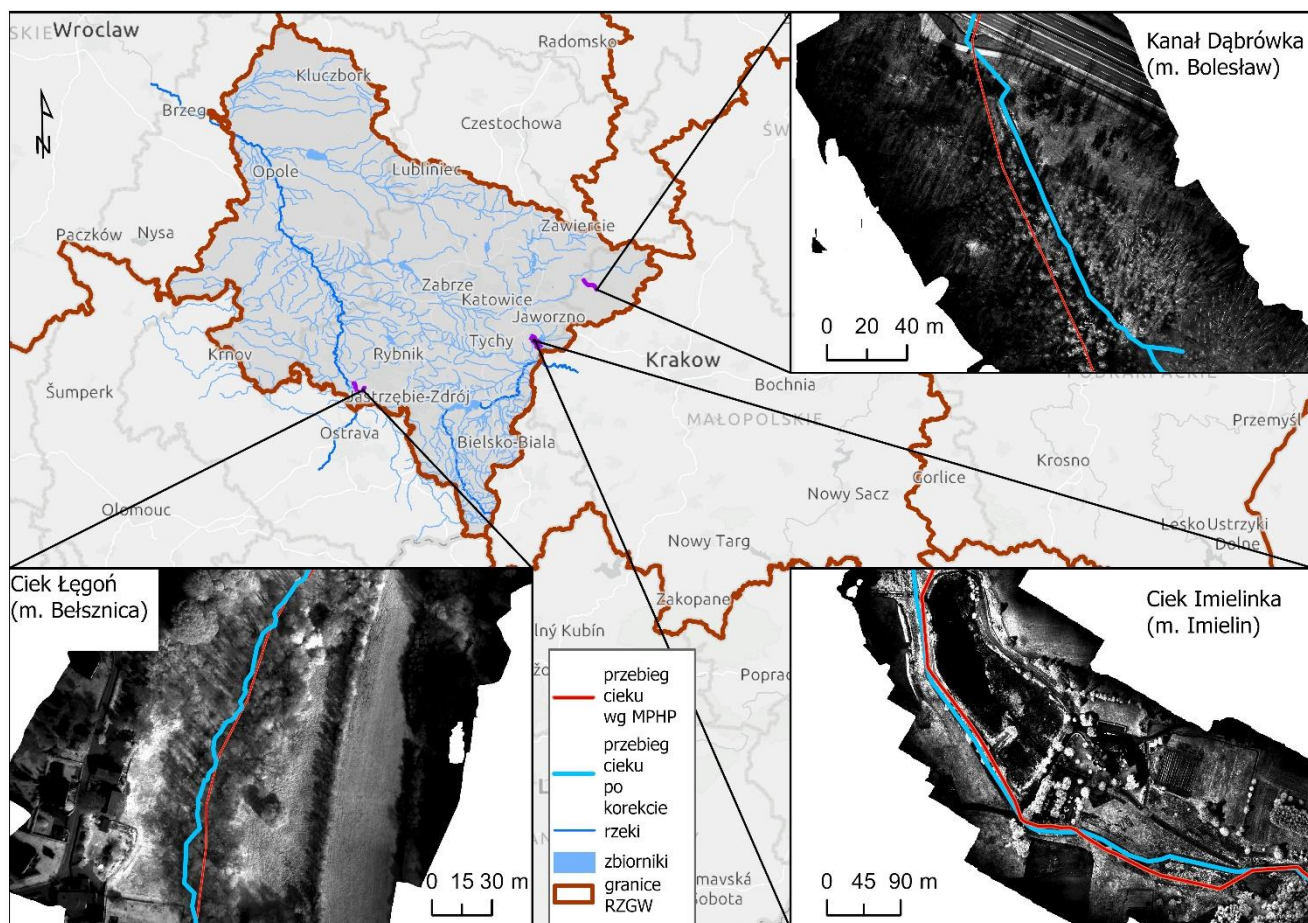
następujący schemat przetwarzania obrazu fotogrametrycznego na dane wektorowe o sieci hydrograficznej (Ryc. 22):

- Utworzenie ortofotomozaiki ze zdjęć pozyskanych w spektrum Green oraz w spektrum NIR.
- Przetworzenie ortofotomozaiek w oparciu o wskaźnik NDWI.
- Reklasyfikacja ortofotomozaiki NDWI (równe przedziały w interwale 0,1).
- Przetworzenie rastra na poligon (klasy reprezentujące wartości NDWI > 0).
- Uproszczenie poligonu reprezentującego zasięg rzeki i jego przetworzenie na linię.
- Weryfikacja przy pomocy DEM w interwale co 0,5 m najniższych punktów terenu (koryta cieków) – od ujścia w dół rzeki.

W oparciu opracowaną metodykę oprócz cieków Imielinka z powodzeniem wykonano naloty fotogrametryczne niskiego pułapu (średnio ~108 m nad poziomem gruntu) i w efekcie zwektoryzowano również przebieg cieków Łęgoń (zlokalizowanego w południowo-zachodniej części obszaru badań, w powiecie raciborskim, woj. śląskie) oraz Kanału Dąbrówka (zlokalizowanego w północno-wschodniej części obszaru badań, w powiecie olkuskim, woj. małopolskie) (Ryc. 23).



Ryc. 22: I – schemat postępowania dla przetworzenia zobrażenia NDWI w celu automatycznego wytworzenia informacji o sieci hydrograficznej. I.A – efekt wykorzystania narzędzia raster to polygon – zasięg rzeki w postaci wektorowego poligonu. I.B – efekt wykorzystania narzędzia Polygon to centerline – wytworzenie linii obrazującej przebieg cieku w oparciu o wygenerowany poligon reprezentujący zasięg rzeki. II – zmiana symbolizacji DEM w taki sposób, że widoczne są wyłącznie obszary reprezentujące wysokość 348 m n.p.m. III – symbolizacji DEM w taki sposób, że widoczne są wyłącznie obszary reprezentujące wysokość 348,5 m n.p.m. Źródło: Janczewska i in.: Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (złożony w czasopiśmie Journal of Water and Land Development).



Ryc. 23: Zastosowanie opracowanej metodyki zdalnej detekcji wód dla cieków: Imielinka, Łęgoń i Kanału Dąbrówka.

3.5.3. Dodatkowe dane określające charakter wód

Przeprowadzone badania pozwoliły na wskazanie optymalnej metodyki tworzenia składowych przestrzennej bazy danych, tj. struktury atrybutowej oraz informacji wektorowej o przebiegu sieci hydrograficznej. Aby baza ta stanowiła ewidencję powinna być również spójna z aktualnym systemem prawnym oraz danymi w nim funkcjonującymi, tj. zawierać tylko śródlądowe wody powierzchniowe oraz urządzenia wodne, poparte dokumentacją. W przypadku niepewności co do charakteru obiekt ten powinien stać się przedmiotem wniosku o ustalenie charakteru wód składanego do ministra właściwego ds. gospodarki wodnej (o czym szczegółowo traktuje rozdział 3.1.1). Aby minister właściwy ds. gospodarki wodnej mógł wydać decyzję określającą charakter wód potrzeba szeregu parametrów charakteryzujących ciek pod względem hydrologicznym. Jednym z nich jest wartość natężenia przepływu w cieku. Z tego powodu pomierzono przepływy chwilowe w terenie (Fot. 1) oraz proponuje się aby dane zewnętrzne łączyć w sposób relacyjny z projektowaną bazą danych poprzez funkcję agregacji z Identyfikatorem hydrograficznym cieku (w większości programów funkcja „Join and relate”).



Fot. 1: Pomiar terenowy natężenia przepływu wód w Kanale Dąbrówka przy pomocy młynka hydrometrycznego (po lewej) oraz przepływomierza profilującego ADCP (po prawej).

3.5.4. Kataster nieruchomości jako kompatybilne źródło informacji o własności i przebiegu wód powierzchniowych

Równolegle z opracowywaniem metodyki ewidencjonowania wód weryfikowano czy Ewidencja Gruntów i Budynków, będąca rejestrem funkcjonującym w polskim systemie prawnym zawiera dane, które mogą zostać wykorzystane do opracowywanej ewidencji wód. Zgodnie z treścią ustawy Prawo geodezyjne i kartograficzne (Dz.U. 2024 poz. 1151 ze zm.) grunt zajęty przez powierzchniowe wody płynące powinien stanowić odrębną działkę w granicach linii brzegowej, zaś zgodnie z Prawem wodnym (Dz.U. 2025 poz. 960 ze zm.) oraz art. 21a ustawy z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami (Dz.U. 2024, poz. 344, z późn. zm.), działka ta powinna stanowić własność Skarbu Państwa we władaniu Wód Polskich i nie podlega obrotowi cywilnoprawnemu (art. 211 i 212 Prawa Wodnego). Rozbieżności między stanem faktycznym względem stanu formalnoprawnego mają zatem prawne konsekwencje dla właścicieli nieruchomości. Jeżeli granice działki zajętej przez dany ciek nie pokrywają się z przebiegiem jego koryta należy wyznaczyć linię brzegu, do czego podstawę prawną stanowi art. 220 Prawa wodnego. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 18 sierpnia 2020 r. w sprawie technicznych standardów wykonywania pomiarów geodezyjnych sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do Państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. 2022, poz.

1670) określa dokładność pomiarów geodezyjnych punktów granicznych działek ewidencyjnych na poziomie 0,10 m oraz konturów użytkowania gruntów na poziomie 0,50 m.

W ramach przeglądu ogólnosiwiatowych źródeł sprawdzono czy w danych katastralnych udostępnianych w publicznych geoportalach można znaleźć podstawowe informacje o sieci hydrograficznej. Zweryfikowano również sposoby udostępniania (geoportal, usługa, dane wektorowe) (Tab. 7).

Tabela 7: Porównanie geoportali wybranych 12 państw w kontekście danych katastru nieruchomości

Państwo	Czy dane katastru są udostępniane na oficjalnym geoportalu (link)	Czy występuje podział na działki	Czy występuje informacja o użytkowaniu terenu	Uwagi/referencje
Słowacja	TAK https://ako.vugk.sk/#	Działki (oznaczenie cyfrowe)	Nie	Możliwość pobrania danych wektorowych
Republika Czeska	TAK https://geoportal.gov.cz/web/guest/map https://nahlizenidokn.cuzk.cz/VyberParcelu/Parcela/InformaceO	Działki (oznaczenie cyfrowe)	Tak	Dodatkowa nieprzestrzenna wyszukiwarka
Litwa	NIE https://www.geoportal.lt/map/	Nie (tylko budynki)	Tak	Tylko oznaczenie budynków
Niemcy	TAK https://www.geoportal.de/Themen/Raum_und_Lage/6_Bodenrichtwerte.html	Działki (oznaczenie cyfrowe)	Tak	Indywidualnie dla każdego landu
Austria	NIE	Nie (brak danych katastralnych w portalu)	Nie (brak danych katastralnych w portalu)	
Belgia	TAK https://www.geo.be/home?l=en	Działki (oznaczenie literowe)	Tak (osobne mapy dla danego sposobu zagospodarowania)	+ WMS i WFS https://finance.belgium.be/en/experts-partners/open-data-patrimony/datasets/cadastral-map/web-services
Kalifornia (USA)	TAK https://gis.data.ca.gov/maps/f73858e200634ca888b19ca8c78e3aed	Zgrupowane jednostki	Nie	Informacja o właścicielach
Queensland (Australia)	TAK https://qldglobe.information.qld.gov.au/?topic=property	Działki (Oznaczenie działek cyfry+litery)	Nie	

Państwo	Czy dane katastru są udostępniane na oficjalnym geoportalu (link)	Czy występuje podział na działki	Czy występuje informacja o użytkowaniu terenu	Uwagi/referencje
RPA	TAK https://csggis.drdlr.gov.za/portal/home/	Działki	Nie	ArcGIS Online
Włochy	NIE	Nie (brak danych katastralnych w portalu)	Nie (brak danych katastralnych w portalu)	
Argentyna	TAK https://carto.arba.gov.ar/cartoArba/	Działki (cyfra spacja litera)	Tak	
Indie	TAK https://indiamaps.gov.in/admin	Działki	Tak	Możliwość pobrania danych wektorowych

W 10 państwach dane katastralne są udostępniane publicznie a podział na działki ewidencyjne występuje w ośmiu z tych państw. Z kolei sposób zagospodarowania terenu występuje w połowie (6) analizowanych serwisów krajowych. Z tych geoportali może zostać zaczerpnięta informacja o sposobie użytkowania gruntów. Dane katastralne mogą być zatem pomocne w określaniu zasięgu wód powierzchniowych, ale często nie jest dostępna informacja o strukturze użytkowania gruntów.

Kataster nieruchomości w Polsce prowadzony jest na poziomie powiatu pod nazwą Ewidencja Gruntów i Budynków (EGiB), a jego podstawą prawną jest Rozporządzenie Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa w sprawie ewidencji gruntów i budynków (t.j. Dz.U. z 2024 poz. 219) (Kotlarz, 2017). Odnosząc się do zapisów tego aktu prawnego grunt zajęty przez ciek naturalny powinien stanowić odrębną działkę ewidencyjną w granicach linii brzegu. Ustawodawca podkreśla, że definicja ta dotyczy zarówno wód płynących w korycie naturalnym jak i w korycie uregulowanym – również zakrytym.

Niezależnie od granic działek w Ewidencji Gruntów i Budynków grunty klasyfikuje się w zależności od ich przeznaczenia (faktycznego sposobu użytkowania/zagospodarowania) na użytki gruntowe. Grunty pokryte śródlądowymi wodami płynącymi (art. 22 ustawy Prawo wodne) oznacza się za pomocą użytku „Wp”. Ich kontur wyznaczają *linie brzegów cieków naturalnych, jezior oraz innych naturalnych zbiorników wodnych, a w przypadku kanałów lub sztucznych zbiorników wodnych usytuowanych na wodach płynących - zewnętrzne krawędzie tych kanałów lub zbiorników* (Dz.U. 2021 poz. 1412). W klasyfikacji gruntowej oddzielnie określa się grunty pokryte wodami stojącymi (Ws) oraz grunty zajęte przez rowy (W).

Tak sformułowane przepisy są podstawą do stwierdzenia wysokiej wiarygodności Ewidencji Gruntów i Budynków (dalej: EGiB), a co za tym idzie przyjęcia, że granice działek będących własnością Skarbu Państwa, dla których określony został sposób użytkowania gruntu jako grunt pod wodami śródlądowymi płynącymi (Wp), odzwierciedlają z geodezyjną precyzją przebieg wszystkich wód płynących na terenie Polski. Z tego powodu dane EGiB powinny być całkowicie zbieżne z krajową bazą danych wód powierzchniowych.

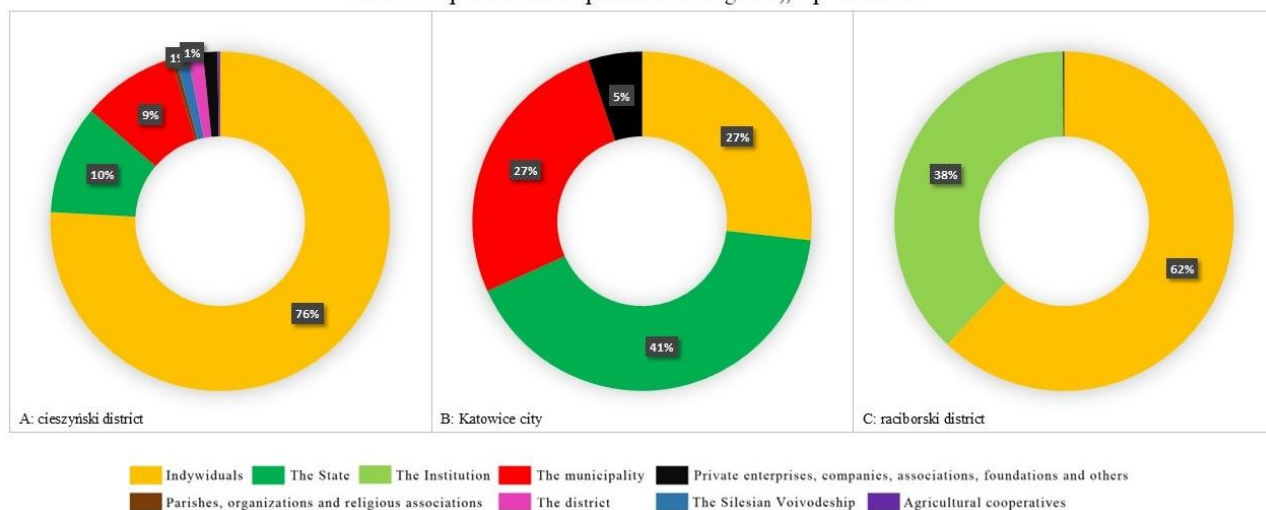
Dane literaturowe poddają jednak w wątpliwość wiarygodność EGiB w odniesieniu do prawidłowego określania zasięgu wód płynących, które wg A. Biedy i R. Hycnera (2012) zarówno nie płyną w granicach działek ewidencyjnych jak i często są błędnie określane użytkowaniem np. *W* (rowy) czy *Ws* (wody stojące). Główną genezą takich rozbieżności są materiały źródłowe wykorzystane do opracowania danych. Poza obszarami objętymi nowymi pomiarami opartymi na aktualnym użytkowaniu gruntów, wykorzystywano również materiały kartograficzne pochodzące jeszcze z czasów zaborów. W przypadku dawnego katastru pruskiego podstawowym źródłem były mapy oryginalne i pierworisy z lat 1861–1865 (Pietrzak, 2017). Aby zweryfikować poprawność danych EGiB w zakresie wód powierzchniowych oraz kwestii własnościowych gruntów pod nimi położonych, porównano strukturę własnościową oraz liczbę działek, na których występują wody płynące (wg EGiB jak i według MPHP 10k). Z analizy tej wynika, że w przypadku powiatu cieszyńskiego i Katowic tylko 1/3 działek stanowi własność Skarbu Państwa. Przeważający odsetek właścicieli działek pokrytych wodami stanowią osoby fizyczne (58% w powiecie cieszyńskim i 33% w Katowicach). W przypadku Katowic 26% działek pokrytych wodami stanowi własność miasta (Tabela 8, Ryc. 24). Z kolei tabela 9 prezentuje niewielki odsetek działek dla których wyznaczono linię brzegu

Tabela 8: Informacje ogólne o liczbie działek wg zadanych kryteriów w poszczególnych powiatach

Powiat	Liczba wszystkich działek	Liczba działek, na których występuje użytek „Wp”....			Liczba działek, którą przecina jeden z cieków wyróżnionych wg MPHP...					Liczba działek na których występuje użytek „Wp” i przecina je warstwa rowów wg BDOT
		ogółem	..i jest własnością Skarbu Państwa	..i nie jest własnością Skarbu Państwa	ogółem	...i występuje na nich użytek „Wp”	...i nie występuje na nich użytek „Wp”	..i jest własnością Skarbu Państwa	..i nie jest własnością Skarbu Państwa	
Cieszyński	155 255	19 086	5362	13 724	6321	4652	1669	2272	4049	2339
Katowice	81 047	3014	1249	1765	1347	1085	262	787	560	288

Powiat	Liczba wszystkich działek	Liczba działek, na których występuje użytek „Wp”....			Liczba działek, którą przecina jeden z cieków wyróżnionych wg MPHP...					Liczba działek na których występuje użytek „Wp” i przecina je warstwa rowów wg BDOT
		ogółem	..i jest własnością Skarbu Państwa	..i nie jest własnością Skarbu Państwa	ogółem	...i występuje na nich użytek „Wp”	...i nie występuje na nich użytek „Wp”	..i jest własnością Skarbu Państwa	..i nie jest własnością Skarbu Państwa	
Raciborski	72 465	4522	2433	2089	1426	713	713	843	583	841

Ownership structure of plots with assigned „Wp” land use



Ryc. 24: Struktura własnościowa działek, które zgodnie z EGiB są pokryte wodami płynącymi – występuje użytek „Wp” (i powinny być własnością Skarbu Państwa). Źródło: Janczewska i in., 2025a.

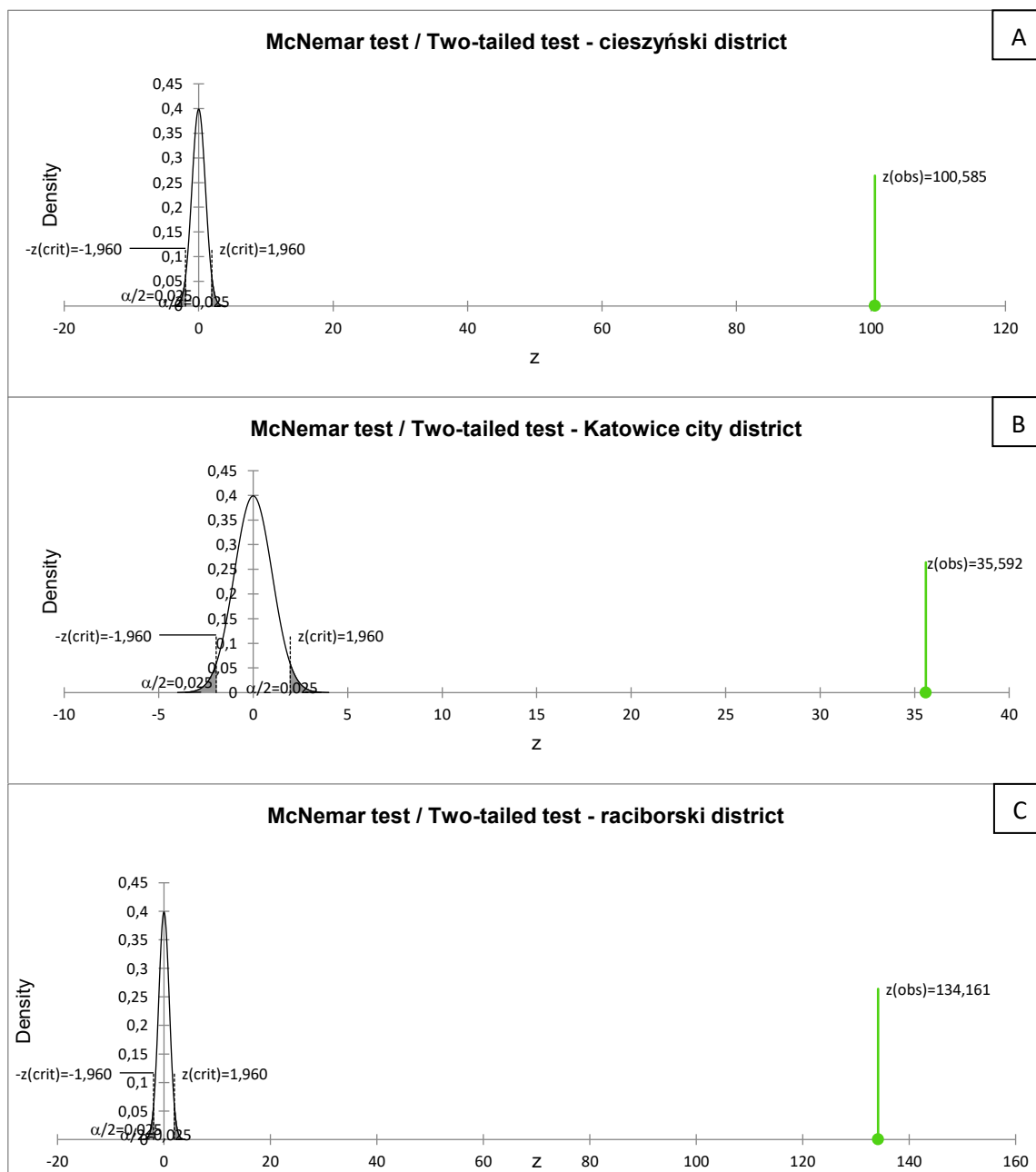
Tabela 9: Informacje dotyczące działek, dla których została wyznaczona linia brzegu...

Powiat	Liczba wszystkich działek	Liczba działek, dla których wyznaczona została linia brzegu...				
		ogółem	...i występuje na nich użytek „Wp”	...i nie występuje na nich użytek „Wp”	...i wg BDOT występuje rów	...i wg MPHP występuje ciek
Cieszyński	155 255	16	15	7	1	3
Katowice	81 047	17	17	0	0	12
Raciborski	72 465	3	3	0	1	3

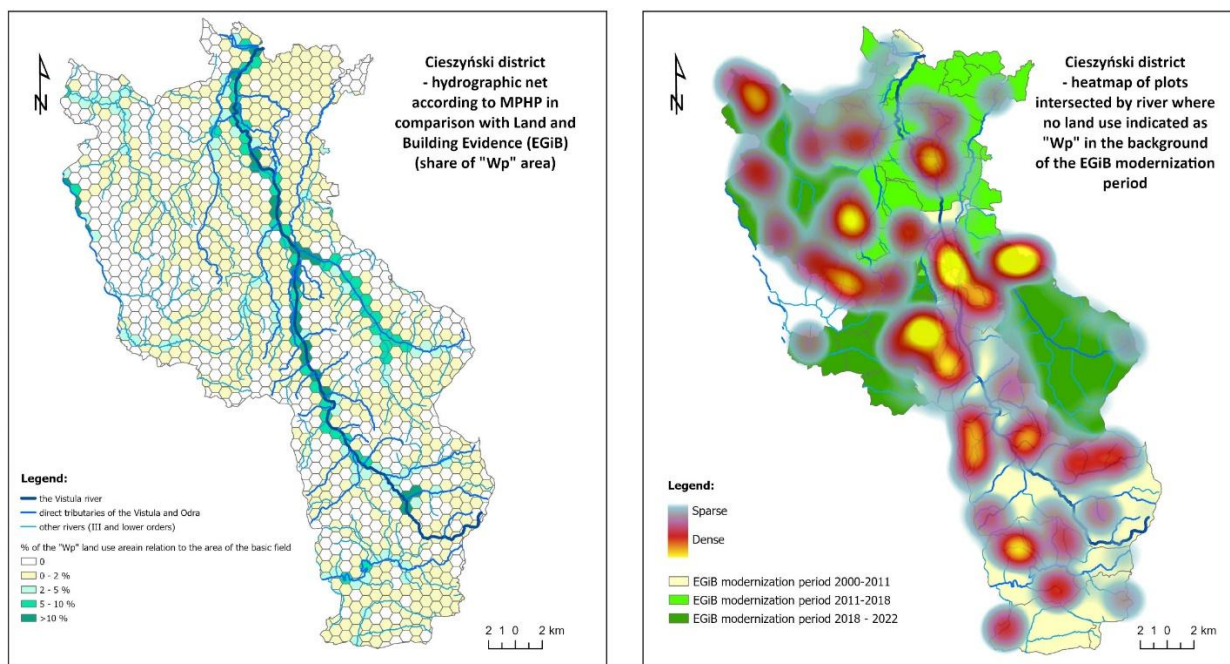
Określenie gruntu użytkowiem „Wp” oznacza, że jest to grunt pokryty śródlądowymi wodami płynącymi. Z tego powodu na działkach, na których występuje to oznaczenie gruntu powinien występować ciek. Przyjęto hipotezę zerową, że na wszystkich działkach oznaczonych jako grunt zajęty przez wody płynące („Wp”) występuje ciek. W celu weryfikacji tej hipotezy porównano najbardziej aktualną polską bazę wód powierzchniowych – MPHP 10k (wersja z kwietnia 2023 r.). Wyselekcjonowano działki, które przecina ciek oraz porównano je z działkami, na których występuje użytek „Wp”. W przypadku każdego z powiatów statystyczna miara prawdopodobieństwa uzyskania zaobserwowanych wyników ($p\text{-value} < 0,0001$) była niższa niż wartość poziomu istotności statystycznej ($\alpha = 0,050$), co wiąże się z koniecznością odrzucenia hipotezy zerowej. Uzyskany wynik sugeruje zatem, że nie na wszystkich działkach oznaczonych użytkowiem „Wp” faktycznie występują wody powierzchniowe. Wartością statystyczną wyrażającą o ile odchylen standardowych średnia z próby różni się od oczekiwanej średniej populacji hipotezy zerowej jest z -obserwowane. Wartość ta służy określeniu, czy obserwowana różnica między próbą a oczekiwaną średnią z populacji jest prawidłowa. Uwagę zwraca niska wartość z – obserwowanego w przypadku Katowic, gdzie jedynie 19,5% działek, na których występuje użytek Wp nie były zajęte przez ciek wg MPHP oraz na wysoką wartość z - obserwowanego w przypadku powiatu raciborskiego, gdzie było to dokładnie 50% (Ryc. 25). Należy zaznaczyć, że różnica wartości pomiędzy Katowicami a pozostałymi powiatami wynika z faktu, że w powiecie cieszyńskim i raciborskim płyną duże rzeki (Wisła i Odra), których szerokie koryto może obejmować kilka działek, zaś warstwą referencyjną MPHP 10k była warstwa liniowa (nieodzwierciedlająca szerokości rzeki).

Przy pomocy analizy multikryterialnej zbadano przestrzenny rozkład rozbieżności. W przypadku Katowic w każdym polu podstawowym zlokalizowanym pod ciekami występuje grunt pod wodami płynącymi. W powiecie cieszyńskim najczęściej nie są oznaczone grunty pod wodami płynącymi w obszarach źródłowych cieków II rzędu (w tym ciekach o długości ponad 15 km jak np. Brennica, Bajerka) oraz w całości pod ciekami niższego rzędu (np. Pruchnianka, Bobrówka z dopływami) (Ryc. 26, 27). W Katowicach najwięcej działek przeciętych przez ciek, na których nie wskazano sposobu użytkowania jako wody płynące występuje w górnym odcinku Kłodnicy (teren Zespołu przyrodniczo krajobrazowego „Źródła Kłodnicy”). Część tych działek występuje również w środkowym odcinku Rawy (ujście Potoku Leśnego oraz obszar śródmieścia) (Ryc. 27). W przypadku powiatu cieszyńskiego działki pod ciekami, nieoznaczone jako grunt pod wodami płynącymi są rozproszone. Zauważyć można, że rozbieżności te występują zarówno w obrębach, które podlegały dawno modernizacji EGiB (lata 2000 – 2011) jaki w obrębach niedawno zmodernizowanych (w okresie 2018 -2022) (Ryc. 26). Okres modernizacji EGiB nie jest powiązany z działkami

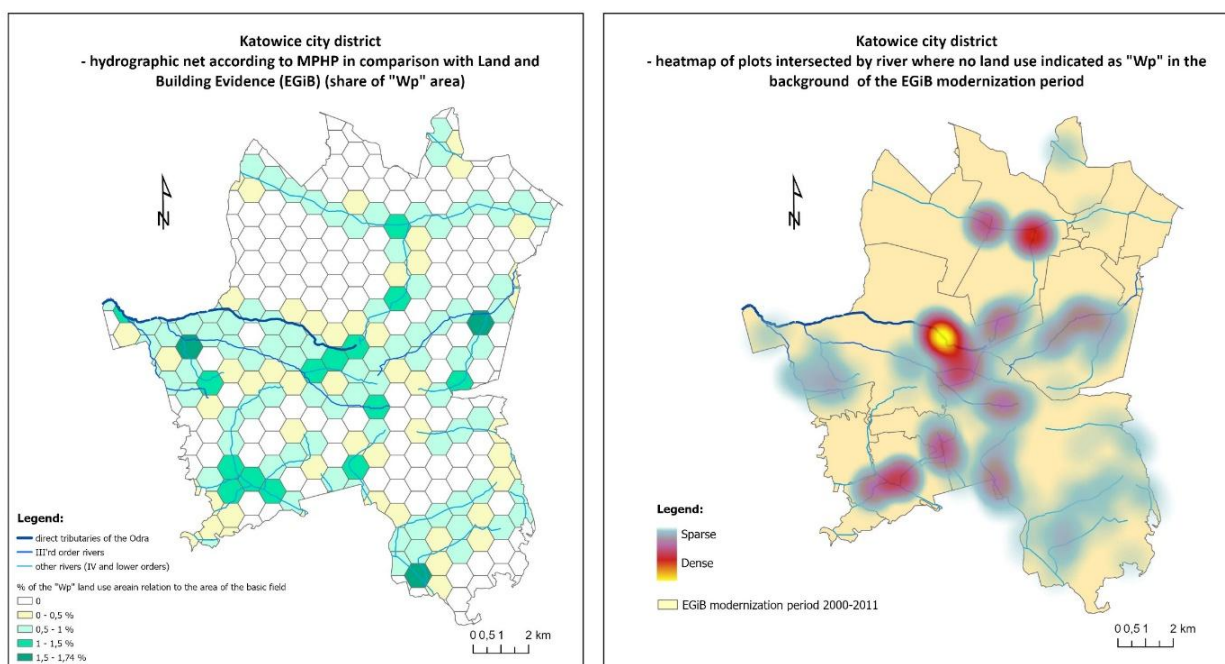
w północno-zachodniej części powiatu raciborskiego, gdzie najwięcej działek, na których występuje ciek a nie występuje użytek „Wp” zlokalizowanych jest w obrębie cieków II i III rzędu (Ryc. 28). Warto zwrócić uwagę, że w powiecie raciborskim dokładnie na połowie działek (713 działek) na których wg MPHP występuje ciek nie występuje użytek „Wp”.



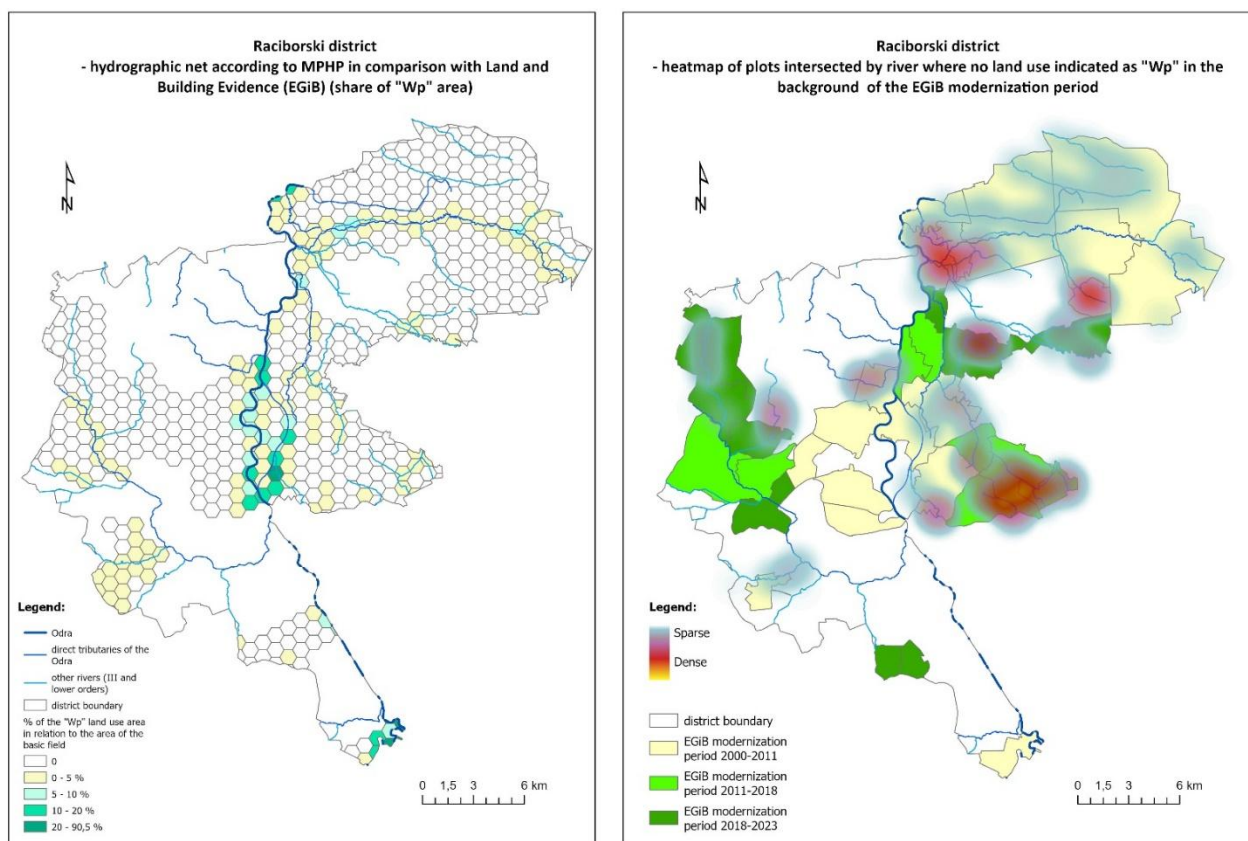
Ryc. 25 A-C: Rozkład obserwacji w teście McNemara w powiecie cieszyńskim (A), mieście Katowice (B) i powiecie raciborskim (C). Źródło: Janczewska i in., 2025a.



Ryc. 26: Po prawej mapa skupień działek w powiecie cieszyńskim, na których wg MPHP 10 występuje ciek a nie są oznaczone w EGiB jako grunt pokryty wodami powierzchniowymi (użytek „Wp”). Po lewej cieki wg MPHP 10 na tle udziału gruntów pokrytych wodami płynącymi („Wp”) w powierzchni pola podstawowego na terenie powiatu cieszyńskiego. Źródło: Janczewska i in., 2025a.



Ryc. 27: Po prawej mapa skupień działek w mieście Katowice, na których wg MPHP 10 występuje ciek a nie są oznaczone w EGiB jako grunt pokryty wodami powierzchniowymi (użytek „Wp”). Po lewej cieki wg MPHP 10 na tle udziału gruntów pokrytych wodami płynącymi („Wp”) w powierzchni pola podstawowego na terenie miasta Katowice. Źródło: Janczewska i in., 2025a.



Ryc. 28: Po prawej mapa skupień działek w mieście Katowice, na których wg MPHP 10 występuje ciek a nie są oznaczone w EGiB jako grunt pokryty wodami powierzchniowymi (użytek „Wp”). Po lewej ciek wg MPHP 10 na tle udziału gruntów pokrytych wodami płynącymi („Wp”) w powierzchni pola podstawowego na terenie powiatu raciborskiego. Źródło: Janczewska i in., 2025a.

W oparciu o przeprowadzone badania należy stwierdzić, że dane zgromadzone w katastrze nieruchomości zawierają liczne błędy. Każda z badanych różnic wg testu McNemara okazała się istotna statystycznie, co pozwala na sformułowanie wniosków uniwersalnych dla każdego powiatu:

- nie na każdym terenie, który w EGiB został oznaczony jako grunt pod śródlądowymi wodami płynącymi (użytek „Wp”) faktycznie występują śródlądowe wody płynące,
- nie każdy teren, przez który faktycznie przepływa ciek został oznaczony jako grunt pod śródlądowymi wodami płynącymi (użytek „Wp”),
- nie każda działka, na której występują śródlądowe wody płynące (ciek wodny bądź użytek „Wp”) stanowi własność Skarbu Państwa, a ponad 30% takich działek stanowi własność osób prywatnych, co jest niezgodne z przepisami polskiego prawa.

Analiza przestrzenna wykazała z kolei, że:

- nieprawidłowości dotyczące kwestii własnościowych jak i sposobu użytkowania gruntu występują również na obszarach gdzie modernizacja Ewidencji Gruntów i Budynków była przeprowadzana najpóźniej,

- spośród badanych powiatów najmniej rozbieżności wystąpiło w Katowicach – na obszarze gęstej zabudowy najbardziej ubogiej spośród badanych sieci hydrograficznej, gdzie modernizacja EGiB miała miejsce w latach 2001 – 2011. Jest to też powiat o najmniejszej powierzchni spośród badanych, gdzie dla największej liczby działek została wyznaczona linia brzegu. Kluczową kwestią redukującą rozbieżności w EGiB jest zatem wykrywanie działek i obszarów wymagających regulacji oraz bieżące podejmowanie działań prawno-administracyjnych,
- własnością Skarbu Państwa jest znacznie więcej działek, na których występuje ciek (odnosząc się do bazy MPHP) w stosunku do liczby działek, na których występuje użytk „Wp”. Taka zależność dowodzi oznaczania terenów, na których nie występują śródlądowe wody płynące w rozumieniu prawa (występuje woda w rowie bądź innym urządzeniu wodnym) błędnie jako grunty nimi pokryte,
- błędne oznaczenie gruntów pod rowami użytkow „Wp” - nie jest jednak główną przyczyną występujących rozbieżności,
- znacznie więcej działek wymagających regulacji kwestii własnościowych zlokalizowanych jest pod wąskimi korytami cieków (cieki III i niższych rzędów), większość działek wewnątrz koryt dużych cieków (Odry, Wisły) stanowi własność Skarbu Państwa,
- w obrębie dużych rzek najwięcej działek o nieuregulowanym stanie prawnym występuje w obrębie zewnętrznych granic koryta. Regulacja stanu prawnego oraz aktualizacja EGiB nie jest więc na bieżąco przeprowadzana w miarę dynamicznych zmian zasięgu koryt co jest charakterystyczne dla górnych odcinków cieków,
- w każdym z powiatów wiele gruntów pod odcinkami źródłowymi cieków nie zostało oznaczonych jako grunt pod śródlądowymi wodami płynącymi (za wyjątkiem terenów leśnych w obszarach źródłowych większość działek nie stanowi własności Skarbu Państwa),

Całość badań, z których kluczowe wnioski zaprezentowano w tym podrozdziale, przedstawiona została w artykule pt. *Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study* (Janczewska i in., 2025a). Wielkość wykrytych tam nieprawidłowości pozwala stwierdzić, że dane katastru nieruchomości nie mogą stanowić podstawy do tworzenia innych rejestrów bądź baz danych jak np. przestrzenna ewidencja wód. Ewidencja Gruntów i Budynków w zakresie gruntów pokrytych wodami może zatem stanowić materiał pomocniczy w procesie aktualizacji baz danych wód powierzchniowych, lecz nie może być referencyjnym źródłem informacji.

Przeprowadzone badania wykazały, że nie jest możliwe wykorzystanie EGiB do tworzenia i aktualizowania ewidencji wód, a raczej jest to kolejna baza, która powinna być z tą ewidencją kompatybilna i stąd wymaga kompleksowej interwencji. Z kolei zaproponowana w rozdziale 3.2.2. przestrzenna analiza wielokryterialna zastosowana dla większej skali stanowi podstawę metodyczną, którą powiatowe Wydziały Geodezji i Kartografii mogą zastosować do weryfikacji zgodności danych EGiB, czy to z bazami danych wód powierzchniowych, czy to z danymi wygenerowanymi np. na podstawie niskopułapowych zobrażeń lotniczych.

3.5.5. Mapa interaktywna

Końcowym etapem było stworzenie roboczych warstw i przestrzeni do ich modyfikacji w czasie rzeczywistym przez wielu użytkowników, z jednoczesną możliwością wizualizacji uzyskanych wyników. W tym celu wykonano mapę interaktywną wykorzystując infrastrukturę ESRI ArcGIS Enterprise. Jest to platforma wykorzystywana również przez PGW Wody Polskie pozwalająca na publikację i edycję danych przestrzennych w czasie rzeczywistym w instytucji, zachowując jednocześnie poufność tychże danych. Aplikację wykonano wykorzystując narzędzie InstantApp (Ryc. 29).



Ryc. 29: Zrzut ekranu aplikacji umożliwiającej edycję obiektów w czasie rzeczywistym przez wielu edytorów.

Przy jej pomocy każdy użytkownik w instytucji może edytować geometrię oraz atrybuty warstwy „ewidencja_wod_line”. Struktura atrybutowa warstwy jest zgodna ze schematem przedstawionym na Ryc. 21. Szczegółowe założenia aplikacji zawarto z kolei w instrukcji ewidencjonowania wód. Dla potrzeb niniejszej pracy aplikację udostępnia się przy pomocy ArcGIS Online dla Uniwersytetu Śląskiego pod linkiem:

<https://us-wnp.maps.arcgis.com/apps/instant/webeditor/index.html?appid=e8a0f013f97445d4bbec4f0cc1814578>.

4. Podsumowanie i wdrożenie

W omówieniu najważniejszych wyników pracy przedstawiono etapy niezbędne do opracowania metodyki ewidencjonowania śródlądowych wód powierzchniowych z wykorzystaniem technologii teledetekcyjnych oraz narzędzi GIS. Kluczowe elementy tej metodyki obejmują:

- weryfikację rozbieżności pomiędzy bazami danych,
- systematyczne wykorzystanie danych teledetekcyjnych (pozyskanych przy pomocy UAV), przetworzonych za pomocą narzędzi GIS do aktualizacji sieci hydrograficznej,
- opracowanie spójnej bazy danych o uproszczonej strukturze atrybutowej, opartej na interoperacyjności i relacyjności.

Prace badawcze oraz wdrożeniowe przeprowadzono w trzech fazach:

Faza I – badanie aktualnego stanu i weryfikacja błędów

Punktem wyjścia była analiza zapisów prawa oraz zidentyfikowanie problemu braku spójnych i aktualnych danych hydrograficznych w istniejących bazach państwowych. Zastosowano w tym celu metody kwerendy oraz autorskie metody badania rozbieżności oparte o analizę multikryterialną (Ryc. 8), metody statystyczne (Ryc. 7) oraz siatkę referencyjną (Ryc. 6). Przeprowadzone badania i analizy umożliwiły kompleksową ocenę jakości istniejących w Polsce baz danych hydrograficznych (MPHP, BDOT, EM, EGiB) w kontekście wymogów wynikających z ustawy Prawo wodne. Wykazano, że bazy te zawierają liczne rozbieżności w zakresie nazewnictwa, długości i przebiegu cieków. Żadna z baz, tj. MPHP, BDOT, EM, EGiB, nie może być traktowana jako w pełni referencyjna z uwagi na brak spójności. W badaniach nad Ewidencją Gruntów i Budynków stwierdzono poważne nieprawidłowości zarówno w oznaczeniach terenów pod wodami płynącymi (użytek „Wp”), jak i w zakresie własności gruntów. Ponad 30% działek, na których faktycznie występują wody płynące, pozostaje własnością prywatną, co jest sprzeczne z przepisami prawa. Analiza przestrzenna potwierdziła, że rozbieżności mają charakter systemowy i dotyczą zarówno terenów źródliskowych, jak i dużych rzek, gdzie szczególnie w zewnętrznych granicach koryt obserwuje się brak właściwych regulacji prawnych. Konieczna jest harmonizacja przepisów oraz integracja danych katastralnych z bazami hydrograficznymi. Mimo że Ewidencja Gruntów i Budynków jest najbardziej aktualnym źródłem informacji o gruntach pokrytych wodami, analiza ujawniła poważne rozbieżności w stosunku do danych hydrograficznych z MPHP i BDOT.

Finalnym efektem tej fazy było zdefiniowanie zakresu ewidencji wód (wody powierzchniowe w rozumieniu prawnym) oraz opracowanie rekomendacji w zakresie wykorzystania danych prezentujących pokrycie terenu wodami zależnie od kryterium celu i typu analiz (Ryc. 10).

Faza II – testowanie metod zdalnej detekcji wód

Testowanie metod teledetekcyjnych – w tym wykorzystanie wskaźnika NDWI, danych LiDAR, klasyfikacji nadzorowanej oraz nalogów UAV – potwierdziło ich wysoką skuteczność w wykrywaniu oraz aktualizowaniu zasięgu wód powierzchniowych. Zastosowanie przestrzennej analizy wielokryterialnej umożliwiło ocenę zgodności różnych baz danych z rzeczywistym pokryciem terenu.

Opis metod, wraz z modelami ich zastosowania zawarte zostały w rozdziale 3.3. Z kolei w rozdziale 3.4. dokonano ich optymalizacji tj. porównania wyników końcowych z danymi pomierzonymi w terenie, zarówno w zakresie pułapów pozyskiwania danych, jak i wyników ich przetwarzania. Badania wykazały, że wskaźniki spektralne oraz dane LiDAR charakteryzują się dużą precyzją w wykrywaniu i aktualizowaniu przebiegu sieci hydrograficznej, a naloty przy pomocy UAV umożliwiają szybkie pozyskiwanie danych o wysokiej rozdzielczości. Kończącym osiągnięciem tej fazy było określenie schematu wyboru najbardziej optymalnej metody w zależności od danych wejściowych oraz elementu sieci hydrograficznej, który ma zostać automatycznie wygenerowany (Ryc. 20). Z kolei głównym efektem był wybór zoptymalizowanych metod dla utworzenia ewidencji wód, co oparto na klasyfikacji gruntu na podstawie chmury punktów wytworzonej poprzez skanowanie laserowe (LiDAR) oraz zastosowanie wskaźnika NDWI.

Faza III – Wdrożenie

Oprócz zoptymalizowanej metodyki zdalnej detekcji wód, w kontekście ich ewidencjonowania, ważna jest struktura atrybutowa oraz kompatybilność z przepisami prawa, jak i finalna implementacja. Z tego powodu w ostatniej fazie na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano strukturę atrybutową (Ryc. 21) oraz schemat pozyskania i przetwarzania danych teledetekcyjnych w celu utworzenia warstwy będącej główną prezentacją ewidencji (Ryc. 22).

Opracowana metodyka zapewnia optymalizację i wysoką elastyczność w wykrywaniu wód powierzchniowych. Metoda jest możliwa do wdrożenia w praktyce administracyjnej, dlatego opisano ją w postaci instrukcji (Załącznik 10).

Dla skutecznego działania systemu ewidencji wód wskazane jest:

- wyposażenie administracji w sprzęt UAV (np. drony z kamerami multispektralnymi),
- rozwój procedur aktualizacji danych hydrograficznych,
- szkolenia pracowników w zakresie GIS i teledetekcji,
- integracja bazy danych wód z innymi rejestrami przestrzennymi (np. kataster nieruchomości).

Wyżej wymienione działania były przedmiotem prac wdrożeniowych mających miejsce równocześnie z prowadzonymi pracami badawczymi. Głównymi przedsięwzięciami w zakresie prac wdrożeniowych były:

1. Identyfikacja przestrzenna problematycznych obiektów (na podstawie danych zebranych z jednostek terenowych PGW WP RZGW w Gliwicach) – podsumowanie przedstawiono Dyrektorowi RZGW w Gliwicach w Raporcie nr 1/2022 (Załącznik 11).
2. Zwiększenie wykorzystania Geograficznych Systemów Informacyjnych i produktów fotogrametrycznych w Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gliwicach oraz całej instytucji PGW Wody Polskie poprzez:
 - a. Koordynację szkoleń w zakresie QGIS oraz oprogramowania ESRI (co potwierdza opinia Opiekuna Pomocniczego – ówczesnego Dyrektora RZGW w Gliwicach, stanowiąca Załącznik nr 12).
 - b. Koncepcję, zainicjowanie, nadzór nad powstaniem i udostępnieniem aplikacji interaktywnych:
 - Mapa działek znajdujących się na obszarach zagrożenia powodziowego 1% (na terenie gmin poszkodowanych w wyniku powodzi we wrześniu 2024 r.): <https://appgis.wody.gov.pl/portal/apps/instant/basic/index.html?appid=4590c2894495475e9b7e69e8b6478893>;
 - Aplikacja służąca identyfikacji nielegalnych obiektów budowlanych wokół zbiornika Pławniowice (aplikacja wewnętrzna);
 - Aplikacja służąca weryfikacji nielegalnych wylotów (aplikacja wewnętrzna);
 - c. Wykorzystanie opracowań numerycznych powstałych w wyniku nalogów fotogrametrycznych we wnioskowaniu o ustalenie charakteru wód.

Powyższe potwierdza opinia Opiekuna Pomocniczego stanowiąca Załącznik nr 13.

Opracowana metodyka ma potencjał, aby stać się narzędziem referencyjnym w krajowej gospodarce wodnej, służąc poprawie spójności danych, ich aktualności oraz efektywności zarządzania środowiskiem wodnym.

5. Bibliografia

Literatura

1. Absalon D., Matysik M., Woźnica A., Janczewska N., 2023: Detection of changes in the hydrobiological parameters of the Oder River during the ecological disaster in July 2022 based on multi-parameter probe tests and remote sensing methods. *Ecological Indicators*, 148, 110103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110103>
2. Ailavajhala R., Querido W., Rajapakse C.S., Pleshko N., 2020: Near infrared spectroscopic assessment of loosely and tightly bound cortical bone water. *Analyst*, 145(10), 3713–3724. <https://doi.org/10.1039/c9an02491c>
3. Albiac J., Calvo E., Esteban E., 2014: River Basin Governance and Water Policies in Spain. [w:] Garrick D.E., Anderson G.R.M., Connell D., Pittock J. (red.), *Managing Water in Multi-Layered Political Systems*. Elgaronline, 141–157.
4. Barczyńska M., Borzuchowski J., Kubacka D., Piórkowski P., Rataj C., Walczykiewicz T., Woźniak Ł., 2013: Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000 – nowe hydrograficzne dane referencyjne. *Roczniki Geomatyki*, 11(3), 15–28.
5. Barović G., Vujacic D., Spalevic V., 2017: The river network of Montenegro in the GIS database. *Kartografija i Geoinformacije*, 27(16), 44–60.
6. Bieda A., Hycner R., 2012: Changes in the shape of the riverbed over a period of time at the base of the Vistula River before Cracow. *Geomatics and Environmental Engineering*, 6(1), 21–28. <https://doi.org/10.7494/geom.2012.6.1.21>
7. Biela A., Janczewska N., Biela M., 2024: Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 1. Przegląd geodezyjny 7, ss. 17–20. DOI: 10.15199/50.2024.7.2
8. Biela A., Janczewska N., Biela M., 2024: Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 2. Przegląd geodezyjny 8, ss. 18–23. DOI: 10.15199/50.2024.08.2
9. Biela A., Janczewska N., Biela M., 2024: Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 3. Przegląd geodezyjny 9, ss. 15–18. DOI: 10.15199/50.2024.09.1
10. Biela M., Janczewska N., Sierka E., Matysik M., Woźnica A., 2024: Blue-green infrastructure of metropolitan areas: changes, trends, environmental potential. [w:] Trofymchuk O., Rivza B. (red.), *24th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2024, Albena. Conference Proceedings Vol. 24, Iss. 5.1. STEF92 Technology, Sofia*. ISBN 978-619-7603-72-9
11. Burda J., 2014: Budowa geologiczna. [w:] Kaczmarek R. (red.), *Encyklopedia Województwa Śląskiego*, t. 1. Instytut Badań Regionalnych Biblioteki Śląskiej, Katowice.

12. Chatterjee R., Sinha S.K., 2014: Water Resources Database – Development and Management. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 80(3), 713–730.
13. Chowdhury S., 2023: Modelling hydrological factors from DEM using GIS. *MethodsX*, 10102062. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.10102062>
14. Di Nunzio G.M., Sordoni A., 2014: Picturing Bayesian classifiers: A visual data mining approach to parameters optimization. [w:] Zhao Y., Cen Y. (red.), *Data Mining Applications with R*. Academic Press, 35–61. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411511-8.00002-5>
15. Drwal J., Jankowski A.T., Kaniecki A., Michalczyk Z., Berus T., Jasiński R., Kokociński P., Ostrowski W., Pawlak W., Gutry-Korycka M., Pawlak W., Krazue-Tomczyk I., Sikorska K., 2005: Wytyczne techniczne GIS – 3. Mapa Hydrograficzna Polski skala 1:50 000 w formie analogowej i numerycznej. Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Warszawa, 40 s.
16. ESRI, 2024: Deep learning in ArcGIS Pro. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/deep-learning/deep-learning-in-arcgis-pro.htm> (dostęp: 13.11.2024)
17. Gabzdyl W., Gorol M., 2008: Geologia i bogactwa mineralne Górnego Śląska i obszarów przyległych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 175 s.
18. Huang C., Chen Y., Zhang S., Wu J., 2018: Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics*, 56, 333–360. <https://doi.org/10.1029/2018RG000598>
19. Husain T., Caselton W.F., 1980: Hydrologic network design methods and Shannon's information theory. *IFAC Proceedings Volumes*, 13(3), 259–267.
20. Jaiswal R.K., Lohani A.K., Tiwari H.L., 2021: A decision support system framework for strategic water resources planning and management under projected climate scenarios for a reservoir complex. *Journal of Hydrology*, 603(C), 127051. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127051>
21. Janczewska N., Matysik M., Absalon D., 2023a: Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 49, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>
22. Janczewska N., Matysik M., Absalon D., Bieda A., 2025a: Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study. *Transactions in GIS*, 29, e70055. <https://doi.org/10.1111/tgis.70055>
23. Janczewska N., Matysik M., Absalon D., Jarzyński M., Pieron Ł., 2025b: Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. *Environmental Socio-Economic Studies*, 13(1), ss. 53–62. <https://doi.org/10.2478/enviro-2025-0005>

24. Janczewska N., Matysik M., Absalon D., Pieron Ł., 2023b: Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. *Remote Sensing*, 15(9), 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356>
25. Janczewska N., Matysik M., Absalon D., Woźnica A., Lipowczan M., Pieron Ł., Kalinowska-Wójcik B., Jarosz W., Mandrysz W., Biela M., Sierka E., 2025c: A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. *Water Resources Management*. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04324-1>
26. Janczewska N.; Absalon D.; Matysik M. Ocena rozbieżności pomiędzy przestrzennymi bazami danych wód powierzchniowych w kontekście gospodarowania wodami w Polsce [w:] Więzik B. (red.), 2022: Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk. 2022. Zeszyt 45. 85–96.
27. Janczewska, N.; Matysik, M.; Jarzyński, M.; Absalon, D. Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (artykuł na dzień złożenia rozprawy doktorskiej pozostaje w recenzjach w czasopiśmie *Journal of Water and Land Development*).
28. Jarosz W., Mandrysz W., Kalinowska-Wójcik B., Grudniewski J., Janczewska N., Sierka E., Absalon D., Pieron Ł., Lipowczan M., Piekarska-Stachowiak A., i in., 2025: Assessment of the Potential of Small Beads Reservoirs to Mitigate Climate Change Impacts in Urban Areas. *Water*, 17, 419. <https://doi.org/10.3390/w17030419>
29. Kotlarz P., 2017: Analysis of the influence of the quality of cadastral data on the process of surveying works in Poland. Geographic Information Systems Conference and Exhibition “GIS ODYSSEY 2017”, 4–8 września 2017, Trento–Vattaro, Italy. Conference proceedings, 196–202.
30. Legleiter C.J., 2013: Mapping river depth from publicly available aerial images. *River Research and Applications*, 29, 760–780. <https://doi.org/10.1002/rra.2560>
31. Majewski W., 2011: Gospodarka wodna w Polsce w latach ’50–’80. [w:] Świątecki P. (red.), 2011: Stan gospodarki wodnej w Polsce – problematyka prawna i kompetencyjna (na przykładzie Dolnej Wisły). Materiały z konferencji zorganizowanej przez Parlamentarny Zespół ds. Dróg Wodnych i Turystyki Wodnej, 2 czerwca 2011 r., Senat RP, Warszawa, 27–40.
32. Masetti G., Faulkes T., Wilson M., Wallace J., 2022: Effective automated procedures for hydrographic data review. *Geomatics*, 2, 338–354.
33. Matysik M., Absalon D., Janczewska N., Woźnica A., 2025: Detection of changes in water salinity based on patrol monitoring and remote sensing methods. *Desalination and Water Treatment*, 321, 100930. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100930>

34. McFeeters S., 2013: Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544–3561. <https://doi.org/10.3390/rs5073544>
35. McFeeters S.K., 1996: The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
36. Mitani K., Kashiwagi K., Umakoshi K., Inoue T., Saito Y., Fujino T., Saisho O., 2020: A global data infrastructure for data sharing between businesses. NTT Software Innovation Center.
37. Mullen A.L., Watts J.D., Rogers B.M., Carroll M.L., Elder C.D., Noomah J., Kyzivat E.D., 2023: Using high-resolution satellite imagery and deep learning to track dynamic seasonality in small water bodies. *Geophysical Research Letters*, 50, e2022GL102327.
38. Pieron Ł., Absalon D., Matysik M., 2024: Multi-criteria assessment of factors affecting the reduction of retention capacity of dam reservoirs. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 12(1), 00069. <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00069>
39. Pietrzak L., 2017: Ustalenie linii brzegu i pomiar sytuacyjny linii brzegu w jednostkowych opracowaniach geodezyjnych i w procedurze modernizacji ewidencji gruntów i budynków. *Przegląd Geodezyjny*, 3, 14–21.
40. Piórkowski P., Walczykiewicz T., Barszczyńska M., Olszar M., Borzuchowski J., 2013: Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000. Krakowskie Spotkania z INSPIRE, Kraków, 16–17 maja 2013.
41. Ruman M., Janczewska N., Kosek K., Artichowicz W., Nasiek M., Matysik M., 2025: Fluvial ecology disasters: the impact of the Gliwice Canal on the ecological crisis in the Oder River basin, Poland (2022). *Acta Geophysica*, 73, ss. 775–798. <https://doi.org/10.1007/s11600-024-01390-8>
42. Schürz M., Grigoropoulou A., García Márquez J., Torres-Cambas Y., Tomiczek T., Floury M., Bremerich V., Schürz C., Amatulli G., Grossart H.-P., Domisch S., 2023: hydrographr: An R package for scalable hydrographic data processing. *Methods in Ecology and Evolution*, 14, 2953–2963. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14226>
43. Silalahi F.E.S., Hidayat F., 2020: Model builder and Unit Hydrograph for flood prediction and watershed flow direction determination at the West Branch of the Little River, Stowe, Lamoille County, Vermont, USA. *Geopanning: Journal of Geomatics and Planning*, 6(2), 89–98.
44. Toscano G., 2015: Water surface elevation calculation using LiDAR data. The University of Texas at Arlington, sierpień 2015.

https://www.academia.edu/80086146/A_LiDAR_based_Auto_Hydro_Breakline_Generation_Algorithm_For_Standing_Water_Bodies

45. United States Agency for International Development, 2020: Data for Water Security: Improving Water Data Access and Use. USAID, Washington DC, USA.
46. Żelaźniewicz A., Aleksandrowski P., Buła Z., Karnkowski P.H., Konon A., Ślęczka A., Żaba J., Żytka K., 2011: Regionalizacja tektoniczna Polski. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław, 60 s.

Akty prawne

1. Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 10 września 2020 r. w sprawie zakresu informacji z systemu informacyjnego gospodarowania wodami podlegających udostępnianiu na warunkach określonych w art. 333 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. - Prawo wodne, sposobu ich udostępniania i ponownego wykorzystania oraz wysokości opłat za ich przygotowanie i udostępnianie (Dz.U. 2020 poz. 1657)
2. Rozporządzenia Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych (Dz.U. 2021 poz. 1412),
3. Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. (Dz.U. 2011 nr 279 poz. 1642 – uchylone)
4. Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 18 sierpnia 2020 r. w sprawie technicznych standardów wykonywania pomiarów geodezyjnych sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do Państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (Dz.U. 2022, poz. 1670)
5. Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii w sprawie ewidencji gruntów i budynków (t.j. Dz.U. z 2024 poz. 219).
6. Ustawa z dnia 17 maja 1989 r. – Prawo geodezyjne i kartograficzne (t.j. Dz.U. z 2024 poz. 1151 ze zm.).
7. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (t.j. Dz.U. z 2025 poz. 960 ze zm.).
8. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (t.j. Dz.U. z 2025 poz. 418 ze zm.).

Źródła internetowe

1. <http://www.bom.gov.au/water/geofabric/>
2. <https://ako.vugk.sk/#>
3. <https://appgis.wody.gov.pl/portal/apps/instant/basic/index.html?appid=4590c2894495475e9b7e69e8b6478893>

4. <https://csggis.drdlr.gov.za/portal/home/>
5. <https://data.gov.ie/dataset/river-network-routes>
6. <https://finance.belgium.be/.../cadastral-map/web-services>
7. <https://fred.igb-berlin.de/data/allpackages/>
8. <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
9. <https://gis.data.ca.gov/maps/f73858e200634ca888b19ca8c78e3aed>
10. https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_Hydro/
11. <https://iho.int/en/iho-online-catalogues>
12. <https://indiamaps.gov.in/admin>
13. <https://indiawris.gov.in/wris/#/>
14. <https://isok.gov.pl/hydroportal.html>
15. <https://isok.gov.pl/hydroportal.html>
16. <https://land.copernicus.eu/en/products/eu-hydro/eu-hydro-river-network-database>
17. <https://nahliznidokn.cuzk.cz/VyberParcelu/Parcela/Informacie>
18. <https://nrfa.ceh.ac.uk/content/uk-water-resources-portal>
19. <https://open.canada.ca/data/en/dataset/a4b190fe-e090-4e6d-881e-b87956c07977>
20. <https://qldglobe.information.qld.gov.au/?topic=property>
21. https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html
22. <https://sigma.distrettoalpiorientali.it/portal/index.php/cartografie/>
23. <https://storymaps.arcgis.com/stories/d4991710873845d688cea101c6149856>
24. <https://us-wnp.maps.arcgis.com/apps/instant/webeditor/index.html?appid=e8a0f013f97445d4bbec4f0cc1814578>
25. <https://waterdata.usgs.gov/nwis>
26. <https://www.data.gov.uk/dataset/dc29160b-b163-4c6e-8817-f313229bcc23/os-open-rivers>
27. <https://www.dws.gov.za/niwis2>
28. <https://www.geo.be/home?l=en>
29. <https://www.geoportal.de/>
30. <https://www.geoportal.lt/map/>
31. <https://www.gkd.bayern.de/en/>
32. <https://www.gsj.jp/Map/EN/environment.html>
33. <https://www.hydrosheds.org/products/hydrosheds>
34. <https://www.lantmateriet.se/en/geodata/geodata-products/product-list/hydrography-download-service/>

35. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-hydro1k>
36. <https://www.usgs.gov/national-hydrography/>

Spis tabel

- Tabela 1: Globalne dane hydrograficzne. Na podstawie: Janczewska i in., 2025b. Str. 17
- Tabela 2: Ewidencje i bazy danych wód powierzchniowych w podziale na wybrane kraje. Na podstawie: Janczewska i in., 2025b. Str. 17 - 18
- Tabela 3: Porównanie powierzchni określonej jako pokryta wodami na podstawie różnych metod wektoryzacji dla fragmentu rzeki Odry (obszar A) oraz dla wyrobiska (obszar B). Str. 32
- Tabela 4: Możliwość wyodrębnienia elementu sieci hydrograficznej przy pomocy danej metody oraz potrzebny na to czas. Str. 41
- Tabela 5: Porównanie pomiaru powierzchni wybranych obiektów przy pomocy testowanych metod z pomiarem terenowym (ha). Str. 42
- Tabela 6: Podstawowe dane w zakresie odległości punktu GPS od polilinii wyznaczonych w oparciu o zdjęcia lotnicze średniego i niskiego pułapu. Str. 43
- Tabela 7: Porównanie geoportali wybranych 12 państw w kontekście danych katastru nieruchomości. Str. 52 - 53
- Tabela 8: Informacje ogólne o liczbie działek wg zadanych kryteriów w poszczególnych powiatach. Str. 55
- Tabela 9: Informacje dotyczące działek, dla których została wyznaczona linia brzegu. Str. 56

Spis rycin

- Ryc. 1: Obszar badań – obszar administracyjny Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach. Str. 8
- Ryc. 2: Struktura respondentów badań ankietowych. Źródło: Janczewska i in.: Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (w trakcie recenzji). Str. 9
- Ryc. 3: Podział wód według ustawy Prawo wodne. Źródło: Biela i in., 2024a. Str. 14
- Ryc. 4: Długość tego samego cieku wg ewidencji BDOT, MPHP, EM oraz informacji zawartych w atrybutach. Źródło: Janczewska i in., 2022. Str. 22
- Ryc. 5: Korelacja pomiędzy długościami atrybutowymi a geometrycznymi w bazie MPHP i BDOT. Na podstawie: Janczewska i in., 2023a. Str. 22

- Ryc. 6: Pomiar rozbieżnych odległości pomiędzy punktami przecięcia z liniami referencyjnymi. Na podstawie: Janczewska i in., 2023a. Str. 23
- Ryc. 7: Korelacja pomiędzy rozbieżnościami w przebiegu cieków a kilometrażem. Porównanie baz MPHP oraz BDOT. Na podstawie: Janczewska i in., 2023a. Str. 24
- Ryc. 8: Schemat obrazujący kolejne kroki w analizie multikryterialnej rozbieżności w warstwach liniowych i poligonowych reprezentujących wody powierzchniowe. Źródło: Janczewska i in., 2023b. Str. 26
- Ryc. 9: Multikryterialna analiza przestrzenna – porównanie rejestru gruntów i budynków (EGiB) z innymi badanymi bazami danych dotyczącymi pokrycia terenu. Źródło: Janczewska i in., 2023b. Str. 27
- Ryc. 10: Rekomendowane do wykorzystania bazy danych w zakresie pokrycia wodami zależne od kryterium celu i typu analiz. Źródło: Janczewska i in., 2023b. Str. 29
- Ryc. 11: Przetworzenie Numerycznego Modelu Terenu na rysunek poziomicowy a następnie poligon reprezentujący zbiornik wodny. Str. 31
- Ryc. 12: Schemat przetworzenia ortofotomozaik na raster ze wskaźnikiem NDWI, a następnie poligony reprezentujący obszar wód. Str. 31
- Ryc. 13: Model przetwarzania ortofotomozaik na wskaźnik NDWI oraz wektoryzacji sieci hydrograficznej. Źródło: Janczewska i in., 2025c. Str. 33
- Ryc. 14: Porównanie poligonów wygenerowanych na podstawie wskaźnika NDWI z innymi bazami danych. Źródło: Janczewska i in., 2023b. Str. 34
- Ryc. 15: Workflow klasyfikacji nadzorowanej, pola treningowe oraz sklasyfikowany obraz wyjściowy (2 klasy). Źródło: Janczewska i in., 2025c. Str. 35
- Ryc. 16: Model przetwarzania chmury punktów w formacie LAS na informacje o ukształtowaniu terenu. Efekt końcowy przetworzony na model terenu oraz chmura punktów reprezentująca ukształtowanie terenu. Źródło: Janczewska i in., 2025c. Str. 36
- Ryc. 17: Model przetwarzania chmury punktów w formacie LAS na poziomice. Wykrywanie na podstawie szczegółowej mapy poziomicowej: miejsc, w których potencjalnie mogą tworzyć się zbiorniki wodne, granic zbiorników wodnych, granic koryta rzeki szerokiej oraz granic wąskiego koryta cieków. Źródło: Janczewska i in., 2025c. Str. 37
- Ryc. 18: Model przetwarzania chmury punktów w formacie LAS na warstwę liniową cieków oraz zrzut ekranu z warstwą wynikową. Źródło: Janczewska i in., 2025c. Str. 38
- Ryc. 19: Wynik korelacji Pearsona pomiędzy odległościami linii wrysowanych na podstawie zdjęć lotniczych średniego i niskiego pułapu od punktów w korycie cieków Imielinka. Źródło:

- Janczewska i in.: Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (w trakcie recenzji). Str. 44
- Ryc. 20: Schemat wyboru najbardziej optymalnej metody uzależniony od danych wejściowych oraz elementu sieci hydrograficznej, który ma zostać automatycznie wygenerowany. Źródło: Janczewska i in., 2025c. Str. 45
 - Ryc. 21: Proponowany schemat atrybutowy warstwy cieków. Źródło: Janczewska i in.: Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (w trakcie recenzji). Str. 47
 - Ryc. 22: Schemat postępowania dla przetworzenia zobrazowania NDWI w celu automatycznego wytworzenia informacji o sieci hydrograficznej. Efekt wykorzystania narzędzia raster to polygon – zasięg rzeki w postaci wektorowego poligonu. Efekt wykorzystania narzędzia Polygon to centerline – wytworzenie linii obrazującej przebieg ciek. Str. 49
 - Ryc. 23: Zastosowanie opracowanej metodyki zdalnej detekcji wód dla cieków: Imielinka, Łęgoń i Kanału Dąbrówka. Str. 50
 - Ryc. 24: Struktura własnościowa działek, które zgodnie z EGiB są pokryte wodami płynącymi – występuje użytek „Wp”. Str. 55
 - Ryc. 25: Rozkład obserwacji w teście McNemara w powiecie cieszyńskim, mieście Katowice i powiecie raciborskim. Źródło: Janczewska i in., 2025a. Str. 58
 - Ryc. 26: Mapa skupień działek w powiecie cieszyńskim, na których wg MPHP 10 występuje ciek a nie są oznaczone w EGiB jako grunt pokryty wodami powierzchniowymi (użytek „Wp”). Cieki wg MPHP 10 na tle udziału gruntów pokrytych wodami płynącymi („Wp”) w powierzchni pola podstawowego na terenie powiatu cieszyńskiego. Źródło: Janczewska i in., 2025a. Str. 59
 - Ryc. 27: Mapa skupień działek w mieście Katowice, na których wg MPHP 10 występuje ciek a nie są oznaczone w EGiB jako grunt pokryty wodami powierzchniowymi (użytek „Wp”). Cieki wg MPHP 10 na tle udziału gruntów pokrytych wodami płynącymi („Wp”) w powierzchni pola podstawowego na terenie miasta Katowice. Źródło: Janczewska i in., 2025a. Str. 59
 - Ryc. 28: Mapa skupień działek w mieście Katowice, na których wg MPHP 10 występuje ciek a nie są oznaczone w EGiB jako grunt pokryty wodami powierzchniowymi (użytek „Wp”). Cieki wg MPHP 10 na tle udziału gruntów pokrytych wodami płynącymi („Wp”) w

powierzchni pola podstawowego na terenie powiatu raciborskiego. Źródło: Janczewska i in., 2025a. Str. 60

- Ryc. 29: Zrzut ekranu aplikacji umożliwiającej edycję obiektów w czasie rzeczywistym przez wielu pracowników. Str. 62

Spis fotografii

- Fot. 1: Pomiar terenowy natężenia przepływu wód w Kanale Dąbrówka przy pomocy młynka hydrometrycznego oraz przepływomierza profilującego ADCP. Str. 51

6. Załączniki

1. Publikacja: Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 1. *Przegląd geodezyjny* **2024**, 7, 17 – 20. DOI: 10.15199/50.2024.7.2
2. Publikacja: Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 2. *Przegląd geodezyjny* **2024**, 8, 18 – 23. DOI: 10.15199/50.2024.08.2
3. Publikacja: Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 3. *Przegląd geodezyjny* **2024**, 9, 15-18. DOI: 10.15199/50.2024.09.1
4. Publikacja: Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Jarzyński, M.; Pieron, Ł. Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. *Environ Socio-Econ Stud* **2025**, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005>
5. Publikacja: Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D. Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. *J Hydrol Reg Stud* **2023**, 49, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>
6. Publikacja: Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Pieron, Ł. Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. *Remote Sens.* **2023**, 15, 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356>
7. Publikacja: Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Bieda, A. Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study. *Transactions in GIS* **2025**, 29, e70055. <https://doi.org/10.1111/tgis.70055>

8. Publikacja: Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. *Water Resources Management*, **2025**, DOI: 10.1007/s11269-025-04324-1
9. Publikacja: Janczewska, N.; Matysik, M.; Jarzyński, M.; Absalon, D. Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing.
10. Projekt instrukcji ewidencjonowania wód powierzchniowych;
11. Raport nr 1/2022 dot. aktualnego stanu ewidencji wód powierzchniowych na obszarze administracyjnym Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach;
12. Opinia Opiekuna Pomocniczego z dn. 9 września 2024 r.;
13. Opinia Opiekuna Pomocniczego z dn. 28 września 2025 r.;
14. Oświadczenie osoby ubiegającej się o własnym wkładzie w powstawanie pracy;
15. Oświadczenia współautorów osoby ubiegającej się o własnym wkładzie w powstawanie pracy.



Artur BIELA

Wojewódzka Inspekcja Geodezyjna
i Kartograficzna
<http://orcid.org/0000-0003-3370-3872>



Natalia JANCZEWSKA

Uniwersytet Śląski
<https://orcid.org/0000-0002-5424-5703>



Magdalena BIELA

Uniwersytet Śląski
<http://orcid.org/0000-0001-7589-502X>

DOI: 10.15199/50.2024.7.?

Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 1

Principles for Establishing the Boundaries of Properties Covered by Flowing Water – part 1

Grunt zajęty pod wodę płynącą należy do właściciela wód, którym w Polsce jest Skarb Państwa. Celem artykułu była analiza przepisów ustawy Prawo wodne dotyczących ustalenia linii brzegu, jako granicy nieruchomości należącej do właściciela wód, w odniesieniu do zasad pomiaru granic nieruchomości uregulowanych przepisami prawa geodezyjnego.

Ze względu na dynamiczny charakter linii brzegu, problemy z jej identyfikacją oraz błędy na mapach ewidencyjnych, zaproponowano odpowiedni schemat działania w celu prawidłowego wykazania stanu prawnego nieruchomości. Omówiono również wpływ, jaki ma tak ustalona granica na nieruchomości należących do właścicieli gruntów przyległych.

Słowa kluczowe: ustalenie linii brzegu, działka ewidencyjna, wody płynące, prawo wodne, prawo geodezyjne, granica nieruchomości, identyfikacja linii brzegu, własność wód

Land occupied by flowing water belongs to the owner of the waters, which in Poland is the State Treasury. The aim of the article was to analyze the provisions of the Water Law Act concerning the delimitation of the coastline, as the boundary of the property belonging to the owner of the waters, in relation to the principles of property boundary measurement regulated by geodetic law. Due to the dynamic nature of the coastline, problems with its identification, and errors on cadastral maps, an appropriate action scheme was proposed to correctly demonstrate the legal status of the property. The impact of such established boundaries on properties belonging to the owners of adjacent lands was also discussed.

Keywords: Delimitation of the coastline, Cadastral parcel, Flowing waters, Water law, Geodetic law, Property boundary, Coastline identification, Water ownership

1. Wstęp

Rola wód dla środowiska oraz człowieka jest nie do przecenienia, a dostęp do wody należy postrzegać w kontekście praw człowieka¹. Jedną z form ochrony strategicznych zasobów wody jest przejęcie terenów przez nią zajętych na własność Skarbu Państwa oraz ujawnienie tego we właściwych rejestrach.

Ewidencja gruntów i budynków jest rejestrem publicznym gromadzącym informacje o nieruchomościach. Szczególnym rodzajem nieruchomości są grunty pokryte wodą płynącą. Aby odpowiedzieć na pytanie, czym są grunty pokryte wodą płynącą, należy odwołać się do ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne² – dalej p.w., która zasadniczo poświęcona została gospodarowaniu wodami³, w szczególności przez kształtowanie i ochronę zasobów wodnych, korzystanie z wód oraz zarządzanie zasobami wodnymi⁴.

Stan prawny gruntów pokrytych wodą wynika z przepisów art. 211 ust. 2 w zw. z art. 223 ust. 1 w zw. z art. 218 ust. 1 p.w., zgodnie z którymi wody morza terytorialnego, morskie wody wewnętrzne, śródlądowe wody płynące stanowią własność Skarbu Państwa, co oznacza, że jeżeli zajmą one trwale, w sposób naturalny grunt, to staje się on z mocy prawa własnością Skarbu Państwa. Procedura w której dochodzi do wyodrębnienia takich nieruchomości uwzględnić musi zarówno obowiązujące w tym zakresie przepisy jak i technologię pomiarów geodezyjnych.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie analizy przepisów dotyczących ustalania linii brzegu oraz zaproponowanie schematu działań, który pozwoli na prawidłowe odzwierciedlenie stanu prawnego nieruchomości. Omówiony zostanie również wpływ jaki ma ustalenie linii brzegu na grunty przyległe.

2. Wody płynące – definicja

Prawo wodne dokonuje klasyfikacji wód ze względu na miejsce ich występowania oraz charakter.

Definicja wód powierzchniowych i ich podział na wody płynące i stojące został dostosowany do dyrektywy ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej⁵. Taki ustawowy podział wód powierzchniowych jest jednak nieprecyzyjny w odniesieniu do

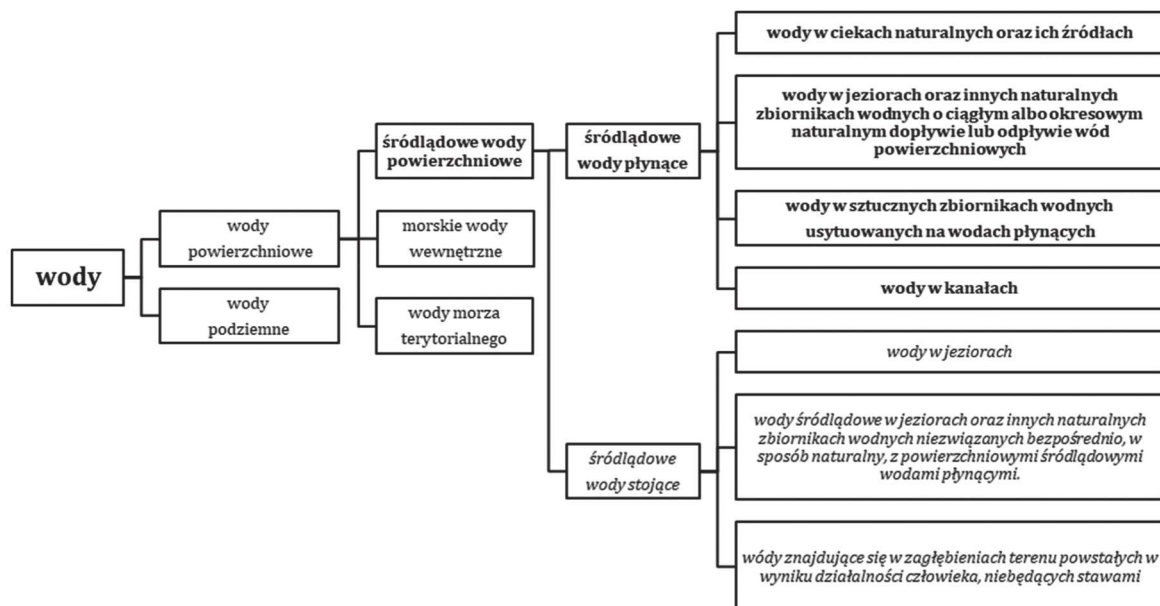
¹ I. Galicka, Prawo dostępu do wody w systemie Organizacji Narodów Zjednoczonych i Unii Europejskiej, Zeszyt Prawniczy UAM 12, 2022, s. 59.

² Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 1478 z późn. zm.).

³ Z wyłączeniem zakresu uregulowanego przez ustawę z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 633 z późn. zm.) (art. 7 p.w.) oraz w zakresie usług wodnych dotyczących magazynowania, uzdatniania lub dystrybucji wód powierzchniowych i wód podziemnych oraz odbioru ścieków, objętych przepisami ustawy z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz. U. z 2023 r. poz. 537).

⁴ P. Szuwalski [w:] Prawo wodne. Komentarz do wybranych przepisów, LEX/el. 2019, art. 1.

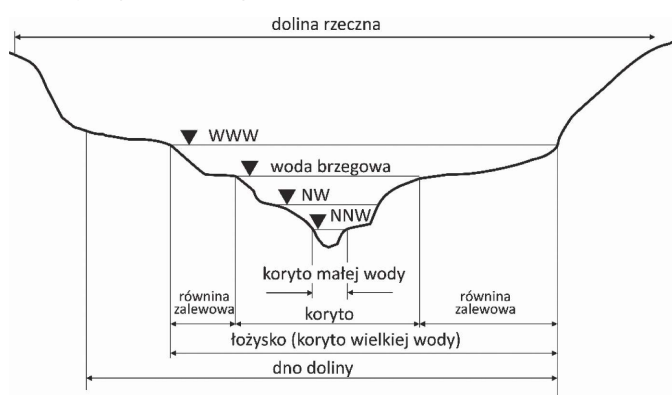
⁵ Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz. U. UE. L. z 2000 r. Nr 327, str. 1 z późn. zm.).



Rys. 1 Podział wód wg. ustawy Prawo wodne – opracowanie własne

przedmiotu swej regulacji⁶. W szczególności kryterium podziału jezior jest wyjątkowo trudne do zastosowania w praktyce i może doprowadzić do zakwalifikowania podobnych względem siebie jezior do różnych typów⁷. W przypadku cieków naturalnych (rzeki, strumienie, potoki i inne) z wodą płynącą będziemy mieć do czynienia, jeżeli woda w nich płynie w sposób ciągły lub okresowy w korycie naturalnym lub uregulowanym⁸.

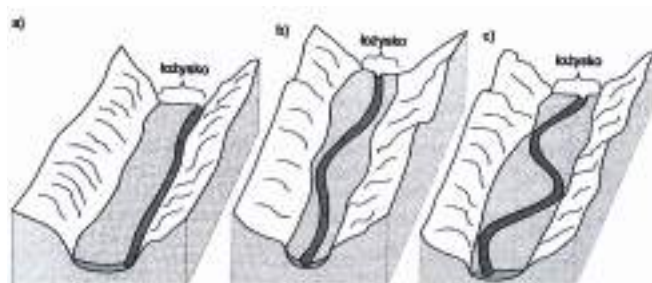
Hydrologia dzieli należące do lądowej części hydrosfery wody powierzchniowe na obiekty punktowe, liniowe i obszarowe. Obiekty punktowe to różnego rodzaju wypływy wód podziemnych, obiekty liniowe to ciek (naturalne i sztuczne), a obiektami obszarowymi są: lodowce i wieczne śniegi, obszary zabagnione oraz zbiorniki wodne (naturalne i sztuczne)⁹. Ciek – to ogólne określenie wszystkich powierzchniowych wód płynących, w formie skoncentrowanej pod wpływem siły ciężkości, korytem naturalnym (cieki naturalne) lub sztucznym (cieki sztuczne) o określonym obszarze zasilania¹⁰. W poprzecznym przekroju cieku wyróżnia się dolinę rzeczną, łóżysko oraz koryto.



Rys. 2 Elementy doliny rzecznej (Hydrologia ogólna s. 103)

WWW najwyższa wysoka woda, NW niska woda, NNW najniższa niska woda

Koryto cieku naturalnego ma dno i brzegi (wyraźne lub niewyraźne). Granicami koryta jest poziom jego dna oraz poziom wody brzegowej, czyli zwierciadła wody przy jego pełnym napełnieniu.



Rys. 3 Typy łożysk a) jednostronne; b) dwustronne; c) przemienne (Hydrologia ogólna s. 104)

W dolinie rzecznej oprócz koryta mogą występować też pozostałości dawnych łożysk (tarasy nadzalewowe). Łóżyska i koryta cieków ulegają zmianom w czasie; głównymi czynnikami tych przemian są: aktywność sejsmiczna, oraz warunki geomorfologiczne, klimatyczne, geologiczne i antropopresja¹¹.

W naukach o ziemi nie wprowadza się kryteriów wielkościowych, przy których ciek zostaje zakwalifikowany jako woda płynąca. Ciekami naturalnymi są zarówno duże rzeki w szerokich korytach o przepływie laminarnym jak i niewielkie ciek w wąskich korytach o przepływie turbulentnym. W ujęciu hydrologicznym istotnym kryterium określania wody jako płynącej, istotne jest by woda w nich się znajdująca pozostawała w ruchu. Tak rozumiane pojęcie wód płynących jest intuicyjne i stosuje się je głównie dla wód w ciekach, które mają odmienny charakter niż wody w urządzeniach wodnych – np. w kanałach czy zbiornikach.

Nie każdy ciek wodny będzie jednak traktowany przez ustawę Prawo wodne jako woda płynąca. W przypadku kanałów, opisanych jako sztuczne koryta prowadzące wody w sposób ciągły lub okresowy, muszą one posiadać szerokość dna co najmniej 1,5 m przy ich ujściu lub ujściu¹². Rowy natomiast (zdefiniowane podobnie jak kanały) nie należą do wód płynących, gdyż zakwalifikowano je do urządzeń melioracji wodnej¹³.

Problemy i wątpliwości związane z zaliczeniem terenu pokrytego wodą przekładają się na niepoprawne oznaczenie w ewidencji gruntów i budynków użytków gruntowych, w obrębie: wody stojące (Ws), grunty pod stawami (Wsr), grunty pod rowami (W), wody płynące (Wp)¹⁴.

W każdej z kolejnych ustaw regulujących zagadnienie gospodarowania zasobami wodnymi (z 1962 r., z 1974 r., z 2001 r. i z 2017 r.) prawo własności gruntów pokrytych wodami płynącymi przysługiwało wyłącznie Skarbowi

⁶ Marszelewski, M., Marszelewski, W. (2014). "Problemy własności jezior w Polsce". Przegląd Prawa Ochrony Środowiska, No. 3, s. 29. DOI: 10.12775/PPOS.2013.013.

⁷ Tamże, s. 33-34.

⁸ Artykuł 16 pkt 5 p.w.

⁹ E. Bajkiewicz-Grabowska, Hydrologia ogólna, Warszawa 2020, s. 88.

¹⁰ E. Bajkiewicz-Grabowska, Hydrologia ... s. 102.

¹¹ E. Bajkiewicz-Grabowska, Hydrologia ... s. 105.

¹² Artykuł 16 pkt 21 i pkt 47 p.w.

¹³ Artykuł 197 ust. 1 pkt 1 p.w.

¹⁴ Podział na użytki gruntowe zawiera załącznik nr 1 do rozporządzenia Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 219) – dalej e.g.b.

Państwa, co automatycznie wyłączało je z obrotu cywilnoprawnego (*rei extra commercium*). Niepoprawne oznaczenie użytków gruntowych skutkować może m.in. dopuszczeniem do obrotu cywilnoprawnego wbrew ustawowemu zakazowi.

Do końca 2017 roku, o przynależności wód do wód publicznych (śródlądowych wód powierzchniowych) przesądzało Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie śródlądowych wód powierzchniowych lub ich części stanowiących własność publiczną (Dz. U. z 2003 r. Nr 16, poz. 149). Akt ten definiował wyłącznie nazwę ciek i jego odbiornika. Brak odniesienia geograficznego, zamknięty katalog, oraz liczne błędy często przyczyniały się do nieprawidłowego określenia cieków jako śródlądowe wody płynące. Obecnie charakter wód ustala Minister właściwy do spraw gospodarki wodnej, w drodze decyzji administracyjnej (art. 219 p.w.), na wniosek Wód Polskich lub właściciela gruntu przyległego.

3. Prawny charakter gruntów pokrytych wodą płynącą

Wody płynące, zgodnie z ustawą Prawo wodne, stanowią odrębny od gruntu przedmiot własności i należą do Skarbu Państwa. Pokrywają one grunty, przez które przepływają, stanowiąc z nimi element jednolitej całości, zatem ich status nie może być rozważany w oderwaniu od gruntów. Ustawodawca przyjął również, że grunty pokryte śródlądowymi wodami płynącymi, wodami morza terytorialnego oraz morskimi wodami wewnętrznymi stanowią własność właściciela tych wód. Tym samym w przypadku śródlądowych wód płynących własność wody przekłada się *de facto* we własność gruntu pod wodą¹⁵, co stanowi wyjątek do zasady *superficies solo cedit* przypisującej własność rzeczy wzniesionej na gruncie – właścicielowi gruntu.

Celem zastrzeżenia prawa własności wód płynących jedynie na rzecz Skarbu Państwa było poddanie ich szczególnej ochronie prawnej oraz umożliwienia stosowania władczych środków prawnych o charakterze administracyjnym, w sytuacji gdy będą one dotyczyć korzystania z wód i ich ochrony¹⁶.

Skoro zatem grunty, przez które przepływa śródlądowa woda płynąca, są własnością Skarbu Państwa muszą zostać, jak każda inna nieruchomość, wydzielone z przestrzeni za pomocą punktów i linii granicznych. Mimo, że wody płynące nie posiadają z reguły jednej i niezmiennej w czasie granicy, podlegają wydzieleniu według stanu aktualnego w danym momencie, w oparciu o ustawowe kryteria, w prawie określonej procedurze. Ustalenie, pomiar i przygotowanie dokumentacji wskazującej linię brzegu, zastrzeżone zostało dla geodety. Linia zetknięcia się gruntów pokrytych płynącymi wodami powierzchniowymi z gruntem przyległym¹⁷, ustalona w trybie art. 220 p.w., jest zarazem granicą nieruchomości. Charakter takiej granicy, jak i sposób jej ustalenia jest jednak szczególny.

Zasadą jest, że raz ustalona granica nieruchomości powinna mieć charakter trwały i nie powinna podlegać modyfikacjom bez uprzedniego władczego rozstrzygnięcia właściwego organu. Wprawdzie może być ona wielokrotnie ustalana, podlegać rozgraniczeniu, ale czynności te mają jedynie na celu jej odtworzenie. W postępowaniu rozgraniczeniowym strony mogą zawrzeć ugodę przed geodetą, która może być postrzegana jako zmiana zasięgu prawa własności, to jednak dojść do niej może wyłącznie w sytuacji, kiedy ze względu na brak dokumentów nie można określić granicy prawnej¹⁸ lub zebrane w toku postępowania dokumenty nie dają wystarczającej podstawy do ustalenia jednoznacznego przebiegu granicy¹⁹, co oznacza, że zatwierdza ona wyłącznie względnie niesporny stan posiadania. Istotą postępowania rozgraniczeniowego jest ustalenie,

do jakich granic sięga prawo własności, w związku z tym upoważniony geodeta w pierwszej kolejności powinien ustalić przebieg granicy prawnej nieruchomości²⁰.

W przypadku natomiast, gdy granica nieruchomości stanowi jednocześnie granicę wód płynących nie przeprowadza się postępowania rozgraniczeniowego, o którym mowa w art. 153 k.c. oraz 29 p.g.k. które miało by na celu odtworzenie pierwotnego przebiegu granic. Ustalenie w drodze decyzji linii brzegu na podstawie projektu rozgraniczenia gruntów pokrytych wodami od gruntów przyległych zawsze będzie miało charakter władczy, kształtujący „na nowo” prawo własności, niezależnie od wcześniejszych ustaleń.

4. Charakter decyzji ustalającej linię brzegu

Prawne określenie granicy terenu pokrytego wodą płynącą następuje w drodze decyzji wydanej przez określony w art. 220 ust. 5 p.w. organ administracji. Tak określona granica nie ma jednak charakteru trwałego. Zgodnie bowiem z art. 220 ust. 18 p.w., w przypadku zmiany linii brzegu, decyzja o ustaleniu linii brzegu może być zmieniona w trybie i na zasadach właściwych dla jej wydania. Z powyższego przepisu wynika, że można wielokrotnie orzekać o przebiegu linii brzegu, za każdym razem wskazując jej przebieg w innym miejscu, jeżeli w sposób naturalny dojdzie do zajęcia gruntu niestanowiącego własności właściciela wód (art. 223 p.w). Mimo, że wykładnia tego przepisu jest dość jednoznaczna, to jego zastosowanie budzi wiele wątpliwości. Ustalenie linii brzegu na gruncie nie należącym do właściciela wód, powoduje zmianę własności tego gruntu, w konsekwencji czego dotychczasowy właściciel ma prawo do otrzymania odszkodowania. Odszkodowanie przysługujące jest w drodze decyzji administracyjnej. Z chwilą zmiany decyzji ustalającej linię brzegu musiałaby ulec również zmiana wysokości odszkodowania. Zmiana decyzji, w miejsce wydania nowej, powoduje też, że nie zostaje wyodrębniony substrat roszczenia i cały proces odszkodowawczy się komplikuje. Ustawodawca nie wskazuje również jaką relację ma zapis art. 220 ust. 18 p.w. do przepisów art. 154, 155 ustawy z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 572) oraz pozostałych przepisów dotyczących postępowań nadzwyczajnych uregulowanych tą ustawą. Zmiana linii brzegu może też powodować konieczność zmiany innych decyzji wydanych w jej oparciu. Być może te i wiele innych wątpliwości spowodowały, że od dnia wejścia w życie ustawy z 2017 r. nie wydano żadnej decyzji, w której dokonano by zmiany wcześniej ustalonej linii brzegu w trybie art. 220 ust. 18 p.w.²¹

Kolejną charakterystyczną cechą decyzji o ustaleniu linii brzegu jest to, że w wyniku jej wydania może w ogóle nie powstać nowa nieruchomość, rozumiana jako część powierzchni ziemi. Wiąże się to z tym, że nie określa ona obiektu powierzchniowego lecz liniowy – odcinek granicy (linię brzegu). Pod tym względem przypomina decyzję rozgraniczeniową, która jednak zawsze dotyczy granicy wydzielonej wcześniej nieruchomości.

Granice nieruchomości a granice działki ewidencyjnej

Nieruchomością gruntową, zgodnie z Kodeksem cywilnym²², jest część powierzchni ziemskiej stanowiąca odrębny przedmiot własności. Podział na nieruchomości gruntowe jest podziałem konwencjonalnym, w którym wyodrębnienie gruntów opiera się na kryteriach formalnych, a nie na podstawie kryteriów przyrodniczych, w postaci fizycznych właściwości powierzchni ziemskiej²³. Własność nieruchomości rozciąga się m.in. na budynki i inne urządzenia trwale z gruntem związane, jak również drzewa i inne rośliny od chwili zasadzenia lub zasiania (art. 48 k.c.), a także na rzecz ruchomą, która została połączona z nieruchomością w taki sposób, że stała się jej częścią składową (art. 191 k.c.). Jak już wcześniej wspomniano, ustawa Prawo wodne odmiennie niż przepisy Kodeksu cywilnego reguluje kwestie

¹⁵ Wyroki Naczelnego Sądu Administracyjnego: z 17.02.2017 r., II OSK 452/16, LEX nr 2342106; z 1.04.2016 r., II OSK 1846/14, LEX nr 2139470.

¹⁶ Wyrok Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego (WSA) w Gdańsku z 15.06.2016 r., II SA/Gd 156/16, LEX nr 2068427.

¹⁷ Postanowienie SN z 12.05.2011 r., III CSK 238/10, LEX nr 964473.

¹⁸ Za granice prawne nieruchomości uważa się granice, których przebieg można odtworzyć na gruncie na podstawie istniejących dokumentów, przy czym dokumenty te powinny odpowiadać technicznym standardom geodezyjno-kartograficznym (wyrok Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego w Szczecinie z 27.05.2010 r. II SA/Sz 229/10)

¹⁹ R. Hycner, T. Połec, Kryteria rozgraniczania nieruchomości w świetle przepisów oraz orzecznictwa Sądu Najwyższego i Naczelnego Sądu Administracyjnego, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009 s. 62.

²⁰ Patrz: uzasadnienie wyroku WSA w Szczecinie z 27.05.2010 r., II SA/Sz 229/10, LEX nr 666949).

²¹ Na podstawie informacji uzyskanej z Ministerstwa Infrastruktury. Stan na kwiecień 2024 r.

²² Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. Kodeks cywilny (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 1610 z późn. zm.) – dalej k.c.

²³ Zob. m.in. B. Swaczyna, Prawne wyodrębnienie gruntu na powierzchni ziemi, „Rejent” 2002/9, s. 97.

własności nieruchomości gruntowych, które pokryte są wodami, rozróżniając własność wód oraz własność gruntów. Konsekwentnie posługuje się też pojęciem gruntu (tak określając przedmiot obrotu – także cywilnoprawnego), przy czym wprowadza własną ich klasyfikację, a mianowicie na grunty pokryte wodami, przez które należy rozumieć grunty tworzące dna i brzegi cieków naturalnych, jezior oraz innych naturalnych zbiorników wodnych w granicach linii brzegu²⁴.

Część powierzchni ziemskiej, aby mogła być definiowana w ujęciu kodeksowym (materialnym) jako nieruchomość gruntowa, musi mieć ustalone granice zewnętrzne wyodrębniające ją z otoczenia i stanowić przedmiot odrębnej własności²⁵. Określenie w terenie zakresu prawa własności dokonuje się metodami geodezyjnymi i wykazuje się w rejestrze publicznym – ewidencji gruntów i budynków – za pomocą punktów i linii granicznych, w postaci działek ewidencyjnych. Działka ewidencyjna – to ciągły obszar gruntu, położony w granicach jednego obrębu ewidencyjnego, jednorodny pod względem prawnym, wydzielony z otoczenia za pomocą granic działek ewidencyjnych²⁶. Granice nieruchomości określane są za pomocą granic działki ewidencyjnej, gdyż wyłącznie tak opisana może być przedmiotem czynności prawnej, co oznacza, że aby zbyć część nieruchomości najpierw należy dokonać wyodrębnienia z niej nowej działki ewidencyjnej²⁷. Relacja cywilnoprawnej definicji nieruchomości do administracyjnoprawnej działki ewidencyjnej jest taka, że nieruchomość może składać się z więcej niż jednej działki oraz, że granice nieruchomości określane są poprzez granice działki ewidencyjnej wchodzącej w jej skład. Działka ewidencyjna jest więc najmniejszą, formalnie wyodrębnioną częścią nieruchomości gruntowej. Stanowi również jedyny jej opis, nie sposób bowiem opisać nieruchomości bez odniesienia się do działki ewidencyjnej wchodzącej w jej skład.

Podział powierzchni kraju na działki ewidencyjne ma charakter zupełny (nie obejmując jedynie morza terytorialnego)²⁸. Każda z wydzielonych działek powstała w jednej z prawnie przewidzianych procedur wynikających z prawa cywilnego lub administracyjnego, podczas której nastąpiło geodezyjne opisanie jej granic i nadanie numeru ewidencyjnego.

Ewidencja gruntów i budynków zakładana była w latach 60. ubiegłego wieku na podstawie dekretu z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków²⁹. Przy jej opracowaniu, oprócz tej części kraju gdzie przeprowadzono nowy pomiar w oparciu o użytkowanie gruntu, korzystano z dokumentacji kartograficznej sporządzonej jeszcze podczas zaborów. W przypadku katastru pruskiego źródłem były mapy pierwotne i pierwowzory katastralne, sporządzone w latach 1861-1865³⁰. Dokumentacja źródłowa dawnego katastru pruskiego jest do tej pory istotną częścią zasobu geodezyjnego i kartograficznego w wielu powiatach w Polsce. Często stanowi podstawowy materiał przy wykonywaniu różnorodnych prac geodezyjnych, zwłaszcza dotyczących ustalania granic lub podziału nieruchomości. W praktyce geodezyjnej i w postępowaniach cywilnych ugruntowała się zasada, że granica ustalona na podstawie tych materiałów jest granicą prawną nieruchomości³¹. Podobna sytuacja ma miejsce na obszarze dawnego zaboru austriackiego, gdzie funkcjonowała mapa ewidencyjna w skali 1:2880, właściwa dla tego katastru³².

Wyznaczenie w terenie granic istniejących działek ewidencyjnych na podstawie dostępnych dokumentów jest zadaniem geodety. Jeżeli jednak brak jest materiałów źródłowych, mogących służyć do odtworzenia granicy (lub niespełniających standardów) wówczas, do czasu przeprowadzenia roz-

graniczenia nieruchomości, dokonuje się ustalenia przebiegu granic działek ewidencyjnych. W przypadku wyodrębnienia nowej nieruchomości, wskutek pierwotnego nabycia prawa własności np. przez zasiedzenie, przy przeznaczeniu terenu pod budowę infrastruktury drogowej lub kolejowej, jak również w przypadku zajęcia gruntu przez wodę płynącą, a także przy podziale działki, do określenia przestrzennej lokalizacji punktów i linii granicznych dochodzi również z udziałem geodety. W takim przypadku mamy do czynienia z pierwotnym określeniem zasięgu prawa własności, w konsekwencji czego powstaje nowa nieruchomość gruntowa. Wydzielenie takie powoduje jednocześnie podział nieruchomości istniejących³³. Określenie zatem granic nieruchomości stanowiącej własność Skarbu Państwa, z uwagi na to, że zajęła ją woda płynąca, następuje w trybie i na zasadach właściwych dla wyodrębnienia działek ewidencyjnych, a więc z zastosowaniem przepisów ustawy Prawo geodezyjne i kartograficzne oraz przepisów wykonawczych, na podstawie kryteriów określonych w ustawie Prawo wodne.

Artykuł recenzowany

Literatura

- [1] Galicka I., Prawo dostępu do wody w systemie Organizacji Narodów Zjednoczonych i Unii Europejskiej, Zeszyt Prawniczy UAM 12, 2022, s. 59.
- [2] Szuwałski P. [w:] Prawo wodne. Komentarz do wybranych przepisów, LEX/el. 2019, art. 1.
- [3] Marszelewski, M., Marszelewski, W. (2014). "Problemy własności jezior w Polsce", Przegląd Prawa Ochrony Środowiska, No. 3, s. 29. DOI: 10.12775/PPOS.2013.013.
- [4] Bajkiewicz-Grabowska E., Hydrologia ogólna, Warszawa 2020, s. 88.
- [5] Hycner R., Połec T., Kryteria rozgraniczania nieruchomości w świetle przepisów oraz orzecznictwa Sądu Najwyższego i Naczelnego Sądu Administracyjnego, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009 s. 62.
- [6] Swaczyna B., Prawne wyodrębnienie gruntu na powierzchni ziemi, „Rejent” 2002/9, s. 97.
- [7] Maślanka M., Ograniczenia w rozporządzaniu nieruchomościami gruntowymi pokrytymi śródlądowymi wodami płynącymi, PPP 2024, nr 2, s. 52.
- [8] Rudnicki S., Prawo obrotu nieruchomościami, Warszawa 1995, s. 22.
- [9] Hudzik R., Hycner R., Ocena przydatności dokumentacji źródłowej byłego katastru pruskiego dla potrzeb ustalenia granic nieruchomości, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009, s. 31.
- [10] Bieda A., Hycner R., (2012). Changes in the shape of the river Bed over a period of time at the base of the Vistula River before Cracow. Geomatics and Environmental Engineering. 6. 21. 10.7494/geom.2012.6.1.21.
- [11] Malik I., Rekonstrukcja tempa migracji bocznej koryta rzeki Małej Panwi na podstawie datowań kłód i drzew, Przegląd Geologiczny. 2002, nr 5, s. 454-457.
- [12] McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing. 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- [13] Pietrzak L., „Ustalenie linii brzegu i pomiar sytuacyjny linii brzegu w jednostkowych opracowaniach geodezyjnych i w procedurze modernizacji ewidencji gruntów i budynków”, Przegląd Geodezyjny, no. 3 (2017), s. 14.
- [14] Kowalski K. 2010. Gospodarka nieruchomościami pokrytymi powierzchniami wodami płynącymi. Wrocław 2010.
- [15] Szoszkiewicz K., Jusik Sz., Zgoła T., Klucz do oznaczania makrofity dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych. Warszawa: Inspekcja Ochrony Środowiska, 2010, seria: Biblioteka Monitoringu Środowiska. ISBN 978-83-61227-32-8.
- [16] Paul, Jonathan & Buytaert, Wouter & Sah, Neeraj. (2020). A Technical Evaluation of Lidar-Based Measurement of River Water Levels. Water Resources Research. 56. e2019WR026810. 10.1029/2019WR026810.
- [17] Mączyńska A., Kwartnik-Pruc A., (2016). Problematyka zróżnicowania postępowań administracyjnych dotyczących ustalenia linii brzegu. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. II. 233-245. 10.14597/infraeco.2016.2.1.016.
- [18] Raguszewska M., Przebieg do zasobu nieruchomości Skarbu Państwa gruntów pokrytych śródlądowymi wodami płynącymi – deklaratoryjny charakter

²⁴ M. Maślanka, Ograniczenia w rozporządzaniu nieruchomościami gruntowymi pokrytymi śródlądowymi wodami płynącymi, PPP 2024, nr 2, s. 52.

²⁵ S. Rudnicki, Prawo obrotu nieruchomościami, Warszawa 1995, s. 22.

²⁶ § 7 Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 219).

²⁷ Wydzielanie takie ustawa o gospodarce nieruchomości określa „podziałem nieruchomości”.

²⁸ Patrz § 3 e.g.b.

²⁹ Dekret z dnia 2 lutego 1955 r. o ewidencji gruntów i budynków (Dz. U. Nr 6, poz. 32).

³⁰ R. Hudzik, R. Hycner, Ocena przydatności dokumentacji źródłowej byłego katastru pruskiego dla potrzeb ustalenia granic nieruchomości, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009, s. 31.

³¹ Tamże, s. 38.

³² Niestety w wielu powiatach nadal obowiązuje analogowa mapa ewidencyjna w skali 1:2880 i podlega bieżącej aktualizacji (stan na maj 2024 r.).

³³ Do których nie stosuje się przepisów ustawy z dnia 21 sierpnia 1997 r. o gospodarce nieruchomościami (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 344 z późn. zm.) art. 2 pkt 8.



Artur BIELA

Wojewódzka Inspekcja Geodezyjna
i Kartograficzna
<http://orcid.org/0000-0003-3370-3872>



Natalia JANCZEWSKA

Uniwersytet Śląski
<https://orcid.org/0000-0002-5424-5703>



Magdalena BIELA

Uniwersytet Śląski
<http://orcid.org/0000-0001-7589-502X>

DOI: 10.15199/50.2024.8.?

Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 2

Principles for Establishing the Boundaries of Properties Covered by Flowing Water – part 2

Grunt zajęty pod wodę płynącą należy do właściciela wód, którym w Polsce jest Skarb Państwa. Celem artykułu była analiza przepisów ustawy Prawo wodne dotyczących ustalenia linii brzegu, jako granicy nieruchomości należącej do właściciela wód, w odniesieniu do zasad pomiaru granic nieruchomości uregulowanych przepisami prawa geodezyjnego.

Ze względu na dynamiczny charakter linii brzegu, problemy z jej identyfikacją oraz błędy na mapach ewidencyjnych, zaproponowano odpowiedni schemat działania w celu prawidłowego wykazania stanu prawnego nieruchomości. Omówiono również wpływ, jaki ma tak ustalona granica na nieruchomości należących do właścicieli gruntów przyległych.

Słowa kluczowe: ustalenie linii brzegu, działka ewidencyjna, wody płynące, prawo wodne, prawo geodezyjne, granica nieruchomości, identyfikacja linii brzegu, własność wód

Land occupied by flowing water belongs to the owner of the waters, which in Poland is the State Treasury. The aim of the article was to analyze the provisions of the Water Law Act concerning the delimitation of the coastline, as the boundary of the property belonging to the owner of the waters, in relation to the principles of property boundary measurement regulated by geodetic law. Due to the dynamic nature of the coastline, problems with its identification, and errors on cadastral maps, an appropriate action scheme was proposed to correctly demonstrate the legal status of the property. The impact of such established boundaries on properties belonging to the owners of adjacent lands was also discussed.

Keywords: Delimitation of the coastline, Cadastral parcel, Flowing waters, Water law, Geodetic law, Property boundary, Coastline identification, Water ownership

1. Nieruchomości czy działka ewidencyjna?

Jak już wspomniano, prawne określenie zasięgu prawa zawsze będzie odbywać się poprzez wyodrębnienie działki ewidencyjnej. W orzecznictwie Sądu Najwyższego dominuje koncepcja pierwszeństwa wieczystoksięgowego modelu nieruchomości, w myśl której nieruchomością jest część powierzchni ziemskiej, dla której urządzono jedną księgę wieczystą; natomiast w przypadku braku księgi wieczystej sąsiadujące ze sobą grunty należące do tego samego podmiotu stanowią jedną nieruchomość¹. Taki podmiotowy model nieruchomości (inaczej niż w przypadku działki ewidencyjnej) nie wymaga spełnienia kryterium „ciągłości obszaru”, czyli nieruchomości może składać się z wielu niesąsiadujących ze sobą działek ewidencyjnych. Opis nieruchomości, czyli przestrzenny opis punktów załamania jej granic, nanoszony jest na mapę ewidencyjną. W zasobie geodezyjnym prowadzonym przez starostę gromadzone są informacje dotyczące granic, w postaci współrzędnych geodezyjnych w państwowym układzie odniesienia (wykaz współrzędnych) oraz wzajemnych relacji geometrycznych z innymi punktami granicznymi oraz szczegółami terenowymi (mapy i szkice graniczne). Dane te służą m.in. do odtworzenia w terenie zasięgu prawa własności.

Jeżeli brak jest dokumentacji, na podstawie której można odtworzyć usytuowanie granic nieruchomości lub jest ona niewystarczająca do okre-

ślenia jej położenia z odpowiednią precyzją, wówczas dane dotyczące jej położenia pozyskuje się w wyniku pomiarów geodezyjnych poprzedzonych ustaleniem przebiegu tych granic (§ 31 e.g.b.). Do ustalenia dochodzi w prawnie opisanej procedurze na podstawie zgodnych wskazań posiadaczy nieruchomości, lub w przypadku ich braku, ostatecznego spokojnego stanu posiadania, jeżeli wskazywany przebieg lub stan posiadania nie jest sprzeczny z informacjami zawartymi w dokumentach dotyczących przebiegu ustalanych granic. Jeżeli natomiast spokojnego stanu posiadania nie można stwierdzić lub jest on sprzeczny z informacjami zawartymi w dostępnych dokumentach, przebieg granic ustala się po zbadaniu położenia znaków i śladów granicznych oraz przeprowadzeniu analizy wszelkich dostępnych dokumentów, zawierających informacje mające znaczenie w tym zakresie. W przypadku, kiedy granica działki stanowi jednocześnie linię brzegu, to przebieg jej wykazuje się w ewidencji zgodnie z zasadami określonymi w przepisach art. 220 ust. 1-4 p.w. (§ 33a e.g.b.).

Określenie zasięgu nieruchomości zajętej przez wodę płynącą odbywa się w dwóch niezależnych procedurach. W pierwszej, na podstawie art. 220 p.w. w drodze decyzji administracyjnej wydanej przez właściwy organ administracji wodnej ustalana jest „linia brzegu”. W drugiej, na podstawie paragrafu 33a e.g.b., starosta w drodze materialno-technicznej wprowadza do operatu ewidencji gruntów i budynków wyniki pomiarów dokonanych przez uprawnionego geodetę, który w oparciu o kryteria opisane w art. 220 ust. 1-4 p.w. ustala „przebieg granic działek ewidencyjnych między gruntami tworzącymi dna i brzegi tych cieków, jezior i zbiorników a gruntami do nich przyległymi”. Pomimo że w obu procedurach dochodzi do określenia tej samej granicy na podstawie tych samych kryteriów, to konsekwencje

¹ Np. Sąd Najwyższy w wyroku z 18.10.2017 r., II CSK 798/16, wskazał, że „zawarta w art. 4 pkt 1 u.g.n. legalna definicja nieruchomości pokrywa się z pojęciem nieruchomości w rozumieniu art. 46 § 1 k.c. – jako części powierzchni ziemskiej stanowiącej odrębny przedmiot własności. Jeżeli księga wieczysta obejmuje więcej niż jedną działkę ewidencyjną, to w sensie prawnym istnieje jedna nieruchomość.

prawne ustalenia linii brzegu decyzją Ministra różnią się od ustalenia dokonanego na potrzeby ewidencji gruntów przez uprawnionego geodetę. W związku z tym ustawodawca wprowadził rozróżnienie przy określeniu przedmiotu ustalenia.

Należy podkreślić, że niezależnie od przyjętego trybu, podczas ustalania granic działek ewidencyjnych przy styku z linią brzegu bierze się pod uwagę zarówno kryteria prawne, czyli stan prawny na podstawie dostępnych dokumentów lub stanu posiadania, oraz wyniki pomiaru sytuacyjnego dokonanego w oparciu o kryteria topograficzne, wymienione w art. 220 ust. 1-4 oraz w art. 221 p.w.

Przed przystąpieniem do ustalenia linii brzegu geodeta powinien upewnić się, że wszystkie granice działek ewidencyjnych w obszarze opracowania mają charakter granic prawnych lub zostały uprzednio ustalone. Choć nie wynika to bezpośrednio z treści art. 220 p.w., to należy jednak mieć na uwadze, że projekt rozgraniczenia gruntów pokrytych wodami od gruntów przyległych opracowuje się na aktualnej mapie zasadniczej (zawierającej granice działek ewidencyjnych) czyli takiej, na której przebieg granic jest zgodny ze stanem prawnym nieruchomości oraz z dokumentami zgromadzonymi z zasobie geodezyjnym.

Przedstawienie ustalonej linii brzegu na mapie, na której nieprawidłowo przedstawiono istniejące granice działek ewidencyjnych jest niedopuszczalne, gdyż prowadzi do powstania błędów, których późniejsze usunięcie często będzie wręcz niemożliwe.

2. Ujawnianie w bazie EGiB gruntów zajętych przez wodę płynącą

Ustawa Prawo wodne koncentruje się na ustaleniu linii brzegu, jako jednej z granic nieruchomości zajętej przez wodę. Nie wskazuje jednak na konsekwencje wyznaczenia takiej linii dla pozostałych, istniejących w terenie, nieruchomości. Należy pamiętać, że linia brzegu stanowi jedną z granic działki ewidencyjnej, czyli do ustawowej definicji nieruchomości brakuje pozostałych, tworzących wraz z nią obszar zamknięty. Prawne wyznaczenie gruntu pokrytego śródlądowymi wodami płynącymi wymagać zatem będzie objęcia rozstrzygnięciem ministra właściwego do spraw gospodarki wodnej obu brzegów oraz, z uwagi na definicję działki ewidencyjnej², wydzielenie jej w granicach obrębu ewidencyjnego.

Niezależnie od przyjętej procedury, w której następuje określenie przebiegu linii brzegu, wymagane jest wykonanie pracy geodezyjnej przez uprawnionego geodetę. Przy ustalaniu linii brzegu geodeta sporządza projekt rozgraniczenia gruntów pokrytych wodami od gruntów przyległych zgłaszając do właściwego ośrodka dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej sporządzenie mapy do celów prawnych³. W przypadku ustalaniu granicy wód dla celów ewidencyjnych, praca geodezyjna, w ramach której będzie to przeprowadzane, będzie zawierać dokumentację jednoznacznie wskazującą jej przebieg (szkice, wykaz współrzędnych). Wyniki prac geodezyjnych przed przyjęciem do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (która w omawianych przypadkach skutkuje ujawnieniem jej wyników w ewidencji gruntów i budynków) podlegają weryfikacji przez starostę.

Pomiar linii brzegu (punktów załamania granicy), należy do pomiarów sytuacyjnych, w którym jako kryterium brane są pod uwagę widoczne w terenie szczegóły topograficzne, (lub dokumentacja sporządzona na potrzeby wykonania urządzenia wodnego). Dlatego ustawodawca przyjął, że projekt rozgraniczenia gruntów, wskazujący na przebieg linii brzegu, sporządzić może także osoba posiadająca uprawnienia zawodowe w dziedzinie geodezji i kartografii, w zakresie pomiarów sytuacyjno-wysokościowych⁴. Może wydawać się to wystarczające, gdyż w postępowaniu tym ustalany jest odcinek linii brzegu. Należy mieć jednak na uwadze, że

decyzja o ustaleniu linii brzegu podlega ujawnieniu w ewidencji gruntów i budynków⁵, a wyznaczone w tej procedurze punkty załamania linii brzegu należą jednocześnie do działek przyległych do brzegu. Oznacza to, że należy sporządzić wykaz zmian danych ewidencyjnych, dokonać obliczenia powierzchni nowych działek oraz i zawartych w nich użytków gruntowych. Dlatego też pracę taką powinien wykonać geodeta posiadający uprawnienia z zakresu opracowań do celów prawnych⁶. Te same uwagi będą aktualne w przypadku ustalenia przebiegu granic działek ewidencyjnych między gruntami tworzącymi dna i brzegi tych cieków, jezior i zbiorników a gruntami do nich przyległymi w trybie § 33a e.g.b.

3. Zajęcie terenu przez wodę płynącą

Zgodnie z art. 223 p.w. jeżeli śródlądowe wody płynące lub wody morza terytorialnego albo morskie wody wewnętrzne zajmują trwale, w sposób naturalny, grunt niestanowiący własności właściciela wód, grunt ten z chwilą zajęcia staje się z mocy prawa własnością właściciela wód. Należy podkreślić, że zajęcie, o którym mowa, dotyczy sytuacji, w której doszło do zmiany linii brzegu wody płynącej po tym, jak doszło do ukształtowania prawa własności gruntów poprzez wydzielenie działki ewidencyjnej. Zdąrza się jednak, że geodeta przystępując do pomiaru linii brzegu i stwierdzi, że przebieg cieku w terenie nie pokrywa się z jego przebiegiem na mapie ewidencyjnej i zakłada, że doszło do zajęcia terenu przez wodę. Należy jednak podkreślić, że aby wykazać, że doszło do takiego zajęcia należy pokazać uprzedni stan prawny, względem którego zajęcie to miało miejsce. Przez zajęcie należy bowiem rozumieć zdarzenie polegające na przesunięciu koryta rzeki w wyniku erozji lub migracji w miejsce, gdzie do chwili zajęcia znajdowały się grunty niestanowiące własności właściciela wód.

Koryto cieku nieuregulowanego jest dynamiczne. Jego zasięg, szerokość oraz przebieg nieustannie się zmienia. Z tego powodu działka określająca granicę koryta w połowie XX w. może obecnie przebiegać w całkowicie w innym miejscu, a co najmniej jej granice nie będą pokrywały się z granicami współczesnego koryta⁷.



Rys. 1 Zmiana kształtu koryta rzeki w latach 1977-2009, na odcinku pomiędzy obrębem Czemichów i Pozowice. Kolorem zielonym zaznaczona jest linia brzegu ustalana w roku 1977, kolorem czerwonym brzeg w roku 2009. (A. Bieda i R. Hycer, 2012, s. 6)

Na rys. 4 przedstawiona została zmiana kształtu koryta rzeki Wisły na odcinku, gdzie lewy brzeg był silnie narażony na erozję z widocznym poszerzeniem koryta. Zaobserwowane różnice sięgają nawet 30 metrów⁸. Inne badania, które przeprowadzono na korycie rzeki Panew wykazały, że tempo migracji związanej z meandrowaniem rzeki, może wynosić od 0,5 do

² Patrz § 7 e.g.i.b.

³ Patrz § 25 Rozporządzenia Ministra Rozwoju z dnia 18 sierpnia 2020 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (t.j. Dz. U. z 2022 r. poz. 1670).

⁴ Geodezyjne pomiary sytuacyjno-wysokościowe, realizacyjne i inwentaryzacyjne (art. 43 pkt 1 p.g.k.).

⁵ Zgodnie z dyspozycją art. 220 ust. 20 p.w., powtórzoną w art. 24 ust. 2a pkt 1 lit b w zw. z art. 23 ust. 3 pkt 1 lit h p.g.k.

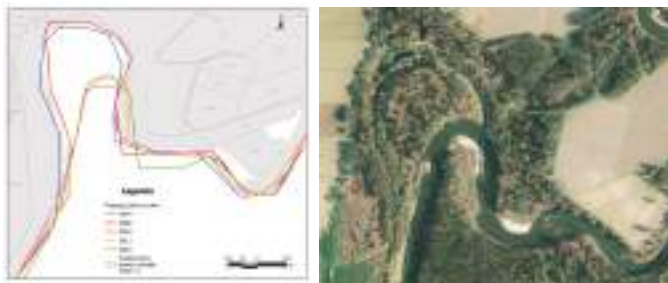
⁶ Uprawnienia o których mowa w art. 43 pkt 2 p.g.k. – rozgraniczanie i podziały nieruchomości (gruntów) oraz sporządzanie dokumentacji do celów prawnych, lub w art. 43 pkt 5 p.g.k. – geodezyjne urządzenie terenów rolnych i leśnych;

⁷ A. Bieda, R. Hycer, (2012). Changes in the shape of the riverbed over a period of time at the base of the Vistula River before Cracow. Geomatics and Environmental Engineering. 6. 21. 10.7494/geom.2012.6.1.21.

⁸ Tamże, s. 26.

107 cm/rok⁹. Nie oznacza to jednak, że rzeki na każdym odcinku migrują w takim tempie. Na tym samym przykładzie (rys. 4) widać, że prawy brzeg praktycznie nie wykazuje żadnych zmian przez okres 30 lat, przy czym różnice w jej przebiegu na mapie mogą wynikać z interpretacji linii brzegu¹⁰.

Bazując na obrazowaniach satelitarnych wykonanych w ramach misji Landsat 5 oraz Landsat 8 w latach 1984–2023, przy wykorzystaniu wskaźnika NDWI (Normalized Difference Water Index), który bazuje na dzieleniu międzykanałowym zdjęć zarejestrowanych w spektrum zielonym (GREEN) oraz bliskiej podczerwieni (NIR), zgodnie z metodologią zaproponowaną przez McFeeters¹¹, wyznaczono przebieg środka koryta rzeki Odry w okolicach Chałtupek.



Rys. 2 Przebieg osi koryta rzeki wyznaczonej na podstawie zdjęć satelitarnych – opracowanie własne, na drugim zdjęciu dane z geoportal.gov.pl

Rysunek 5 przedstawia typową sytuację, w której doszło do zajęcia terenu przez wodę płynącą (wskutek powodzi w 1997 r.). W analizowanym przypadku pozostał wyraźny ślad poprzedniego koryta w postaci starorzecza. Jednocześnie można zauważyć, że poza terenem, na którym doszło do migracji, oś rzeki praktycznie nie zmieniła się przez cztery dekady.

Powyższe przykłady obrazują, w jaki sposób dochodzi do zajęcia terenu przez wodę płynącą. Są to zjawiska naturalne o zbadanej etiologii. Naturalne procesy związane z erozją boczną koryta pozostawiają trwałe ślady w terenie.

Aby można było mówić o zajęciu gruntu przez wodę płynącą, należy najpierw wykazać, że linia brzegu uległa zmianie oraz kiedy to nastąpiło. W tym celu konieczne jest przedstawienie na mapie granic obszaru zajętego przez wodę przed zajęciem oraz stan po zajęciu. Jedynie w takim przypadku można wyznaczyć teren zajęty przez wodę i obliczyć jego powierzchnię. Jednak samo porównanie mapy ze stanem aktualnym może nie wystarczyć. W przypadkach, gdy koryto rzeki znajduje się w innym miejscu niż na mapie, geodeta może nie być w stanie określić, czy fakt ten spowodowany jest zajęciem terenu przez wodę (do którego doszło między sporządzeniem mapy a dniem przeprowadzania pomiarów), czy też wynika to z błędnego wykazania rzeki na mapie. Woda płynąca w granicach wykazanych w ewidencji gruntów i budynków często nie pokrywa się ze stanem faktycznym w terenie. Przyczyn takiego stanu, w wielu przypadkach, należy upatrywać w stosowanych metodach pomiarowych przy założeniu ewidencji gruntów i budynków oraz dopuszczalnych wówczas odchytek w instrukcjach w zakresie poligonizacji technicznej. Na ciągach poligonowych, gdzie dopuszczalne odchyłki wynosiły czasami kilka metrów w zależności od klasy poligonizacji, zakładano ciągi sytuacyjne, na których opierano linie pomiarowe, często w postaci „linii wiszących”, gdzie dochodziły następne błędy. W oparciu o tak założone konstrukcje, mierzone były punkty graniczne¹². Często też granice wód nie pochodziły z pomiaru bezpośredniego, nie poprzedzało ich też ustalenie linii brzegu w terenie.

Nie należy zatem zakładać, że przebieg rzek i potoków (szczególnie poza granicami miast) przedstawiony na mapie ewidencyjnej będzie pokrywał się z faktyczną ich lokalizacją w czasie kiedy mapa powstawała.

Z zajęciem terenu przez wodę płynącą wiąże się prawo do odszkodowania od Skarbu Państwa (art. 223 ust. 2 p.w.). Mając jednak na uwadze, że roszczenie to przedawnia się z terminem 2 lat od wystąpieniem szkody to uznać należy, że możliwe jest do uzyskania w sytuacji, kiedy do zajęcia doszło nagle i w sposób widoczny (tak jak np. w przypadku przedstawionym na rys. 5). Jeżeli erozja następuje powoli, w sposób ciągły, w tempie kilku centymetrów rocznie, wykazanie szkody w terminie 2 lat od zajęcia terenu może być niemożliwe. Dodać również należy, że ustalenie linii brzegu w przypadku zajęcia terenu przez wodę płynącą następuje na koszt właściciela wód (art. 222 ust. 19 p.w.), czyli Skarbu Państwa.

4. Ustalenie linii brzegu

Wyznaczenie linii brzegu odbywa się za pomocą danych określonych na podstawie wyników geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych (art. 220 ust. 1–4 p.w.), a w przypadku urządzenia wodnego wg. dokumentacji sporządzonej na potrzeby jego wykonania lub innych materiałów. W przypadku braku takiej dokumentacji, w granicach urządzenia wodnego wyznacza się obszar niezbędny dla zachowania ciągłości cieku w przypadku likwidacji tego urządzenia, zgodnie z ustalonymi kryteriami (art. 221 ust. 2 i 3 p.w.).

Decyzję ustalającą linię brzegu wydaje się na podstawie projektu rozgraniczenia gruntów pokrytych wodami od gruntów przyległych, który składa się z części opisowej zawierającej dane wnioskodawcy, przyjęty sposób ustalenia projektowanej linii brzegu, ustalenie stanu prawnego nieruchomości objętych projektem oraz sposób zagospodarowania gruntów przyległych do projektowanej linii brzegu. Natomiast wykazanie projektowanej linii brzegu oraz elementów istotnych dla przyjętego sposobu ustalenia tej linii następuje odpowiednio na kopii mapy zasadniczej, jeżeli linia brzegu jest wynikiem pomiarów sytuacyjnych lub na kopii mapy powykonawczej, w przypadku budowli regulacyjnych.

Obowiązek wykazania stanu prawnego nieruchomości objętych projektem, sposób zagospodarowania gruntów przyległych do projektowanej linii brzegu oraz przedstawienie projektu na aktualnej kopii mapy zasadniczej oznacza, że przed rozpatrzeniem wniosku należy wpisy w ewidencji gruntów i budynków w obszarze opracowania doprowadzić do zgodności ze stanem faktycznym i prawnym w zakresie granic działek ewidencyjnych, konturów użytków gruntowych oraz danych podmiotowych.

Projekt z naniesionymi liniami rozgraniczającymi jest w rozumieniu prawa geodezyjnego „mapą do celów prawnych” wobec czego jego sporządzenie podlega zgłoszeniu, a wyniki pracy, w ramach której powstał, weryfikacji i włączeniu do zasobu geodezyjnego. Decyzja, w której dochodzi do zatwierdzenia projektowanej linii brzegu również podlega przekazaniu do zasobu geodezyjnego, gdzie stanowi podstawę zmian w odpowiednich rejestrach (art. 220 ust. 20 oraz art. 23 ust. 3 pkt. 1 lit. h p.g.k.). Ustawa Prawo wodne nie przewiduje jednak, że operat ze sporządzenia projektu linii brzegu podlega przyjęciu do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego przed wydaniem decyzji w sprawie ustalenia linii brzegu¹³. Rodzi to niebezpieczeństwo, że projekt może zostać sporządzony na mapie nieaktualnej, a to doprowadzić może do zatwierdzenia granicy nieruchomości niezgodnie ze stanem prawnym.

Zakres pracy geodety przy sporządzaniu projektu rozgraniczenia gruntów pokrytych wodami od gruntów przyległych można podzielić na trzy etapy. W pierwszym dokonuje on aktualizacji bazy danych obiektów topograficznych o szczegółowości zapewniającej tworzenie standardowych opracowań kartograficznych w skalach 1:500–1:5000 (aktualizacja mapy zasadniczej), w tym bazę danych ewidencji gruntów i budynków (w zakresie granic działek, użytków gruntowych i danych podmiotowych). W drugim etapie dopiero może dokonać pomiaru sytuacyjnego zgodnie z wytycznymi zawartymi w art. 220 ust. 1–4 p.w. Na koniec zaś sporządza dokumentację służącą do aktualizacji baz danych, w szczególności w zakresie granic działek ewidencyjnych.

⁹ I. Malik, Rekonstrukcja tempa migracji bocznej koryta rzeki Małej Panwi na podstawie datowań kłód i drzew, *Przegląd Geologiczny*, 2002, nr 5, s. 454–457.

¹⁰ A. Bieda, *Changes in the shape...*, s. 26

¹¹ McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

¹² L. Pietrzak, „Ustalenie linii brzegu i pomiar sytuacyjny linii brzegu w jednostkowych opracowaniach geodezyjnych i w procedurze modernizacji ewidencji gruntów i budynków”, *Przegląd Geodezyjny*, no. 3 (2017), s. 14.

¹³ Rozwiązanie takie przewiduje § 3 ust. 2 Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 7 grudnia 2004 r. w sprawie sposobu i trybu dokonywania podziałów nieruchomości (Dz. U. Nr 268, poz. 2663).

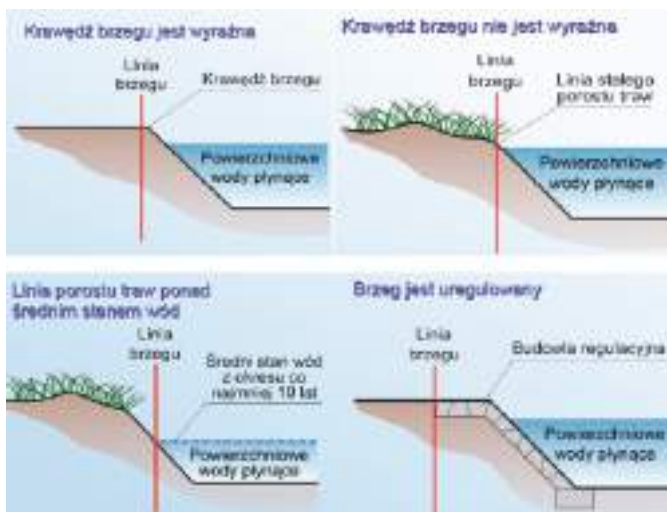
W przypadku rozgraniczenia gruntów, na których wykonano urządzenie wodne projekt sporządza się na mapie z inwentaryzacji powykonawczej budowli regulacyjnych. Nie wykonuje się w takim przypadku pomiaru sytuacyjnego, bowiem podstawą rozgraniczenia jest dokumentacja sporządzona na potrzeby wykonania urządzenia wodnego.

5. Pomiar linii brzegu

5.1. Kryteria ustalenia linii brzegu

Zasady pomiaru sytuacyjnego linii brzegu określa art. 220 ust. 1 – 4 p.w. Szczegółami terenowymi wyznaczającymi linię brzegu są: krawędź brzegu, linia stałego porostu traw, linia średniego stanu wody z okresu co najmniej ostatnich 10 lat oraz krawędzie budowli regulacyjnych. Jeżeli przy brzegu znajduje się natomiast plantacja wikliny założona na gruntach uzyskanych w wyniku regulacji – granica tej plantacji od strony łądu.

■ Krawędź brzegu – jeżeli krawędź ta jest wyraźna to wyznacza linię brzegu. Kryterium to stanowiło podstawę linii brzegu już w ustawie wodnej z dnia 19 września 1922 r. (Dz.U. z 1922 r. nr 102, poz. 936), gdzie w art. 6 zapisano „Granice między łożyskiem wody a przyległymi gruntami oznacza się, gdzie jest wyraźna krawędź brzegu, według tej krawędzi, zresztą według granicy porostu traw, o ile zaś ta granica leży powyżej zwyczajnego (średniego) stanu wody – według tegoż stanu wody”. Ustawodawca nie sprecyzował jednak, czym jest krawędź brzegu oraz co oznacza, że jest ona wyraźna, pozostawiając to uznaniu geodety. Należy założyć, że wyraźną krawędź będzie posiadał taki brzeg, którego wyznaczenie nie wymaga interpretacji i jednoznacznie wyznacza granice wód. Mimo intuicyjnej interpretacji tego przepisu należy wskazać na wątpliwości, które wynikają z jego zastosowania. W praktyce jak i literaturze¹⁴ bardzo często, jako wyraźną krawędź terenu pokrytego wodą płynącą wskazuje się linię wyznaczaną przez górną krawędź skarpy uregulowanego brzegu.

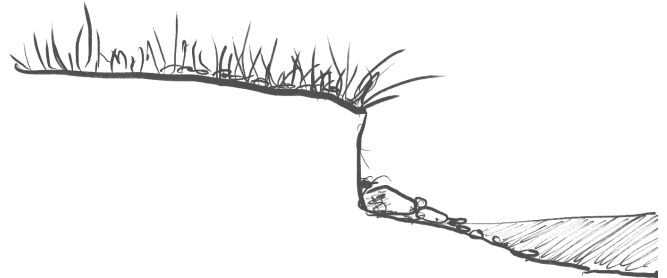


rys. 3 Kryteria ustalania linii brzegu wg. K. Kowalski (2010)



rys. 4 Górna krawędź skarpy interpretowana jako wyraźna krawędź brzegu – źródło RZGW Gliwice

Przed wszystkim na przedstawionych przykładach mamy do czynienia z brzegiem urządzonym, czyli zastosowanie mają przepisy dotyczące wykonania urządzenia wodnego, ponadto tak wyznaczona krawędź brzegu nie pokrywa się z pojęciem linia brzegu, która zlokalizowana jest pomiędzy zwierciadłem wody a powierzchnią łądu i wyznacza się ją przy średniej rzędnej zwierciadła¹⁵. Za uznanie uregulowanej skarpy, jako elementu budowli regulacyjnych świadczy to, że powstała w ramach przedsięwzięć dotyczących kształtowania przekroju podłużnego i poprzecznego oraz układu poziomego koryta cieku naturalnego (por. art. 236 ust. 1 p.w.). Z wyrażną krawędzią brzegu, w rozumieniu ustawy, będziemy mieć natomiast do czynienia w przypadku koryta naturalnego i jego krawędzi powstałej w wyniku erozji spowodowanej przez wodę.



rys. 5 Krawędź brzegu naturalnego – opracowanie własne

■ Linia stałego porostu traw – w przypadku, kiedy krawędź brzegu nie jest wyraźna wówczas linię brzegu wyznacza linia stałego porostu traw (jeżeli nie leży ona powyżej średniego stanu wód z ostatnich 10 lat). Ustawodawca nie precyzuje jednak, czy chodzi tu o trawy rosnące na łądzie czy o rośliny występujące w toni wody, dlatego też warto rozważyć oba te przypadki. Duża wilgotność gleby wzdłuż brzegów rzek sprzyja wzrostowi przedstawicieli traw i innych gatunków roślin jednoliściennych, rozprzestrzeniających się głównie za pomocą podziemnych kłączy, tworząc rozległe kolonie. Linię porostu traw pokrywającą się z linią brzegu będą tworzyły rośliny lądowe, dla których granicą występowania będzie styk terenu ze zwierciadłem wody, ale również rośliny rosnące wyłącznie w toni wodnej, w takim przypadku od strony wody. W strefie brzegowej rzeki rośnie także wiele gatunków roślin jednoliściennych (traw), których zasięg nie zawsze będzie jednak wyznaczał linię brzegu. Pospolitym i zajmującym największe powierzchnie gatunkiem jest trzcina pospolita (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), pałka szerokolistna (*Typha latifolia* L.) i pałka wąskolistna (*Typha angustifolia* L.), rosnące na brzegach rzek, zazwyczaj 7–10 cm poniżej zwierciadła wody do głębokości 15 cm. Przy większej głębokości przewagę w konkurencji uzyskuje pałka wąskolistna (*Typha angustifolia* L.) występująca najczęściej nieco dalej od brzegu. Innymi gatunkami są: Manna mielec (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.) i mozga trzcino-wata (*Phalaris arundinacea* L.) stanowiące przykład traw związanych z siedliskami podmokłymi, w których silnie się zakorzeniają. Trawom towarzyszą turzycy, błotna (*Carex acutiformis* Ehrh.), związana z podmokłymi łąkami i brzegowa (*Carex riparia* Curtis), występująca na podmokłych siedliskach, głównie szuwarach niskoturzycowych, w miejscach okresowo zalewanych. Opierając się na analizie biologii traw wyznaczając miejsca stałego ich porostu w rzece uwzględnić należy zakres występowania gatunków pałek – szczególnie pałki szerokolistnej oraz turzycy brzegowej. Warto rozważyć analizę miejsca ich występowania w okresie maksymalnego wzrostu – czerwiec/lipiec. Za linię stałego porostu traw wydaje się słusznym przyjąć najbliższą brzegu położone granice płątów *Typha latifolia*, przerastane przez mannę mielec¹⁶. W celu uzyskania odpowiedzi jakie gatunki należy mieć na uwadze wyznaczając linie brzegu potrzebne są badania *in situ*, weryfikujące

¹⁵ E. Bajewicz, Hydrologia ..., s. 217.

¹⁶ K. Szoszkiewicz, Sz. Jusik, T. Zgoła: Klucz do oznaczania makrofitytów dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych. Warszawa: Inspekcja Ochrony Środowiska, 2010, seria: Biblioteka Monitoringu Środowiska. ISBN 978-83-61227-32-8.

podane powyżej propozycje, uwzględniające powszechnie występujące gatunki traw o nieco węższej amplitudzie ekologicznej w porównaniu do trzciny pospolitej. Roślinność trawiasta pokrywająca strefę brzegową od strony lądu będzie znacznie bardziej zróżnicowana, a jej skład gatunkowy będzie zależny przede wszystkim od rodzaju gleby, na której rośnie, oraz od odległości od lustra wody. W praktyce dominuje pogląd, że linia stałego porostu traw dotyczy właśnie roślinności lądowej stanowiąc wskaźnik zasięgu poziomu wody gdyż rośliny lądowe nie przekraczają linii wyznaczonej przez średni poziom wód. Linia stałego porostu traw obecna w prawie wodnym od 1922 r. wbrew pozorom nie stanowi jednoznacznego kryterium wyznaczenia linii brzegu. Do traw w ujęciu botanicznym należy grupa gatunków o określonych cechach i pełniących określone funkcje w środowisku. Granica występowania wielu z gatunków traw, nie zawsze będzie wyznaczać linii brzegu, co może wynikać m.in. z lokalnych warunków siedliskowych. Dlatego też bez opracowania szczegółowych uwarunkowań występowania poszczególnych gatunków w strefach brzegowych oraz uwzględnienia warunków środowiskowych kryterium to na obecnym etapie rozpoznania nie powinno stanowić jedynej podstawy rozstrzygnięcia wątpliwości. Granica występowania wielu z gatunków traw, nie będzie również wyznaczać linii brzegu z tego powodu, że rośliny te mogą rosnąć zarówno w toni wody jak i na lądzie. Dlatego też bez wyszczególnienia konkretnych gatunków roślin i bez uwzględnienia warunków środowiskowych kryterium to nie jest jednoznaczne.

■ Linia średniego stanu wody z okresu co najmniej ostatnich 10 lat. – jeżeli krawędź brzegu nie jest wyraźna, a linii stałego porostu traw brak, lub znajduje się ona powyżej średniego stanu wód, wówczas linię brzegu określa linia przecięcia się zwierciadła wody z gruntem przyległym wg. średniego stanu wody z okresu co najmniej ostatnich 10 lat. Niestety w określeniu tego kryterium geodeta jest bezradny. Nie ma bowiem możliwości określenia średniego stanu wód z takiego okresu czasu. Aby móc zastosować te kryterium należałoby się posłużyć odpowiednią ekspertyzą lub oprzeć na wynikach pomiaru stanu wód w oparciu o zarejestrowane odczyty z wodowskazu. Wodowskazy jednak służą monitoringowi sytuacji hydrologicznej i nie występują na każdym cieku, np. na krótkich górskich ciekach o wysokiej dynamice zmian zasięgu koryta, które powinny często podlegać procesowi ustalania linii brzegu.

■ Granica plantacji wikliny – kryterium te wprowadzone pierwotnie ustawą z 18 lipca 2001 r. i powtórzone w ustawie z 2017 r. dotyczy wyłącznie sytuacji, kiedy plantacja taka powstała na gruntach uzyskanych w wyniku regulacji wód. Z uwagi, że mowa tu o terenach „uzyskanych po regulacji wód”, przyjąć należy, że dotyczy to gruntów wcześniej zajętych przez wodę. Mamy tu więc do czynienia z granicą terenu uzyskanego w wyniku regulacji, czyli terenu zajętego przez wodę przed regulacją oraz granicą plantacji od strony lądu. Jeżeli plantacja wikliny przekracza teren wcześniej zajęty przez wodę, wówczas fragment ten nie spełnia warunku „plantacji wikliny założonej na gruntach uzyskanych w wyniku regulacji”. Jeżeli natomiast teren zajęty przez wodę przed regulacją jest większy niż powstała w tym miejscu plantacja wówczas w myśl art. 225 ust. 1 p.w., zgodnie z którym grunty powstały w wyniku wykonania budowli regulacyjnych pozostają własnością dotychczasowego właściciela wód, granica plantacji przestaje mieć znaczenie. Niestety z uzasadnieniem projektu ustawy i innych dokumentów powstałych podczas legislacji brak jest odniesienia do celowości wprowadzenia tego kryterium, jednakże biorąc pod uwagę szczególny jej charakter, problem ustalenia linii brzegu w takich okolicznościach należy uznać za marginalny.

Z analizy powyższych przepisów wynika, że linię brzegu naturalnego wyznacza styk zwierciadła wody z powierzchnią terenu przyległego¹⁷. Poziom wody, w którym należy tę linię wykazać wyznacza średni (minimum 10 letni) poziom wód. Stosunkowo łatwa do identyfikacji linia trwałego porostu traw, również kształtowana jest przez średni stan wody występu-

jący w okresie wegetacji. Przy takiej interpretacji utożsamianie „wyraźnej krawędzi brzegu” z górną krawędzią skarpy brzegu urządzonego należy ocenić krytycznie. Granice nieruchomości należących do właścicieli wód wyznaczają zatem: krawędź brzegu ukształtowana przez erozję, linie przecięcia się zwierciadła wody przy średnim stanie wód z gruntem przyległym oraz łączące zewnętrzne krawędzie budowli regulacyjnych.

5.2. Pomiar sytuacyjny

Źródłem pozyskania informacji o linii brzegu naturalnego jest pomiar sytuacyjny¹⁸. Geodezyjne pomiary sytuacyjne i wysokościowe wykonuje się z wykorzystaniem metod, technik i technologii zapewniających uzyskanie dokładności położenia punktów szczegółów terenowych i spełnienie warunków wykonywania pomiarów. Wybór stosowanych metod, technik i technologii, spełnienie warunków wykonywania pomiarów oraz zapewnienie wymaganej dokładności spoczywa na kierowniku prac geodezyjnych¹⁹. Granice cieków i zbiorniki wodne o naturalnych liniach brzegowych należą do III grup szczegółów terenowych, których pomiar następuje z precyzją nie mniejszą niż 0,50 m. Dokładność taką można uzyskać przez pomiar bezpośredni lub za pomocą teledetekcji. W przypadku wyraźnej krawędzi brzegu lub, kiedy pomiar dokonywany jest w oparciu o średni poziom wód, można zastosować pomiar bezpośredni. Natomiast w terenach trudnodostępnych, gdzie krawędź brzegu wymaga interpretacji, jest mocno zarośnięta lub pod osłoną drzew pomiar taki będzie utrudniony. W takich przypadkach informacje o lokalizacji linii brzegu można pozyskać z wysokorozdzielczości Numerycznego Modelu Terenu (DEM – Digital Elevation Model), który w Polsce, w rozdzielczości 1 m, został wykonany przez Głównego Geodetę Kraju dla całego kraju. Model ten jest aktualizowany oraz darmowy i ogólnodostępny. Sam DEM, przy zastosowaniu narzędzi Geograficznych Systemów Informacyjnych (GIS) pozwala na modelowanie kierunku spływu i akumulację przepływu, a stąd w szybki sposób można pozyskać dość precyzyjną informację o aktualnym przebiegu cieków. Właściwości absorpcyjne powierzchni wody nie pozwalają natomiast na pozyskanie danych o morfologii koryta, z tego powodu skaniny np. technologią LiDAR czy detektory multispektralne mogą wskazywać wyłącznie wahania wysokości lustra wody oraz ukształtowanie brzegów koryta²⁰.



Rys. 6 Numeryczny model terenu przedstawiający tereny zajęte przez wodę (www.geoportal.gov.pl)

Skaning lotniczy wraz z pozyskaniem materiałów fotogrametrycznych ma potencjał w określaniu charakteru koryta oraz aktualnego jego zasięgu (w tym morfologii brzegów). Potencjał tej metodologii, obok opisaną wcześniej metody z wykorzystaniem wskaźnika NDWI, może być kluczowy w przypadku określania linii brzegu w tzw. trudnym terenie.

¹⁸ Dla brzegów regulowanych źródłem informacji jest dokumentacja sporządzona na potrzeby wykonania urządzenia wodnego, a w przypadku jej braku – dostępne materiały (art. 221 ust. 2 p.w.).

¹⁹ Patrz § 3 Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 18 sierpnia 2020 r. w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego (t.j. Dz. U. z 2022 r. poz. 1670).

²⁰ Paul, Jonathan & Buytaert, Wouter & Sah, Neeraj. (2020). A Technical Evaluation of Lidar-Based Measurement of River Water Levels. Water Resources Research. 56. e2019WR026810. 10.1029/2019WR026810.

¹⁷ Tak samo stwierdził Naczelny Sąd Administracyjny w postanowieniu z 12.05.2011 r., III CSK 238/10

Na problemy w identyfikacji linii brzegu wskazuje się w literaturze²¹. Pomimo niewątpliwych zalet opisanych metod teledetekcyjnych, w świetle obowiązujących przepisów (punkty załamania granic pozyskuje się z dokładnością nie mniejszą niż 10 cm) nie mogą być wykorzystane jako jedyne źródło informacji o przebiegu linii brzegu. Jednakże, w połączeniu z innymi metodami zapewniającymi wymaganą przez przepisy dokładność, stanowią doskonałe narzędzie wspomagające pracę geodetów. Jest także skutecznym instrumentem do różnorodnych analiz oraz identyfikacji obszarów wymagających aktualizacji.

Artykuł recenzowany

Literatura

- [1] Galicka I., Prawo dostępu do wody w systemie Organizacji Narodów Zjednoczonych i Unii Europejskiej, Zeszyt Prawniczy UAM 12, 2022, s. 59.
- [2] Szuwalski P. [w:] Prawo wodne. Komentarz do wybranych przepisów, LEX/el. 2019, art. 1.
- [3] Marszelewski, M., Marszelewski, W. (2014). "Problemy własności jezior w Polsce", Przegląd Prawa Ochrony Środowiska, No. 3, s. 29. DOI: 10.12775/PPOS.2013.013.
- [4] Bajkiewicz-Grabowska E., Hydrologia ogólna, Warszawa 2020, s. 88.
- [5] Hycner R, Połec T, Kryteria rozgraniczania nieruchomości w świetle przepisów oraz orzecznictwa Sądu Najwyższego i Naczelnego Sądu Administracyjnego, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009 s. 62.
- [6] Swaczyna B., Prawne wyodrębnienie gruntu na powierzchni ziemi, „Rejent” 2002/9, s. 97.
- [7] Maślanka M., Ograniczenia w rozporządzaniu nieruchomościami gruntowymi pokrytymi śródlądowymi wodami płynącymi, PPP 2024, nr 2, s. 52.
- [8] Rudnicki S., Prawo obrotu nieruchomościami, Warszawa 1995, s. 22.
- [9] Hudzik R., Hycner R., Ocena przydatności dokumentacji źródłowej byłego katastru pruskiego dla potrzeb ustalenia granic nieruchomości, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009, s. 31.
- [10] Bieda A, Hycner R., (2012). Changes in the shape of the riverb Bed over a period of time at the base of the Vistula River before Cracow. Geomatics and Environmental Engineering. 6. 21. 10.7494/geom.2012.6.1.21.
- [11] Malik I., Rekonstrukcja tempa migracji bocznej koryta rzeki Małej Panwi na podstawie datowań kłód i drzew, Przegląd Geologiczny. 2002, nr 5, s. 454-457.
- [12] McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- [13] Pietrzak L., "Ustalenie linii brzegu i pomiar sytuacyjny linii brzegu w jednostkowych opracowaniach geodezyjnych i w procedurze modernizacji ewidencji gruntów i budynków", Przegląd Geodezyjny, no. 3 (2017), s. 14.
- [14] Kowalski K. 2010. Gospodarka nieruchomościami pokrytymi powierzchniami wodami płynącymi. Wrocław 2010.
- [15] Szoszkiewicz K, Jusik Sz., Zgoła T.: Klucz do oznaczania makrofitów dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych. Warszawa: Inspekcja Ochrony Środowiska, 2010, seria: Biblioteka Monitoringu Środowiska. ISBN 978-83-61227-32-8.
- [16] Paul, Jonathan & Buytaert, Wouter & Sah, Neeraj. (2020). A Technical Evaluation of Lidar-Based Measurement of River Water Levels. Water Resources Research. 56. e2019WR026810. 10.1029/2019WR026810.
- [17] Mączyńska A., Kwartnik-Pruc A., (2016). Problematyka różnicowania postępowań administracyjnych dotyczących ustalenia linii brzegu. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. II. 233–245. 10.14597/infraeco.2016.2.1.016.
- [18] Raguszczyńska M., Przejsie do zasobu nieruchomości Skarbu Państwa gruntów pokrytych śródlądowymi wodami płynącymi – deklaratoryjny charakter decyzji. Omówienie do decyzji SKO z dnia 9 sierpnia 2021 r., SKO 4213/1/21, OWSS 2021, nr 4, s. 34.

²¹ Patrz. A. Mączyńska, A Kwartnik-Pruc, (2016). Problematyka różnicowania postępowań administracyjnych dotyczących ustalenia linii brzegu. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. II. 233–245. 10.14597/infraeco.2016.2.1.016.

**Artur BIELA**

Wojewódzka Inspekcja Geodezyjna
i Kartograficzna
<http://orcid.org/0000-0003-3370-3872>

**Natalia JANCZEWSKA**

Uniwersytet Śląski
<https://orcid.org/0000-0002-5424-5703>

**Magdalena BIELA**

Uniwersytet Śląski
<http://orcid.org/0000-0001-7589-502X>

DOI: 10.15199/50.2024.9.7

Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 3

Principles for Establishing the Boundaries of Properties Covered by Flowing Water – part 3

Grunt zajęty pod wodę płynącą należy do właściciela wód, którym w Polsce jest Skarb Państwa. Celem artykułu była analiza przepisów ustawy Prawo wodne dotyczących ustalenia linii brzegu, jako granicy nieruchomości należącej do właściciela wód, w odniesieniu do zasad pomiaru granic nieruchomości uregulowanych przepisami prawa geodezyjnego.

Ze względu na dynamiczny charakter linii brzegu, problemy z jej identyfikacją oraz błędy na mapach ewidencyjnych, zaproponowano odpowiedni schemat działania w celu prawidłowego wykazania stanu prawnego nieruchomości. Omówiono również wpływ, jaki ma tak ustalona granica na nieruchomości należących do właścicieli gruntów przyległych.

Słowa kluczowe: ustalenie linii brzegu, działka ewidencyjna, wody płynące, prawo wodne, prawo geodezyjne, granica nieruchomości, identyfikacja linii brzegu, własność wód

Land occupied by flowing water belongs to the owner of the waters, which in Poland is the State Treasury. The aim of the article was to analyze the provisions of the Water Law Act concerning the delimitation of the coastline, as the boundary of the property belonging to the owner of the waters, in relation to the principles of property boundary measurement regulated by geodetic law. Due to the dynamic nature of the coastline, problems with its identification, and errors on cadastral maps, an appropriate action scheme was proposed to correctly demonstrate the legal status of the property. The impact of such established boundaries on properties belonging to the owners of adjacent lands was also discussed.

Keywords: Delimitation of the coastline, Cadastral parcel, Flowing waters, Water law, Geodetic law, Property boundary, Coastline identification, Water ownership

1. Linia brzegu a granice sąsiednich nieruchomości

Każde wyznaczenie nowej działki zajętej przez wodę lub zmiana jej granic następująca w wyniku kolejnego ustalenia linii brzegu, pociąga za sobą zmianę granic i powierzchni działek sąsiednich. Chociaż mogło by się wydawać, że z perspektywy decyzji ustalającej linię brzegu nie ma znaczenia, w obrębie których działek znajduje się wyznaczona na mapie linia brzegu (gdyż zatwierdza ona wyłącznie linię brzegu), to jest to jednak kwestia kluczowa w kontekście prawa własności oraz prowadzonej na tym obszarze ewidencji gruntów i budynków. Ma to również bezpośredni wpływ na ustalenie wysokości odszkodowania za zajęcie gruntu przez wodę płynącą.

Jak już wcześniej wspomniano, przejście na własność Skarbu Państwa gruntu, zajętego przez wodę płynącą, stanowi pierwotne nabycie prawa¹, do którego dochodzi z mocy samego prawa. Decyzja ustalająca linię brzegu ma jednak charakter konstytutywny². Kształtuje nowy stan prawny i w pewnym sensie zastępuje procedurę rozgraniczeniową. Decyzja ta wprawdzie może inicjować proces regulacji zmian własnościowych, ale organ administracji ustalający linię brzegu nie jest uprawniony do rozstrzygania stanu prawnego nieruchomości, nawet zatem, jeżeli decyzja taka wpływa bezpośrednio na treść i zakres prawa własności, rozstrzy-

gnięcie w tym przedmiocie należy do sądów powszechnych³. Dopiero decyzja wydana na podstawie art. 218 w zw. z art. 223 p.w. o przejściu do zasobu nieruchomości Skarbu Państwa gruntu zajętego przez wodę, która ma charakter deklaratoryjny i kształtuje stan prawny nieruchomości⁴.

Pierwotne ukształtowanie prawa własności nieruchomości wiąże się z określeniem jego zasięgu i następuje niezależnie od dotychczasowego stanu własności. Oprócz samej linii brzegu powstają punkty przecięcia tak wyznaczonej działki z istniejącymi granicami, które muszą być określone w sposób prawidłowy. Jeżeli przy ustalaniu granic nowej nieruchomości określi się jej położenie względem pozostałych granic, wykazanych na mapie ewidencyjnej nieprawidłowo, wówczas tak ukształtowane granice nieruchomości utrwalają ten błędny stan, znacznie utrudniając doprowadzenie przebiegu granic do zgodności ze stanem prawnym.

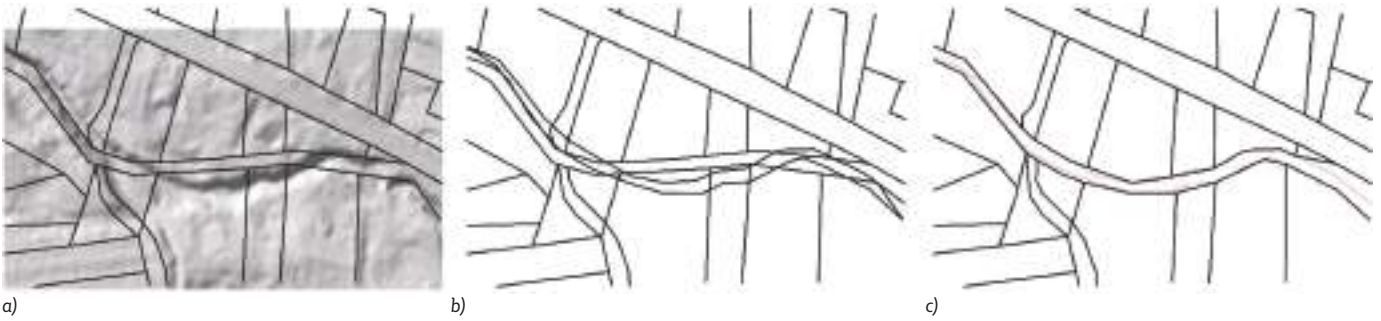
Przyjęcie, przy ustalaniu linii brzegu, za prawidłowe granice powstałe z digitalizacji analogowych map ewidencyjnych, bez ich weryfikacji, doprowadzić może do tego, że działki przyległe do wody będą posiadały jedną z granic ustaloną (od strony wody) jednocześnie pozostałe będą wykazane błędnie. Może to spowodować, że odszkodowanie za zajęcie gruntu przez wodę zostanie przyznane w nieprawidłowo ustalonej wysokości lub nawet niewłaściwemu podmiotowi.

¹ Oznacza to, że nabywca nie wywodzi swego prawa od poprzednika, lecz nabywa je niezależnie od czyichkolwiek uprawnień.

² Por. Postanowienie Sądu Najwyższego z 17.10.2019 r., IV CSK 314/18, OSNC-ZD 2021, nr 3, poz. 21. postanowienie Sądu Najwyższego z dnia 20 maja 2015 r., I CSK 502/14, nie publ., oraz wyrok Sądu Najwyższego z dnia 3 kwietnia 2014 r., IV CSK 466/13, nie publ.)

³ Tak w wyr. Naczelnego Sądu Administracyjnego z dnia 18 września 2018 r., II OSK 1238/16, nie publ., i z dnia 18 września 2018 r., II OSK 1239/16, nie publ.).

⁴ M. Raguszevska, Przejście do zasobu nieruchomości Skarbu Państwa gruntów pokrytych śródlądowymi wodami płynącymi – deklaratoryjny charakter decyzji. Omówienie do decyzji SKO z dnia 9 sierpnia 2021 r., SKO 4213/1/21, OwSS 2021, nr 4, s. 34.



Rys. 1 Pomiar linii brzegu na tle mapy ewidencyjnej – opracowanie własne, a) stan ewidencji gruntów w odniesieniu do koryta rzeki wg. DTM; b) naniesienie pomierzonej linii brzegu bez ustalania granic; c) rozmieszczenie działek ewidencyjnych z uwzględnieniem pomiaru linii brzegu oraz po ustaleniu granic.

Na rys. 10 przedstawiono problem z aktualizacją przebiegu granicy terenu zajętego przez wodę na mapie powstałej z digitalizacji mapy pochodzącej z katastru austriackiego w skali 1:2880, kiedy brak jest dokumentów mogących służyć do ustalenia granic. Po analizie przeprowadzonej w terenie, geodeta ustalił jednak, że rzeka znajduje się w obecnych liniach brzegu niezmiennie od ponad 100 lat, a stan ujawniony na mapie jest nieprawidłowy. Na potwierdzenie tego faktu właściciele gruntów przyległych wskazali, że zgodnie z mapą, rzeka znajdowałaby się pod wybudowanym w latach 30 XX w. budynkiem gospodarczym. Na taki stan wskazują również ślady koryta w terenie jak i rosnące przy brzegu wieloletnie drzewa.

Jeżeli geodeta nie ustaliłby uprzednio granic, przyjmując, że mapa ewidencyjna zawiera prawidłowe granice działek na obszarze opracowania, a brzeg uległby erozji – wówczas powstałaby mapa przedstawiona na rys. 10 wariant b), a w konsekwencji, w celu doprowadzania do zgodności stan użytkowania ze stanem prawnym właściciele działek ewidencyjnych musieliby uregulować stan prawny np. przez zasiedzenie nieruchomości. Natomiast po ustaleniu granic dochodzących do linii brzegu na podstawie stanu spokojnego posiadania i zgodnego oświadczenia właścicieli, którzy twierdzili, że ich nieruchomości dochodzą do brzegu rzeki, która od „zawsze” znajdowała się tam gdzie znajduje się obecnie, powstanie mapa przedstawiona w wariantcie c), prawidłowo przedstawiająca stan prawny nieruchomości.

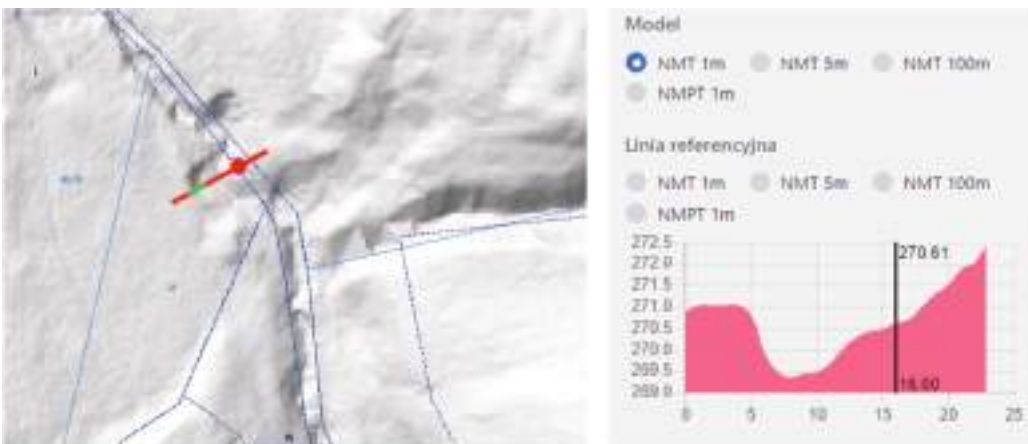
2. Zasady postępowania przy ustaleniu linii brzegu

Przystępując do ustalenia linii brzegu, przed rozpoczęciem pomiaru sytuacyjnego, należy sprawdzić, czy stan ujawniony na mapie odpowiada stanowi faktycznemu w terenie. W przypadku, kiedy granice wody płynącej na mapie wymagają aktualizacji (korekty) należy ustalić przyczyny takiego stanu rzeczy. Różnica w przebiegu cieku na mapie i w terenie może mieć dwie przyczyny. Pierwsza, spowodowana jest zmianą lokalizacji koryta rzeki wskutek procesów naturalnych (erozja brzegu lub migracja) lub działalnością człowieka (regulacja wód). Drugą przyczyną jest błędne (pierwotnie) naniesienie granic wody płynącej na mapie.

W obu przypadkach zakres niezbędnych do wykonania przez geodetę prac będzie odmienny. W przypadku stwierdzenia erozji brzegu lub migracji koryta należy przedstawić na mapie stan aktualny na tle stanu prawnego działek znajdujących się w zakresie opracowania. W tym celu może być konieczne dokonanie ustalenia granic na stan sprzed zajęcia terenu przez wodę. Działanie takie jest niezbędne z uwagi na konieczność wykazania terenu zajętego przez wodę w odniesieniu do prawidłowo wykazanych na mapie granic nieruchomości. Teren uprzednio zajęty przez wodę (starorzecze) pozostaje w niezmienionym stanie prawnym. Jeżeli jednak woda płynąca w korycie nie zmieniła swojej lokalizacji w okresie od powstania mapy ewidencyjnej, wówczas należy dokonać korekty (aktualizacji) mapy ewidencyjnych w wyniku pomiarów geodezyjnych poprzedzonych ustaleniem ich w terenie, w tym z zastosowaniem par. 33a egib.

Jak już wcześniej wskazano, proces w którym dochodzi do zmian w przebiegu koryta rzeki jest rozciągnięty w czasie. Zmiany topograficzne związane ze zmianą kształtu rzeki pozostawiają mniej lub bardziej widoczne ślady. Aby wykazać, że doszło do zajęcia terenu przez wodę należy wykazać okres, w którym do tego doszło. Poza śladami starego koryta po analizie rosnących w bezpośrednim sąsiedztwie drzew, krzewów, roślin zielnych, kolejnym źródłem informacji o migracji koryta w czasie jest wywiad przeprowadzony wśród właścicieli nieruchomości przyległych. Często będą w stanie odpowiedzieć na pytanie, od kiedy rzeka znajduje się w danym miejscu, co pozwoli ustalić czy mapa ewidencyjna miała przedstawiać stan aktualny czy obrazuje stan sprzed zmian.

Określając relacje istniejących granic nieruchomości do granic działki pokrytej wodą płynącą, geodeta musi wziąć również pod uwagę jaka jest wiarygodność mapy ewidencyjnej. Analiza taka polega na sprawdzeniu dostępnej dokumentacji geodezyjnej pod kątem sposobu pozyskania punktów granicznych oraz spełnienia przez nie standardów dokładnościowych. Istotne znaczenie będzie mieć również informacja o pierwotnej skali w jakiej prowadzona była mapa na danym terenie.



Rys. 2 Różnica pomiędzy korytem rzeki na mapie ewidencyjnej a aktualną jej lokalizacją w terenie (opracowanie własne na podstawie danych z geoportal.gov.pl)

Rozbieżności w przebiegu wody płynącej z jej rysunkiem na mapie mogą być spowodowane zmianą koryta rzeki dokonaną przez człowieka (regulacją linii brzegu). Uregulowana linia brzegu charakteryzuje się wzmocnionymi brzegami, jednolitą szerokością koryta oraz prostym przebiegiem. Proces ten jest kosztowny, dlatego z reguły przeprowadzany był na terenach zainwestowanych, o gęstej zabudowie oraz w obszarach miast. W takim przypadku brak różnic w przebiegu cieku na mapie w stosunku do stanu aktualnego może być uzasadniony nieujawnioną na mapie regulacją brzegu. W terenach rolnych regulacja będzie natomiast częściej polegała na prostowaniu przebiegu cieku lub stawiania budowli zabezpieczających takich jak wały i groble.

Naturalna migracja koryta w dużej mierze związana jest z ukształtowaniem terenu i podłożem geologicznym. Na terenach zmiennych spadków, gdzie występują grunty piaszczyste zjawisko to będzie postępować szybciej niż na terenach jednolitych litologicznie (np. o granitowym podłożu), z głęboko wciętym korytem. Starorzecze stopniowo zasypywane jest przez grunt znajdujący się powyżej, aż do zrównania poziomów. Kiedy jednak teren, który wg mapy stanowi starorzecze, góruje nad terenem oznaczać to może, że wskazany tam przebieg jest nieprawidłowy.

3. Wnioski

Przedstawienie wyników pomiaru linii brzegu na mapie ewidencyjnej spowodować może zmianę przebiegu istniejących granic działek ewidencyjnych na mapie lub wydzielenie nowej działki ewidencyjnej. Z modyfikacją przebiegu granicy będziemy mieć do czynienia w przypadku ustalenia granic wody płynącej, przy jednoczesnym stwierdzeniu, że granica ta nie uległa zmianie (nie doszło do zajęcia terenu). Działanie to polega więc na dostosowaniu przebiegu granic na mapie do stanu prawnego analogicznie, jak w przypadku ustalenia granic przeprowadzonego w trybie § 31-33 e.g.i b. Z wyodrębnieniem natomiast nowej działki będziemy mieć do czynienia w sytuacji, gdy geodeta stwierdzi, że doszło do zajęcia terenu przez wodę płynącą. W takim przypadku poszerzenie koryta i zajęcie terenu nienależącego do wsiela wód lub ujawnienie nowego przebiegu koryta rzeki wiązać się będzie z wyodrębnieniem nowej działki ewidencyjnej (w ramach każdej z istniejących działek, na których doszło do zajęcia), przedstawiającej jak zmienił się przebieg koryta rzeki od czasu poprzedniego ustalenia linii brzeg. Działka ta stanowi również substrat roszczenia o odszkodowanie od właściciela wód. Pozostaje jeszcze otwarta, w obecnym stanie prawnym, kwestia nadania numeru tak wydzielonej działki. Mając na uwadze, że zajęcie terenu przez wodę *de facto* „dzieli” istniejące działki wydaje się właściwe nadanie im numerów analogicznie jak w przypadku podziału, w taki też sposób zachowana zostaje informacja o historii kolejnych podziałów działki pierwotnej.

Wydzielenie geodezyjne terenu zajętego przez wodę płynącą ma za zadanie uregulowanie stanu prawnego nieruchomości należącej do właściciela wód. W tym celu należy ustalić linię brzegu stanowiącą granicę działki ewidencyjnej wchodzącej skład nieruchomości Skarbu Państwa. Negatywnie w tym kontekście należy ocenić prawne kryteria określenia granic takiej nieruchomości, które ustawodawca wiąże ściśle z terenem zajęтым przez wodę płynącą wg średniego jej stanu. W orzecznictwie i literaturze wiąże się linię brzegu z linią zetknięcia się gruntów pokrytych płynącymi wodami powierzchniowymi z gruntem przyległym⁵. Ograniczenie wydzielenia działki wyłącznie do terenu zajętego przez wodę stoi w sprzeczności z celem objęcia jej własnością przez państwo. Wywłaszczenie ma na celu ochronę zasobów wód ale także udostępnienie płynących wód powierzchniowym do korzystania przez społeczeństwo. Skutkiem regulacji materii dotyczącej prawa wodnego jest ustawowa ingerencja w prawo własności oraz w prawa i wolność jednostki⁶. Korzysta-

nie z wód nie ogranicza się jednak wyłącznie do obszaru zajętego przez wodę, do brzegu trzeba się dostać, stąd zakazy grodzenia nieruchomości przyległych do publicznych śródlądowych wód powierzchniowych oraz do brzegu wód morskich i morza terytorialnego w odległości mniejszej niż 1,5 m od linii brzegu, a także uniemożliwiania przechodzenia przez ten obszar (art. 232 p.w.). Właściciel nieruchomości przyległej obowiązany jest również umożliwić dostęp do wód na potrzeby wykonywania robót związanych z ich utrzymywaniem, ustawiania znaków żeglugowych lub hydrologiczno-meteorologicznych urządzeń pomiarowych. W przypadku natomiast wód objętych powszechnym korzystaniem musi zapewnić dostęp w sposób to korzystanie umożliwiający (art. 233 p.w.). Dlatego wydzielenie nieruchomości i przekazanie jej na własność właściciela wód powinno odbywać się w obszarze, w jakim odbywa się publiczne z niej korzystanie. Pozostawienie prawa własności właścicielom gruntów przyległych, jednocześnie w znacznym stopniu ograniczając ich prawa do korzystania z ich nieruchomości godzi w ich konstytucyjne prawa. Nie mniej istotne jest to, że takie wydzielenie, ze względu na zmieniającą się w czasie linię brzegu, zawsze będzie narażony na dezaktualizację. Wyznaczanie zgeneralizowanej linii brzegu, często w terenie, w którym trudno określić gdzie ona powinna przebiegać, zgodnie z ustawowymi kryteriami, a następnie pozyskiwanie tak wyznaczonych punktów załamania z dokładnością właściwą dla punktów granicznych, czyli większą niż 10 cm, jest zupełnie nierealne. Jako wniosek *de lege feranda* należałoby wskazać zmianę ustawowych kryteriów ustalenia granic nieruchomości stanowiących własność właściciela wód w taki sposób, aby uwzględnił dynamiczny charakter wody płynącej, problemy z interpretacją linii brzegu, a przede wszystkim prawne ograniczenia w sposobie użytkowania gruntów przyległych do brzegu. W takim ujęciu wydaje się celowe powiązanie granic takich nieruchomości z korytem rzeki (najniższa część doliny rzecznej, którą woda płynie przynajmniej przez część roku⁷), a w niektórych przypadkach z łożyskiem (część doliny rzecznej obejmująca koryto oraz terasę zalewową⁸). Natomiast w przypadku jezior lub wód objętych powszechnym korzystaniem granica winna uwzględniać sposób korzystania z terenów przyległych do brzegu.

Mając na uwadze duże rozbieżności pomiędzy przebiegiem wód płynących a działkami pod nimi wydziałymi, wydaje się konieczne przekazanie większych kompetencji w zakresie regulacji stanów prawnych nieruchomości podmiotowi zarządzającemu tymi terenami. Regulacja stanu prawnego i ujawnienie prawa własności w księdze wieczystej leży w interesie właściciela gruntu, czyli Skarbu Państwa. Dlatego wszelka inicjatywa w tym zakresie, jak również ponoszenie związanych z tym kosztów, powinna spoczywać na Państwie. Obecnie, w większości przypadków, ustalenie linii brzegowej odbywa się z inicjatywy i na koszt właścicieli gruntów przyległych. Przekazanie ustawą z 2017 r. kompetencji w tym zakresie do organu centralnego, w miejsce starostów, być może zwiększa kontrolę państwa nad tym procesem lecz jednocześnie bardzo go wydłużyło. Nie został również uwzględniony udział w takim postępowaniu przedstawicieli Wód Polskich, którzy posiadając wiedzę specjalistyczną, mogliby służyć pomocą w ustaleniu granic wód (i często to robią). Mimo to w postępowaniu administracyjnym, opisanym w ustawie, nie zostali uwzględnieni.

Gdyby natomiast właściciel wód byłby zainteresowany kompleksowym doprowadzeniem do zgodności granic nieruchomości z terenem zajęтым przez wodę, należałoby rozważyć zmiany legislacyjne dające możliwość zastosowania narzędzi i metod znacznie przyspieszających ten proces, takich jak modelowanie akumulacji spływów oraz inne analizy GIS oparte na obrazowaniu multispektralnym lub skaningu laserowym.

Artykuł recenzowany

⁵ L. Pietrzak, „Ustalenie linii brzegu ...”, s. 12.

⁶ P. Szwałski [w:] Prawo wodne. Komentarz do wybranych przepisów, LEX/el. 2019, art. 32.

⁷ Słownik hydrologiczny dostępny na <https://iigw.pl/new/strony/sownik.htm> dostęp: 2024-05-18

⁸ Słownik hydrologiczny ...

Literatura

- [1] Galicka I., Prawo dostępu do wody w systemie Organizacji Narodów Zjednoczonych i Unii Europejskiej, Zeszyt Prawniczy UAM 12, 2022, s. 59.
- [2] Szuwalski P. [w:] Prawo wodne. Komentarz do wybranych przepisów, LEX/el. 2019, art. 1.
- [3] Marszelewski, M., Marszelewski, W. (2014). "Problemy własności jezior w Polsce", Przegląd Prawa Ochrony Środowiska, No. 3, s. 29. DOI: 10.12775/PPOS.2013.013.
- [4] Bajkiewicz-Grabowska E., Hydrologia ogólna, Warszawa 2020, s. 88.
- [5] Hycner R, Połec T, Kryteria rozgraniczania nieruchomości w świetle przepisów oraz orzecznictwa Sądu Najwyższego i Naczelnego Sądu Administracyjnego, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009 s. 62.
- [6] Swaczyna B., Prawne wyodrębnienie gruntu na powierzchni ziemi, „Rejent” 2002/9, s. 97.
- [7] Maślanka M., Ograniczenia w rozporządzaniu nieruchomościami gruntowymi pokrytymi śródlądowymi wodami płynącymi, PPP 2024, nr 2, s. 52.
- [8] Rudnicki S., Prawo obrotu nieruchomościami, Warszawa 1995, s. 22.
- [9] Hudzik R., Hycner R., Ocena przydatności dokumentacji źródłowej byłego katastru pruskiego dla potrzeb ustalenia granic nieruchomości, Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 32, 2009, s. 31.
- [10] Bieda A, Hycner R., (2012). Changes in the shape of the riverb Bed over a period of time at the base of the Vistula River before Cracow. Geomatics and Environmental Engineering. 6. 21. 10.7494/geom.2012.6.1.21.
- [11] Malik I., Rekonstrukcja tempa migracji bocznej koryta rzeki Małej Panwi na podstawie datowań kłód i drzew, Przegląd Geologiczny. 2002, nr 5, s. 454-457.
- [12] McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- [13] Pietrzak L., „Ustalenie linii brzegu i pomiar sytuacyjny linii brzegu w jednostkowych opracowaniach geodezyjnych i w procedurze modernizacji ewidencji gruntów i budynków”, Przegląd Geodezyjny, no. 3 (2017), s. 14.
- [14] Kowalski K. 2010. Gospodarka nieruchomościami pokrytymi powierzchniami wodami płynącymi. Wrocław 2010.
- [15] Szoszkiewicz K, Jusik Sz., Zgoła T., Klucz do oznaczania makrofytów dla potrzeb oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych. Warszawa: Inspekcja Ochrony Środowiska, 2010, seria: Biblioteka Monitoringu Środowiska. ISBN 978-83-61227-32-8.
- [16] Paul, Jonathan & Buytaert, Wouter & Sah, Neeraj. (2020). A Technical Evaluation of Lidar-Based Measurement of River Water Levels. Water Resources Research. 56. e2019WR026810. 10.1029/2019WR026810.
- [17] Mączyńska A., Kwartnik-Pruc A., (2016). Problematyka zróżnicowania postępowań administracyjnych dotyczących ustalenia linii brzegu. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich. II. 233-245. 10.14597/infraeco.2016.2.1.016.
- [18] Raguszevska M., Przejście do zasobu nieruchomości Skarbu Państwa gruntów pokrytych śródlądowymi wodami płynącymi – deklaratoryjny charakter decyzji. Omówienie do decyzji SKO z dnia 9 sierpnia 2021 r., SKO 4213/1/21, OwSS 2021, nr 4, s. 34.



Original article

Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview

Natalia Janczewska^{1,2,3,5}, Magdalena Matysik^{1,3*}, Damian Absalon^{1,3}, Marcin Jarzyński⁵, Łukasz Pieron^{1,2,4}

¹University of Silesia in Katowice, Faculty of Natural Sciences, Institute of Earth Sciences, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland

²University of Silesia in Katowice, Doctoral School, Bankowa 14, 40-007 Katowice, Poland

³Silesian Water Centre, University of Silesia in Katowice, Bankowa 5, 40-007 Katowice, Poland

⁴State Water Holding Polish Waters, National Water Management Authority, Żelazna 59a, 00-848 Warszawa, Poland

⁵State Water Holding Polish Waters, Regional Water Management Authority in Gliwice, Sienkiewicza 2, 44-100 Gliwice, Poland

E-mail address (*corresponding author): magdalena.matysik@us.edu.pl

ORCID iD: Natalia Janczewska: <https://orcid.org/0000-0002-5121-6886>; Magdalena Matysik: <https://orcid.org/0000-0002-5424-5703>; Damian Absalon: <https://orcid.org/0000-0001-7504-4962>; Marcin Jarzyński: <https://orcid.org/0009-0005-7968-2458>; Łukasz Pieron: <https://orcid.org/0000-0002-0457-1375>

ABSTRACT

In the current digital age, spatial management seems impossible without a set of data which maps the real situation on a computer screen. However, varying technologies (software, hardware) as well as methodologies (vectorisation, automatic classification, deep learning, etc.), together with the availability of input materials, result in a huge difference in the quality and timeliness of data collected in for example different countries. This statement also applies to hydrographic data, which undeniably affects water management efficiency. With increasing globalization, it seems necessary to standardize hydrographic data on a transnational level. The main aim of this article was to review the ways and techniques of collecting, updating and sharing hydrographic data by selected countries or organizations. In addition, the use of modern geo-information and remote sensing tools was reviewed, as well as work towards interoperability of inland surface water databases. As a result of the review, the authors identified a strong need to unify hydrographic data at both the national and continental levels, and in the future, globally (considering the dynamic change of data precision when changing the digital mapping scale). In addition, good practices were identified, and methods that can be used to create a universal spatial database of surface waters were identified.

KEY WORDS: surface water database, spatial databases, GIS, geoportal

ARTICLE HISTORY: received 11 January 2025; received in revised form 5 March 2025; accepted 7 March 2025

1. Introduction

Water management is carried out at each administrative level based on some set of hydrographic network data (NUNES ET AL., 2023). The development of geographic information systems (GIS) has resulted in these data becoming spatialized (or, are still in the process of being mapped from analogue material, in some regions, e.g. through

vectorisation) (ABSALON, 2008; SZYPUŁA, 2020; STROBL, 2010). Although digitised databases annotated with spatial attributes seem to support water management, their quality depends on the accuracy, timeliness and consistency of these data. Numerous problems arise at this stage that affect the misrepresentation of the actual state of the hydrographic network in virtual space including:

- creating data in local or regional coordinated systems. Although mapping space in a geodetic coordinate system allows millimetre precision, transformations of these systems to global systems result in discrepancies. This is already problematic at the scale of a medium-sized country (e.g. European countries) while at the scale of a large country (e.g. India, USA) it is practically impossible to merge such data.
- Lack of real-time updates. The extent of water depends on the current hydrological and meteorological situation and, in the long term, is the result of erosion (BARKER ET AL., 2022; STRACK, 2018). For this reason, it is impossible to determine the correct water extent with at least centimetre accuracy.
- Low, or inconsistent, resolution of source data. The course of the hydrographic network is rarely mapped based on geodetic measurements. It is most often based on the digitisation of orthophotos, supported by information obtained from digital terrain models (KOSKI ET AL., 2023). Satellite images, most often non-commercial (with a maximum resolution of 10 m), are also frequently used for this purpose (JANCZEWSKA ET AL., 2023). These materials are acquired at different times and may only be available for a selected region.
- Lack of consistent methodology and fragmentation of databases at local levels (JANCZEWSKA ET AL., 2023).

Another major shortcoming of existing water databases is the lack of data interoperability. The data are incompatible because they are stored in different formats and are created at different scales. For this reason, each successive harmonisation for a larger area (smaller scale) reduces the accuracy of the data. This is the reason why there is no single global vector dataset for the hydrographic network (YOUNG, 2018; HOLLAND ET AL., 2016). Nevertheless, interstate organisations are pushing for data standardisation (e.g. *INSPIRE Directive 2007/2/EC* or *Executive Order 12906*, signed in 1994 by B. Clinton: *Coordinating Geographic Data Acquisition And Access: The National Spatial Data Infrastructure*).

Nowadays, a group of specialists makes strategic decisions for water management in front of a computer screen and this is the reason that spatial mapping of the current state of the hydrographic network integrated into a multi-purpose relational

database is becoming a challenge for modern water management (LARSEN, 2016).

Due to the lack of consistent information on the state of inland surface water databases, this article reviews the literature, summarises methods of creating spatial water databases and issues of concern that should be considered when designing the structure of such a database.

2. Surface water database worldwide

Since the proliferation of digital land surface imaging techniques (remote sensing, laser scanning) and GIS, the analyst's primary concern is to acquire suitable - reliable data and to identify its source (PANAMALDENIYA, 2021). The concept of good data quality includes:

- optimal resolution - data should be as detailed as possible but at the same time processable (the smaller the size the easier it is to process) (ELDRANDALY, 2011),
- the fullest possible coverage - data in a uniform structure should cover the widest possible area (NKEKI & ASIKHIA, 2013),
- completed attribute information with a uniform structure (HAINING, 2008),
- timeliness - affecting the accuracy of the representation of the terrain in relation to the actual state, and on the possibility of processing them only in relatively new software (ZHAO ET AL., 2012).

Having good quality data for large-scale analyses raises the problem of incompatibility (data are created in different formats, structures, coordinates) (GOTWAY & YOUNG, 2002). In addition, the detailed, combined data take on a considerable size (GUSMAN ET AL., 2022). Processing data of significant sizes of so-called BIG DATA (detailed data for large areas) is currently the biggest technological challenge for geo-informaticians (BRUNSDON & COMBER, 2020).

BRAUMAN (2016) pointed out that any globalised hydrographic data must be generalised and will not map short, narrow channels. For this reason, global hydrographic data are most often derived from the automated classification of satellite imagery (MASETTI ET AL., 2022; MUNIER & DECHARME, 2021). Table 1 gives examples of current global data that contain hydrographic information.

Table 1. Global hydrographic data

Type	Name	Hyperlink	Resolution of source raster data	Literature
Raster data	Hydrosheds	https://www.hydrosheds.org/products/hydrosheds	90 m (SRTM)	Lehner et al., 2008
	The Hydrography 90 m	https://fred.igb-berlin.de/data/allpackages/	90 m	Amatulli et al., 2022
	Hydro1K	https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-hydro1k	30 m (GTOPO 30 m)	USGS Eros Archive, 2018
	MERIT Hydro	https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_Hydro/	90 m	Yamazaki et al., 2019
Vector data	EU-Hydro River Network Database 2006-2012	https://land.copernicus.eu/en/products/eu-hydro/eu-hydro-river-network-database	-	Copernicus, 2019
	Hydrographic Surveys (International Hydrographic Organization (IHO))	https://iho.int/en/iho-online-catalogues	-	Golub et al., 2023

Although vector data of, for example, continental extent exist, they are created using modelling tools (e.g. Hydrology for ArcGIS) based on low-resolution (>30 m) Digital Terrain Models (LIN ET AL., 2021). They have also not assigned any attributes, or they are not as detailed as in national/local databases. For this reason, it was necessary to look at the quality of the data collected at the national level.

3. Methods, techniques and patterns of surface water databases in different countries of the world

When analysing the sources of hydrographic data (Table 2), some regularities can be observed. The first is that the legal conditions for the extent of data collected depend on the regime of the country concerned. In the case of unitary states (e.g. Poland, France), data on hydrography are collected at the national scale. In federal states (e.g. USA, Germany), on the other hand, each autonomous region maintains its own geoportal (MITANI ET AL., 2020).

As reported by CHATTERJEE & SINHA (2014), some of the water resources data in India was not digitised and data was collected by different agencies in a heterogeneous structure and was not merged with each other. According to the revision, the authors' demands have been partially fulfilled and hydrographic data for the entire country was made available from 28 March 2018 on the national portal of India Water Resources Information System. The India database as well as the data collector for water management (INDIA WATER RESOURCES INFORMATION SYSTEM, 2018) were established in 2018, and as intended, their purpose is to collect and make

available up-to-date spatial data on the surface hydrographic network (KUMAR, 2018).

Similarly, the US Geological Survey collects data on the surficial hydrographic network as part of programmes with assurances of continuity. These data, and major analyses are made available on USGS government websites. However, each US state also maintains its own database as exemplified by The DNR 24k hydro for Wisconsin at a scale of 1:24 000 (<https://www.sco.wisc.edu/data/rivers-lakes-streams/>). The ongoing updating of data and the change in data collection and sharing technology as technology advances (both locally and regionally) is another positive trend.

The Brazilian water agency provides data on the hydrographic network using ArcGIS Online software (ESRI server). Canadian government agencies, on the other hand, are divided in detail by competence which translates into the scope of the data produced (they are the different institutions responsible for inland waters, marine waters, etc.). Sharing of these data is done via FTP servers.

The Water Resources Planning Organisation (WARPO) of Bangladesh, as part of the National Water Resources Database (NWRD), provides hydrographic network data in vector form, and its structure is described in a data catalogue. In Sweden, the nationwide hydrographic network is presented in electronic form by the 'surveyors' (in Swedish: Lantmäteriet). In Spain, the administrative structure of water management is much more complex, with water management being handled by three ministries and each region independently having its own Basin Authorities, which are responsible for the collection, sharing of data on the hydrographic network and, in its entirety, water management in the catchments

concerned (ALBIAC ET AL., 2014; MITERD, 2023). Similarly, in Italy, water management system data are collected within a single water region (set of catchments).

In the UK, data is collected for the whole territory by the government's mapping institute (*Ordnance survey*) providing vector data, while water management is handled by the *UK Hydrographic Office* and hydrological data is collected by the non-profit organisation *National River Flow Archive* and made available on the *UK Water Resources Portal*. Similarly, in the case of Poland, the Map of the Hydrographic Division of Poland is a study covering the entire country, made available on the Hydroportal maintained by the owner of the resource, i.e. the State Water Holding Polish Waters. This study is available as a Web Map Service (WMS), while vector data can be obtained for a fee. The Australian government, in collaboration with ESRI, is developing a GIS infrastructure by creating a portal called *geofabric*, where the Australian Meteorological

Institute is responsible for data provision and the GIS institute for data collection and publication. In Ireland hydrographic data are provided in vector form but were last updated in 2017. In South Africa, on the other hand, according to SAMBO ET AL. (2015), the national integrated water information system, based on the 1997-1998 Acts, contains data developed in different regions of completely different quality and, despite their integration, they still contain uncertain information.

As has been shown, there is a wide variation in the timeliness, detail and formats of hydrographic data, and their collection and processing are most often done at a certain administrative level within a country. Often, within a single country, the principle of interoperability of hydrographic data is not respected. It should be noted that the portals presented were selected based solely on the criterion of a single representative for a given continent and language availability (for this reason, mainly English-, Germanic- or Spanish-speaking portals were analyzed).

Table 2. Surface water databases divided into selected countries

Country	Institution name (data owner)	Portal or data base name	Date of creation or last update
India	India National Water Informatics Centre	India Water Resources Information System	2018
USA	United States Geological Survey	National Water Information System (NWIS) and The National Hydrography Dataset (NHD) and D Hydrography Program (3DHP)	2014 (NWIS) i 2023 (3DHP – last update)
Poland	Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie (En. State Water Holding Polish Water)	Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000 (MPHP 10k) (En. Map of the Hydrographic Division of Poland at a scale of 1:10,000)	2023 (last update)
Germany (Bavarian region)	In this case: Bayerisches Landesamt für Umwelt	Gewässerkundlicher Dienst	No data
Brazilia	National Water and Sanitation Agency	National Water Agency Open Data Portal	2019
Canada	Water Survey of Canada	The National Hydro Network (NHN)	No data
Sweden	LANTMÄTERIET	Hydrography View Service, INSPIRE and Hydrography Download Service, INSPIRE	2023 (last update)
Spain (River Basin District of Catalonia)	Agencia catalana de l'aigua (ACA)	Gencat	No data
Great Britain	UK Hydrographic Office and Ordnance Survey	Ordnance Survey and the UK water resources portal	2023
Italy (Eastern Alps catchment area)	Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali	SIGMA	No data
Japan	Geological Survey of Japan	Water Environment Map Hydrogeological Maps of Japan	No data
Australia	Australian Government - Bureau of Meteorology and Geoscience Australia	Australian Hydrological Geospatial Fabric (Geofabric)	2023
South Africa	Department of Water and Sanitation Republic of Southern Africa	National Integrated Water Information System (NIWIS)	XXI century
Ireland	Environmental Protection Agency	River Network Routes	2012 (creation) 2017 (last update)

4. Hydrography data collection - issues and challenges

Hydrographic network data is the most basic data, being the main element of topographic maps. The level of application of GIS techniques, as well as their development, varies from country to country (LIU & CHENG, 2020). Thus, the process of digitisation and vectorisation of hydrographic data occurred at different times and the methodology was not uniform. The input data were mainly orthophotos or scans of topographic maps (MOREIRA SAMPAIO & ROCHA, 2022). In addition to the manual drawing of watercourses based on georeferenced maps, the hydrographic network was generated based on Digital Terrain Models (CANTEMIR ET AL., 2016). Both the scale of the input materials and the accuracy (e.g. expressed in pixel size), as well as their validity, affected the final precision of the representation of the hydrographic network as linear or surface vectors (BARCZYŃSKA ET AL., 2013). The other important aspect is the methodology for determining the course of rivers on cartographic materials differing from region to region (KWARTNIK-PRUC & MACZYŃSKA, 2023).

A huge challenge is the frequent updating of the hydrographic network. It is also important to standardise the type of data (linear data or polygons) and, in the case of linear data, to standardise the reference point methodology. This could be, for example, the coastline or the mathematical centre of the riverbed proposed by BIEDA (2012).

Existing surface water databases focus their attention mainly on the course of rivers, while descriptive data (attributes) are a secondary concern. Attributional data should be structured (SAFAROV & MAMANAZAROVA, 2023). On the one hand, their scope should be uniform (e.g. unified naming of watercourses or the same waterbed parameters) (FRYIRS & BRIERLEY, 2018).

An important aspect is also the classification of watercourses, which is sometimes reflected in the legal system. For efficient management of inland watercourses, the nature of the watercourse (natural/artificial) and its manager must be defined (GREER, 2021; ZHAO ET AL., 2020).

A huge challenge in the management of inland surface waters, is therefore, both the correct spatial mapping of stream channels and reservoir reaches and a database approach to hydrographic data, while ensuring their interoperability and ongoing updating.

5. Modern tools hydrographic data acquisition

The contemporary level of sophistication of remote imaging tools, and techniques, as well as broader geo-information is facing the challenge of having up-to-date and reliable spatial data for effective water management.

Changes in water extent in broad watercourses and reservoirs are observed on the basis of multi-spectral satellite imagery, acquired over an interval of several days by various satellite platforms (e.g. Landsat, Sentinel, MODIS) (ALBERTINI ET AL., 2022; NORMANDIN ET AL., 2024; PEKEL ET AL., 2016). Their acquisition, as well as advanced processing into hydrographic information, is even possible in open source GIS software and applications (HAMAL, 2020). Water extent is determined, among other things, by pixel algebra based on numerous indices such as Water Index (WI), Near Difference Water Index (NDWI) or Automated Water Extraction Index (AWEI), which are described in detail in the literature (MC FEETERS, 1996; JIANG ET AL., 2014; FEYISA ET AL., 2014). The main application of these techniques is for flood protection (e.g. observation of surge or potential threats of water withdrawal from the riverbed) (HAMMAM ET AL., 2022; FARHADI ET AL., 2022). However, the raster information on water extent obtained in this way can be easily converted to a vector layer using the basic functionality of GIS programs. Efficient and automatic land cover classification is made possible by using artificial intelligence (AI) algorithms dedicated to GIS software, which reduces analytical work, information acquisition time and interpretation errors (THAKUR & MANEKAR, 2022).

Limitations related to scene coverage, cloud cover and field pixel size prevent the acquisition of uniform water extent information over a large area such as the bed of a river of several hundred metres in a single day (ABSALON ET AL., 2023). It could be achieved using commercial high-resolution satellite platforms (MULLEN ET AL., 2023), which in turn entails large financial outlays and the need to process large amounts of data.

In practice, the most problematic is the water course of small rivers (up to 100 km), for which aerial or low-altitude remote sensing (using unmanned aerial vehicles- UAV) can be applied (OZDEMIR ET AL., 2024; ACHARYA ET AL., 2021; TYMKÓW ET AL., 2019). In this case, a major limitation is the dense forest cover and shrubbery of the channel, especially the spring area. For this reason, the optimal period for performing a photogrammetric raid is early spring,

or late autumn, or warm winter periods (the maximum tolerance of the UAV battery is -4 °C). Where it is not possible to acquire surface water information, field mapping is used, using a high-precision GPS with the geodetic accuracy of which can nowadays be achieved even in forested areas (ABDI ET AL., 2022).

An alternative method of acquiring surface water extent data is the processing of Digital Terrain Models, which are also acquired based on aerial or satellite remote sensing. The sensor in this case is a laser scanner, and the most used method is LiDAR (TOSCANO ET AL., 2015), which involves recording the position of a point based on its reflection from various surfaces (including the water surface, through which the scanner beam doesn't penetrate). Limitations related to the size and accuracy of the data are similar to those of multispectral imagery (size of the acquired data, range of the raid) excluding, however, adverse weather conditions. Based on Digital Terrain Models, it is possible to delineate clearly outlined watercourse beds, or the extent of reservoirs, but also to model current directions of water run-off, flow accumulation, or to delineate the extent of catchment areas (CHOWDHURY, 2023).

Efficiency in processing raster and vector data simultaneously is possible by automating repetitive tasks using tools such as Model Builder/Model Designer or programming environments implemented into GIS software such as 'Python' or 'R' (SCHÜRZ ET AL., 2023; MASETTI ET AL., 2022; SILALAHI & HIDAYAT, 2020).

When the hydrographic network is accurately mapped, the problem of maintaining up-to-date information about its extent arises. Surface waters, in virtually every inhabited place in the world, are of interest to a set of specialists - scientists or staff of entities responsible for water management in a given country. The development of a virtual geo-information space easily allows for a platform where authorised members can simultaneously insert or edit data (e.g. on the course of a watercourse) at the same time, also in real time via mobile applications (ESRI, 2024). JONES & BARRETT (of The Ohio Department of Natural Resources) were already using ESRI ArcGIS software in 2006 to maintain an official repository of data (spatial and attribute) for Ohio's waters entitled *Division of Water*. The cited authors emphasise the increased efficiency of analysis with integrated and collected water data (both surface and groundwater) in one place. Ongoing updating by all logged-in users of topographic

elements is done within the Open Street Map (OSM) (CURRAN ET AL., 2012). Following the example of the OSM project, it seems that with appropriate oversight and the involvement of water management professionals only, such a platform for hydrographic data could solve the problem of ongoing data updating.

6. Summary and conclusions

This article shows that there is a lack of a unified source of hydrographic data for the whole world. Most often, to visualise the current state of the hydrographic network on a continental or broader basis, models are created to automatically depict the extent of surface water based on satellite imagery or global digital terrain models.

Our review shows that uniform data on the hydrographic network, along with coherent management systems (in terms of data entry and updates), are key factors for effective water management, especially at a regional scale, in particular for international water regions.

HECHT (2000) posits that the most effective way of collecting and sharing of hydrographic data is to present them in vector format with precise and concise attribute descriptions. This is facilitated by GIS tools, virtual data storage, and platforms that allow for real-time editing of spatial and attribute data by multiple users simultaneously. Furthermore, modern geoinformation, remote sensing, and programming tools, as well as AI algorithms, enable the automation of hydrographic data updates.

An undeniably important issue remains the consistency of spatial data that is closely related to the digital-textual database of inland surface waters. Regardless of the administrative level at which hydrographic data is collected and updated, both the methodology and the database structure should be compatible so that in the case of broad analysis (e.g., extending beyond the territory of one country), rapid integration is possible. Such methodology should at least define the scope of the source data, the methods of acquisition and processing, the type of spatial data, the scope, type, and arrangement of numerical and textual data, and the coding of relational fields.

Drawing on the example of the work done by BAROVIĆ ET AL. (2016), it should be stated that the creation of a complete surface water database should proceed in the following stages:

1. preliminary classification of the terrain based on existing data,
2. data acquisition (e.g., using remote sensing methods),
3. processing using GIS tools to convert the obtained materials into vector layers representing the hydrographic network (e.g., flow direction analysis based on DEM),
4. creation of the database structure (required attributes),
5. implementation - systematic acquisition and supplementation of data.

It seems reasonable to utilize virtual space for collaborative real-time entry and updating of hydrographic data by a closed group of experts. It is essential to transfer existing data into a unified structure. The greatest challenge remains the harmonization of these efforts at the local, governmental, and supranational levels. For this reason, research should be conducted using a coherent methodology for creating surface waters, starting from the national level (or internal state units).

References

- Abdi O., Uusitalo J., Pietarinen J., Lajunen A. 2022. Evaluation of Forest Features Determining GNSS Positioning Accuracy of a Novel Low-Cost, Mobile RTK System Using LiDAR and TreeNet. *Remote Sensing*, 14: 2856.
- Absalon D. 2008. Application of GIS in hydrographic and environmental maps of Poland. *Kartografické listy*, 16: 40–47.
- Absalon D., Matysik M., Woźnica A., Janczewska N. 2023. Detection of changes in the hydrobiological parameters of the Oder River during the ecological disaster in July 2022 based on multi-parameter probe tests and remote sensing methods. *Ecological Indicators*, 148: 110103.
- Acharya B.S., Bhandari M., Bandini F., Pizarro A., Perks M. ... Sharma S. 2021. Unmanned aerial vehicles in hydrology and water management: Applications, challenges, and perspectives. *Water Resources Research*, 57, 11: e2021WR029925.
- Albertini C., Gioia A., Iacobellis V., Manfreda S. 2022. Detection of Surface Water and Floods with Multispectral Satellites. *Remote Sensing*, 14: 6005.
- Albiac J., Calvo E., Esteban E. 2014. Chapter 9 River Basin Governance and Water Policies in Spain. [in:] D.E. Garrick, G.R.M. Anderson, D. Connell, J. Pittock (eds.), *Managing Water in Multi-Layered Political Systems*. Elgaronline: 141–157.
- Amatulli G., Garcia Marquez J., Sethi T., Kiesel J., Grigoropoulou A., Üblacker M.M., Shen L.Q., Domisch S. 2022. Hydrography 90 m: a new high-resolution global hydrographic dataset. *Earth System Science Data*, 14: 4525–4550.
- Australian Government - Bureau of Meteorology. 2023. [Online] Available: <http://www.bom.gov.au/> (accessed on 18 January 2024).
- Australian Government. Australian Hydrological Geospatial Fabric (Geofabric). [Online] Available: <http://www.bom.gov.au/water/geofabric/> (accessed on 02 August 2024).
- Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali. 2023. [Online] Available: <https://sigma.distrettoalpiorientali.it/portal/index.php/cartografie/> (accessed on 06 January 2024).
- Barczyńska M., Borzuchowski J., Kubacka D., Piórkowski P., Rataj C., Walczykiewicz T., Woźniak Ł. 2013. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000 - nowe hydrograficzne dane referencyjne. *Roczniki Geomatyki*, 11, 3: 15–28.
- Barker L.J., Fry M., Hannaford J., Nash G., Tanguy M., Swain O. 2022. Dynamic High Resolution Hydrological Status Monitoring in Real-Time: The UK Water Resources Portal. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 752201.
- Barović G., Vujacic D., Spalevic V. 2017. The River Network of Montenegro in the GIS Database. *Kartografija i Geoinformacije*, 27, 16: 44–60.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. [Online] Available: <https://www.gkd.bayern.de/> (accessed on 04 August 2024).
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. 2018. Gewässerkundlicher Dienst: Nutzerhandbuch. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg, p. 9.
- Bieda A. 2012. Weryfikacja granicy matematycznej prowadzonej środkiem koryta rzeczno. *Roczniki Geomatyki*, X, 4(54): 17–27.
- Borges M.C.P., Abreu S.B., Lima C.H.R., Cardoso T., Yonamine S.M., Araujo W.D.V., Silva P.R.S., Machado V.B., Moraes V., Silva T.J.B., Reis V.A., Santos J.V.R., Reis M.L., Canamary É.A., Vieira G.C., Meireles S. 2022. The Brazilian National System for Water and Sanitation Data (SNIS): Providing information on a municipal level on water and sanitation services. *Journal of Urban Management*, 11, 4: 530–542.
- Brauman K. 2016. Global Water Data: We'll Show You the World, Sort Of. [in:] P. Nunnally (ed.), *Open Rivers: Rethinking The Mississippi*. 2nd ed. University of Minnesota, Northrop.
- Brunsdon C., Comber A. 2020. Big issues for big data: challenges for critical spatial data analytics. *Journal of Spatial Information Science*, 21, JOSIS' 10th Anniversary: Part Two and Special Feature on GeoComputation: 89–98.
- Cantemir A., Visan A., Parvulescu N., Dogaru M. 2016. The Use of Multiple Data Sources in the Process of Topographic Maps Updating. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLI-B4, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.
- Chatterjee R., Sinha S.K. 2014. Water Resources Database – Development and Management. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 80, 3: 713–730.
- Chowdhury S. 2023. Modelling hydrological factors from DEM using GIS. *MethodsX*: 10102062.
- Copernicus. 2019. *EU-Hydro River Network Database 2006-2012 (vector), Europe - version 1.3*, Nov. 2020. WWW: <https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/copernicus/api/records/393359a7-7ebd-4a52-80ac-1a18d5f3db9c?language=all> (accessed on 22 July 2024).
- Curran K., Crumlish J., Fisher G. 2012. OpenStreetMap. *International Journal of Interactive Communication Systems and Technologies (IJICST)*, 2, 1: 69–78.

- Eldrandaly K.A. 2010. GIS and spatial decision making. [in:] C.J. Dowsen (ed.), *Geographic Information Systems*. Nova Science Publishers, Inc.
- Esri. 2024. *Collaborate with colleagues*. Available at: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-online/capabilities/collaborate> (accessed on 22 June 2024).
- EU-Hydro River Network Database 2006-2012 (vector), Europe. Available at: <https://land.copernicus.eu/en/products/eu-hydro/eu-hydro-river-network-database> (accessed on 18 July 2024).
- European Commission. 2007. *Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)*. Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0002> (accessed on 5 February 2023).
- Executive Order 12906: Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure. 1994. *Federal Register*, 59, 71.
- Farhadi H., Esmaily A., Najafzadeh M. 2022. Flood monitoring by integration of Remote Sensing technique and Multi-Criteria Decision Making method. *Computers & Geosciences*, 160: 105045.
- Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35.
- Fryirs K.A., Brierley G.J. 2018. What's in a Name? A Naming Convention for Geomorphic River Types Using the River Styles Framework. *PLoS ONE*, 13, 9: e0201909.
- Generalitat de Catalunya Departament d'Acció Climàtica. Available at: https://sig.gencat.cat/visors/VISOR_ACA.html (accessed on 02 August 2024).
- Geological Survey of Japan, *Water Environment Map Hydrogeological Maps of Japan*. Available at: <https://www.gsj.jp/Map/EN/environment.html> (accessed on 04 August 2024).
- Golub Medvešek I., Šoda J., Karin I., Maljković M. 2023. The State of the Hydrographic Survey and Assessment of the Potentially Risky Region for Navigation Safety. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11, 8:1498.
- Gotway C.A., Young L.J. 2002. Combining Incompatible Spatial Data. *Journal of the American Statistical Association*, 97(458), 632–648.
- Government of Canada, National Hydro Network - NHN - GeoBase Series. Available at: <https://open.canada.ca/data/en/dataset/a4b190fe-e090-4e6d-881e-b87956c07977> (accessed on 03 August 2024).
- Government of Canada. 2023. Available at: <https://open.canada.ca/data/en/dataset/a4b190fe-e090-4e6d-881e-b87956c07977> (accessed on 05 January 2024).
- Greer M. 2021. *Guidance Note How to Determine Whether a Watercourse is a River, Ephemeral Watercourse, Highly Modified River or Stream or Artificial Watercourse*. Wellington Regional Council.
- Gusman T., Naeemullah M., Qasim A.M. 2022. Big Data Processing: A review. *Mesopotamian Journal of Big Data*, 2022: 23–30.
- Haining R.P. 2009. The Special Nature of Spatial Data. [in:] S. Fotheringham, D.W.S. Wong (eds.), *Spatial Analysis Handbook*. SAGE Publications Inc: 4–21.
- Hamal S. 2020. GIS Technology and its Applications in Water Resources and Environmental Engineering. *Journal of Hydrogeology and Hydrologic Engineering*, 9, 3.
- Hammam N., Abdulwahab K., Sidahmed Mohamed A. 2022. Flood Monitoring Using Remote Sensing And GIS Techniques: A Case Study Of Kampala District, Uganda. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 9, 10: 15540–15545.
- Hecht H. 2000. Hydrographic GIS. *The International Hydrographic Review*, 1, 2:71–76.
- Holland M., Hoggarth A., Nicholson J. 2016. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 34: 012016.
- Husain T., Caselton W.F. 1980. Hydrologic Network Design Methods and Shannon's Information Theory. *IFAC Proceedings Volumes*, 13, 3: 259–267.
- Hydroportal. Available at: <https://isok.gov.pl/hydroportal.html> (accessed on 01 August 2024).
- HydroSHEDS Core Layers (version 1). Available at: <https://www.hydrosheds.org/products/hydrosheds> (accessed on 20 July 2024).
- IGB Freshwater Research and Environmental Database. Available at: <https://fred.igb-berlin.de/data/allpackages/> (accessed on 18 July 2024).
- India Water Resources Information System. 2018. Available at: <https://indiawris.gov.in/wris> (accessed on 04 August 2024).
- International Hydrographic Organization Online. Available at: <https://iho.int/en/iho-online-catalogues> (accessed on 22 July 2024).
- Janczewska N., Matysik M., Absalon D. 2023. Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 49: 101486.
- Japan International Cooperation Agency 2022. [Online] Available: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/1000047169_01.pdf (accessed on 06 January 2024).
- Jiang H., Feng M., Zhu Y., Lu N., Huang J., Xiao T. 2014. An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 6: 5067–5089.
- Koski C., Kettunen P., Poutanen J., Zhu L., Oksanen J. 2023. Mapping Small Watercourses from DEMs with Deep Learning—Exploring the Causes of False Predictions. *Remote Sensing*, 15: 2776.
- Kumar P.C. 2018. Water Resources Issues and Management in India. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5, 9: 137–147.
- Kwartnik-Pruc A., Mączyńska A. 2023. Methodology of assessing quality of spatial data describing course of shoreline as tool supporting water resource management process. *Journal of Water and Land Development*, 57: 167–180.
- Lantmäteriet 2023. *Hydrography Download Service*. Ver. 2.3. Lantmäteriet, Stockholm.
- Lantmäteriet. *Hydrography Download Service*. [Online] Available: <https://www.lantmateriet.se/en/geodata/geodata-products/product-list/hydrography-download-service/> (accessed on 02 August 2024).
- Larsen S., Hamilton S., Lucido J., Garner B., Young D. 2016. Supporting Diverse Data Providers in the Open Water Data Initiative: Communicating Water Data Quality and Fitness of Use. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 52, 4: 859–872.

- Lin P., Pan M., Wood E.F., Yamazaki D., Allen G.H. 2021. A new vector-based global river network dataset accounting for variable drainage density. *Scientific Data*, 8: 28.
- Liu Z., Cheng L. 2020. Review of GIS Technology and Its Applications in Different Areas. [in:] *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 735, 1: 012066.
- Masetti G., Faulkes T., Wilson M., Wallace J. 2022. Effective Automated Procedures for Hydrographic Data Review. *Geomatics*, 2: 338–354.
- MERIT Hydro. [Online] Available: https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_Hydro/ (accessed on [Date]).
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), 2023: Global water strategy of the Kingdom of Spain. Madrid. P. 24.
- Mitani K., Kashiwagi K., Umakoshi K., Inoue T., Saito Y., Fujino T., Saisho O. 2020. *A Global Data Infrastructure for Data Sharing Between Businesses*. NTT Software Innovation Center.
- Mullen A.L., Watts J.D., Rogers B.M., Carroll M.L., Elder C.D., Noomah J.... Kyzivat E.D. 2023. Using high-resolution satellite imagery and deep learning to track dynamic seasonality in small water bodies. *Geophysical Research Letters*, 50: e2022GL102327.
- Munier S., Decharme B. 2022. River network and hydro-geomorphological parameters at 1/12° resolution for global hydrological and climate studies. *Earth System Science Data*, 14, 5: 2239–2258.
- National State of Water. [Online] Available: <https://www.dws.gov.za/niwis2> (accessed on 08 August 2024).
- National Water Agency Open Data Portal. [Online] Available: <https://storymaps.arcgis.com/stories/d4991710873845d688cea101c6149856> (accessed on 04 August 2024).
- Nkeki N.F., Asikhia M. 2014. Mapping and Geovisualizing Topographical Data Using Geographic Information System (GIS). *Journal of Geography and Geology*, 6, 1: 1–13.
- Normandin C., Frappart F., Bourrel L., Diepkilé A.T., Mougin E., Zwartz L., ... Wigneron J.P. 2024. Quantification of surface water extent and volume in the Inner Niger Delta (IND) over 2000–2022 using multispectral imagery and radar altimetry. *Geocarto International*, 39, 1: 2311203.
- Nunes P., Vicente J., Veiga A.L., Monteiro C., Dias T., Palma C., Neto M. 2023. Datos hidrográficos abiertos para a sociedade. *Revista Internacional Mapping*, 32, 211: 34–48.
- Ordnance Survey. 2024. OS Open Rivers. [Online] Available: <https://www.data.gov.uk/dataset/dc29160b-b163-4c6e-8817-f313229bcc23/os-open-rivers> (accessed on 03 August 2024).
- Ozdemir S., Akbulut Z., Karsli F., Kavzoglu T. 2024. Extraction of Water Bodies from High-Resolution Aerial and Satellite Images Using Visual Foundation Models. *Sustainability*, 16: 2995.
- Panamaldeniya L. 2021. *Importance of GIS, GPS, and RS. Conference: Importance GIS, GPS and RS*, Kandy, Sri Lanka.
- River Network Routes. [Online] Available: <https://data.gov.ie/dataset/river-network-routes> (accessed on 05 August 2024).
- Safarov E., Mamanazarova D. 2023. Development of Irrigation and Hydrography Networks of the Fergana Region on the Basis of GIS Technologies. *E3S Web of Conferences*, 452: 02014.
- Sambo A., Pott A., Kime D., Strydom C.J. 2015. The National Integrated Water Information System (NIWIS) for South Africa. [in:] *36th Hydrology and Water Resources Symposium: The Art and Science of Water*. Engineers Australia.
- Sampaio T.V.M., Rocha J. 2022. On the Quality of the Drainage Network Cartographic Representation. *Ecological Indicators*, 143: 109350.
- Schürz M., Grigoropoulou A., García Márquez J., Torres-Cambas Y., Tomiczek T., Floury M., Bremerich V., Schürz C., Amatulli G., Grossart H.-P., Domisch S. 2023. hydrographr: An R package for scalable hydrographic data processing. *Methods in Ecology and Evolution*, 14: 2953–2963. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14226>.
- SIGMA, Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali. [Online] Available: <https://sigma.distrettoalpiorientali.it/portal/index.php/cartografie/> (accessed on 04 August 2024).
- Silalahi F.E.S., Hidayat F. 2020. Model builder and Unit Hydrograph for Flood Prediction and Watershed Flow Direction Determination at The West Branch of The Little River, Stowe, Lamoille County, Vermont, USA. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 6, 2: 89–98.
- State Cartographer's Office. *Rivers, Lakes, and Streams Data*. <https://www.sco.wisc.edu/data/rivers-lakes-streams/> (accessed on 18 July 2024).
- Strack M. 2018. Natural Boundaries, Legal Definitions: Making room for rivers. *Riverscapes*, 6: 65–80.
- Strobl J. 2010. Status of GIS in Europe: Opportunities and Challenges. *Geospatial World 2010*. Available online: http://mmm-gi.geo-see.org/wp-content/uploads/MMM-GI_10/Cetl_Kotsev_Dusart.pdf (accessed on 3 March 2024).
- Szypuła B. 2020. Digital adaptation of the Geomorphological Map of Upper Silesian Industrial Region, Poland (1:50,000) – old map new possibilities. *Journal of Maps*, 16, 2: 614–624.
- Thakur R., Manekar V.L. 2021. Artificial Intelligence-Based Image Classification Techniques for Hydrologic Applications. *Applied Artificial Intelligence*, 36, 1.
- The National Hydrography Dataset (NHD). [Online] Available: <https://www.usgs.gov/national-hydrography/> (accessed on 03 August 2024).
- Tymków P., Józków G., Walicka A., Karpina M., Borkowski A. 2019. Identification of Water Body Extent Based on Remote Sensing Data Collected with Unmanned Aerial Vehicle. *Water*, 11: 338.
- U.S. Geological Survey. 2014. *USGS Water Use Data for the Nation - National Water Information System (NWIS): U.S. Geological Survey data release*.
- UK Water Resources Portal. [Online] Available: <https://nrfa.ceh.ac.uk/content/uk-water-resources-portal> (accessed on 04 August 2024).
- United States Agency for International Development. 2020. *Data for Water Security: Improving Water Data Access and Use*. United States Agency for International Development, Washington DC, USA.
- USGS EROS Archive - Digital Elevation - HYDRO1K. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-hydro1k> (accessed on 20 July 2024).
- USGS EROS Archive. 2018. *USGS EROS Archive – Digital Elevation – HYDRO1K, HYDRO1k Elevation Derivative Database*.
- USGS Water Data for the Nation. [Online] Available: <https://waterdata.usgs.gov/nwis> (accessed on 03 August 2024).
- Yamazaki D., Ikeshima D., Sosa J., Bates P.D., Allen G.H., Pavelsky T.M. 2019. MERIT Hydro: a high-resolution global

- hydrography map based on latest topography dataset. *Water Resources Research*, 55: 5053–5073.
- Young D. 2018. Integrating Data Using Open Standards. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 3218–3221.
- Zhao R., Chen J., Wang D., Shang Y., Wang Z., Li X., Ai T. 2012. Updating Geospatial Data from Large Scale Data Sources. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-4/W25: 68–72.
- Zhao Z., Wang H., Zhang Y., Deng C., Xie Q., Wang C. 2020. Problems and Countermeasures of River Management in the Process of Rapid Urbanization in China. *Water*, 12: 2260.



Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland

Natalia Janczewska^{b,d}, Magdalena Matysik^{a,c,*}, Damian Absalon^{a,c}

^a University of Silesia in Katowice, Faculty of Natural Sciences, Institute of Earth Sciences, Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec, Poland

^b University of Silesia in Katowice, Doctoral School, Bankowa 14, 40–007 Katowice, Poland

^c Silesian Water Centre, University of Silesia in Katowice, Bankowa 5, 40–007 Katowice, Poland

^d Regional Water Management Authority in Gliwice, State Water Holding Polish Waters, Sienkiewicza 2, 44–100 Gliwice, Poland

ARTICLE INFO

Keywords:

Surface water
Spatial databases
Data inconsistency
Discrepancies
Water management

ABSTRACT

Study region: The research was carried out in 38 rivers in the Oder and Vistula basins. They are located in various parts of Poland, which are geologically, geomorphologically and anthropogenically diversified.

Study focus: The paper deals with the inconsistency and incorrectness of applied spatial data in water management. This is caused due to the lack of a unified method of creation and different data sources. The analysis covered three databases used in Polish water management: the digital Map of the Polish Hydrographic Division (MPHP), the Database of Topographic Objects (BDOT) and the Drainage System Database (EM). The Geographic Information Systems and statistical methods (Pearson's, Kendall's and Spearman's coefficients) were used to study the occurrence and size of discrepancies in Polish databases of surface waters.

New hydrological insights for the region: The study showed that in the analysed databases there are discrepancies in the nomenclature (47% cases) and watercourse lengths (geometric and attribute – 97% cases). The examined databases differ in the course and mileage of the same watercourse. The research results showed high consistency of BDOT and MPHP and the highest values of discrepancies when compared with EM. A significant statistical dependence of these discrepancies on land cover with dense vegetation was also found. The research proves that it is important to be careful about the certainty of using these data and shows how this can negatively influence water management system effectiveness.

1. Introduction

The water management of each country is based on spatial and qualitative (descriptive, tabular) data concerning e.g. the hydrographic network (Derepasko et al., 2021). The effective implementation of water policy has a fundamental importance in ensuring sustainable socio-economic development, but it cannot exist without coherent sets of necessary data (Haener, 2018). Since the beginning of cartography, the hydrographic network drawn on maps has been the most common reference point for economic purposes (Czerny, 2015). As emphasised by Abdallah and Rosenberg (2018), modern digital hydrographic maps with the correct attributes assigned are the basis for effective water management. The input data (stored in spatial databases) should therefore be consistent and

* Correspondence to: University of Silesia in Katowice, Faculty of Natural Sciences, Institute of Earth Sciences, Będzińska Street No. 60, 41- 200 Sosnowiec, Poland.

E-mail address: magdalena.matysik@us.edu.pl (M. Matysik).

<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>

Received 1 April 2023; Received in revised form 24 July 2023; Accepted 26 July 2023

Available online 1 August 2023

2214-5818/© 2023 The Author(s). Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

compatible with the managed area.

However, in worldwide literature there are some examples of errors mentioned, that occurred in spatial surface water databases. [Barrat and Otieno \(2015\)](#) point out that most errors are generated because of outliers (extreme values) and missing values, which in spatial databases influence topological errors. [Yartseva et al. \(2018\)](#) notices discrepancies in digital topographic maps because of different scales of backing materials (e.g. scanned analogue maps). In 2004, Lehner and Doll noticed a lack of many objects in lakes and wetlands areas. The authors mentioned that some data are georeferenced incorrectly or that automatic classification (needed at that scale) can also generate artefacts. [Tan et al. \(2021\)](#) claim that water land coverage areas are too generalised and need to be improved. Research made by [Janczewska et al. \(2023\)](#) confirmed that global as well as regional land coverage databases indicate water-covered areas incorrectly or with huge generalisation.

Discrepancies in reference to spatial databases of surface waters may cause many complications that impede water management. Databases of surface waters are used in water management, e.g. to monitor drainage systems ([Pidelobo et al., 2018](#)), and to manage cadastral estates covered with flowing waters ([Kowalski, 2010](#)). Above all, they are the basis for creating assumptions enabling the achievement of the Water Framework Directive requirements ([Przygodzki, 2020](#)). These databases also include hydromorphological data useful in water quality monitoring ([Absalon, 2018](#)) and are the basis for determining water bodies (Report of the Ministry of the

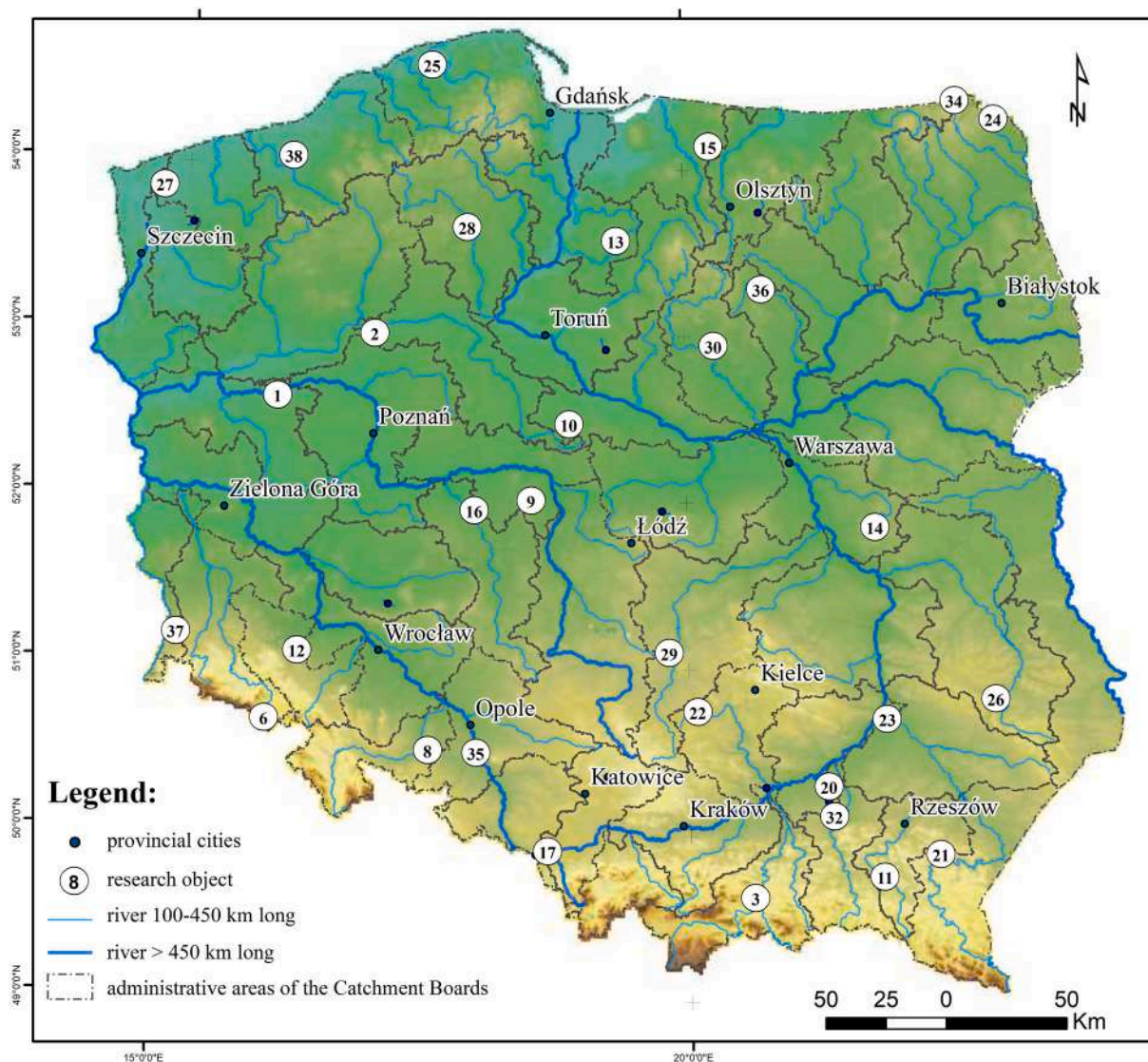


Fig. 1. Location of the research area: 1. Bielina, 2. Bolembka, 3. Brzeźniana, 4. Brzuśnia, 5. Czarna Woda, 6. Czarnuszka, 7. Dobruła, 8. Dobrzyńska, 9. Falusz, 10. Kocięca, 11. Marcinek, 12. Modzel, 13. Nida Kisielicka, 14. Olszanka, 15. Opin, 16. Parowa, 17. Pielgrzymówka, 18. Pilesza, 19. Pogoria, 20. Potok Partyński, 21. Rzeką, 22. Rzeszówek, 23. Sanna, 24. Sejwa, 25. Skórzynka, 26. Stara Gorajka, 27. Struga Ostromicka, 28. Struga Stobno, 29. Struga Strzelecka, 30. Topielica, 31. Wardega, 32. Wiewiórski, 33. Wilenica, 34. Wizga, 35. Zakrzówka, 36. Zdziwówka, 37. Zielnica, 38. Żelazna.

Environment, 2005). In addition, digital monitoring of changes in land cover by water is crucial for research into contemporary climate change (Xu et al., 2021), global changes in water volume (Pekel et al., 2016) and tolerance to anthropopressure (Choudhury and Yadav, 2020). One of the most important functions in the mapping of areas covered with water is the possibility of conducting flood risk analyses and counteracting their potential effects (Sun et al., 2021).

Data on surface waters are also used in hydrological modelling for the forecast of water demand in the agricultural and industrial sectors (Taher, 2020). This is helpful for the planning of new infrastructure solutions for flood protection (especially after catastrophic events) or for hydropower or inland navigation (Laituri and Sternlieb, 2014). The use of divergent data by regional governments in the planning process of building and distribution of new water structures results in a lack of consistency and uniformity in the decision-making system of the national water management system.

One of the biggest problems in international cooperation in water management is the lack of certain spatial hydrographic data. The need for integrity of global surface water data nowadays is indisputable (Marques et al., 2022). Haener (2018) point out that an integrated information system on waters on a regional and national scale allows for monitoring the adaptation of the water system to current climate change, creating flood and drought early warning systems or protecting water ecosystems. What's more, such a system accelerates and facilitates reporting on the implementation of the assumptions of e.g. the Water Framework Directive or the Floods Directive. Because river courses aren't close to the area of one country and the Water Framework Directive is implemented for all European Union countries (Miranda and Ostoich, 2011; Directive 2007/60/EC, 2022), it is necessary to unify hydrographic data for at least one continent area. This is not possible if individual countries collect their hydrographic data in an inconsistent way.

Considering Poland's example, the issue of the inconsistency of surface water databases has been discussed for years in Polish national literature. Majewski (2011) postulates the need for unification (in spatial dimension) of hydrographic data collected in different formats or coordinate systems (e.g. depending on whether in the Prussian, Russian or Austrian partition area). The author also mentions the need for a one national and constantly updated IT system for water management. On the other hand, Iwaniecki, during the same conference in 2011, mentions the problems of Polish water management and clearly emphasises that in the reform of water management (later taking place in 2018 with the new Water Law Act) it is necessary to create a modern information system. Such a system should contain current and historical hydrographic data and provide the ability to control the condition of water systems. Bieda (2012) posts that on a large (geodetic) scale there is a need to precisely indicate where the actual shoreline of a river or lake is and she is searching for a method for its remote mathematical determination. In turn, Afelt et al. (2017), describing the method of creating a digital version of the Polish Hydrographic Division Map, indicate the biggest problems of two issues: access to reference data and their quality as well as limitations in the harmonisation of data from various sources. In Polish literature there are not many positions describing surface water databases and none of the Polish researchers tried to measure the quality of the present hydro databases.

As discussed above, a lot of different types of errors were detected during research into which hydrographic databases are needed. Although, in world literature we didn't find a solution for these errors and discrepancies detection. The presented paper on the Polish water management system compares the databases currently used and then validates them, indicating the types and quantitative value of discrepancies, as well as the resulting consequences. Therefore, the study is unique and is an extension of previous research. In this paper, we proposed a methodology for measuring errors in the statistical and spatial dimensions (using the tools of Geographic Information Systems - abbrev. GIS) as well as a statistical coefficient.

2. Materials and methods

2.1. Research area

Due to their best knowledge and availability, the authors took a closer look at regional Polish databases. The research objects were 38 rivers located in Poland, throughout the all-country area (Fig. 1). For the most complete analysis we focused on watercourses of similar length but located in geologically, geomorphologically, altitudinally diversified basins and in different landscapes and environmental pressures. The Map of Polish Hydrographic Division (pol. abbrev. MPHP) was the most up-to-date database (June 2021). Additionally in the Regulation on the Water Management Information System (J. Law 2020, item 1657), MPHP is the basis on which information on the hydrographic network is provided. The above-mentioned system, based on Art. 333 of the Water Law (Water Law Act, 2017), is the official information system in the field of Polish water management. In addition, the digital Map of Poland's Hydrographic Division is the only source in the creation of Water Management Plans (which are also legal acts) (Water Management Plans in the area of Polish river basins, 2023) and the Flood Hazard and Risk Map (Przygodzki, 2020). On this basis, the MPHP is considered to be the official database in the field of the hydrographic network. The MPHP is publicly available in the government hydroportal and is part of the IT System of Protecting the Country against extraordinary threats. For the above reasons in this study MPHP was selected as the referenced database.

Based on MPHP, we selected rivers whose length attribute was in the range of 10.00–14.99 km. Then a layer was applied evenly dividing the catchments of Polish rivers on the basis of administrative parts of the Polish Waters Catchment Boards. For each Catchment Board, a watercourse was indicated, the length of which is at least 10 km or the length closest to it. Then, the remaining layers (EM and BDOT) were applied and only those rivers that are included in each of the examined databases were specified as the research area.

2.2. Data

Based on the analysis of acts of law relating to water management and the national spatial information infrastructure, three

databases were distinguished that contain present layers with the surface hydrographic network of Poland:

- The Drainage System Database (pol. *Ewidencja Melioracji*, hereinafter “EM”). This database was created by marshals of voivodeships due to article 70 of the Water Law Act of 18th July 2001 ([Water Law Act, 2001](#))- repealed) and updated pursuant to article 196 of the Water Law Act from 20th July 2017 ([Water Law Act, 2017](#)) by National Water Management Authority State Water Holding Polish Waters. A vector layer called NaturalWatercourses (pol. *Cieki Naturalne*) was a component of this database until 1st January 2018 (the date of the change in legislative provisions). This layer contained watercourses and information about riverbeds with a minimum width of 1.5 m. These rivers were maintained by the marshals of the voivodeships. The exact name of the marshal’s office is *Wojewódzki Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych* ([Majewski, 2011](#)). Due to the change in the structure of the Drainage System Database and the ownership structure of surface waters (because of the Water Law Act of 20th July 2017), the database was submitted to the National Water Management Authority and merged. Since 1st January 2018, this layer has not been updated or made publicly available but it is often a reference layer for decisions made by employees of Polish Waters because it was created by people who know the course of rivers from terrain experience. However, the database does not include rivers that were

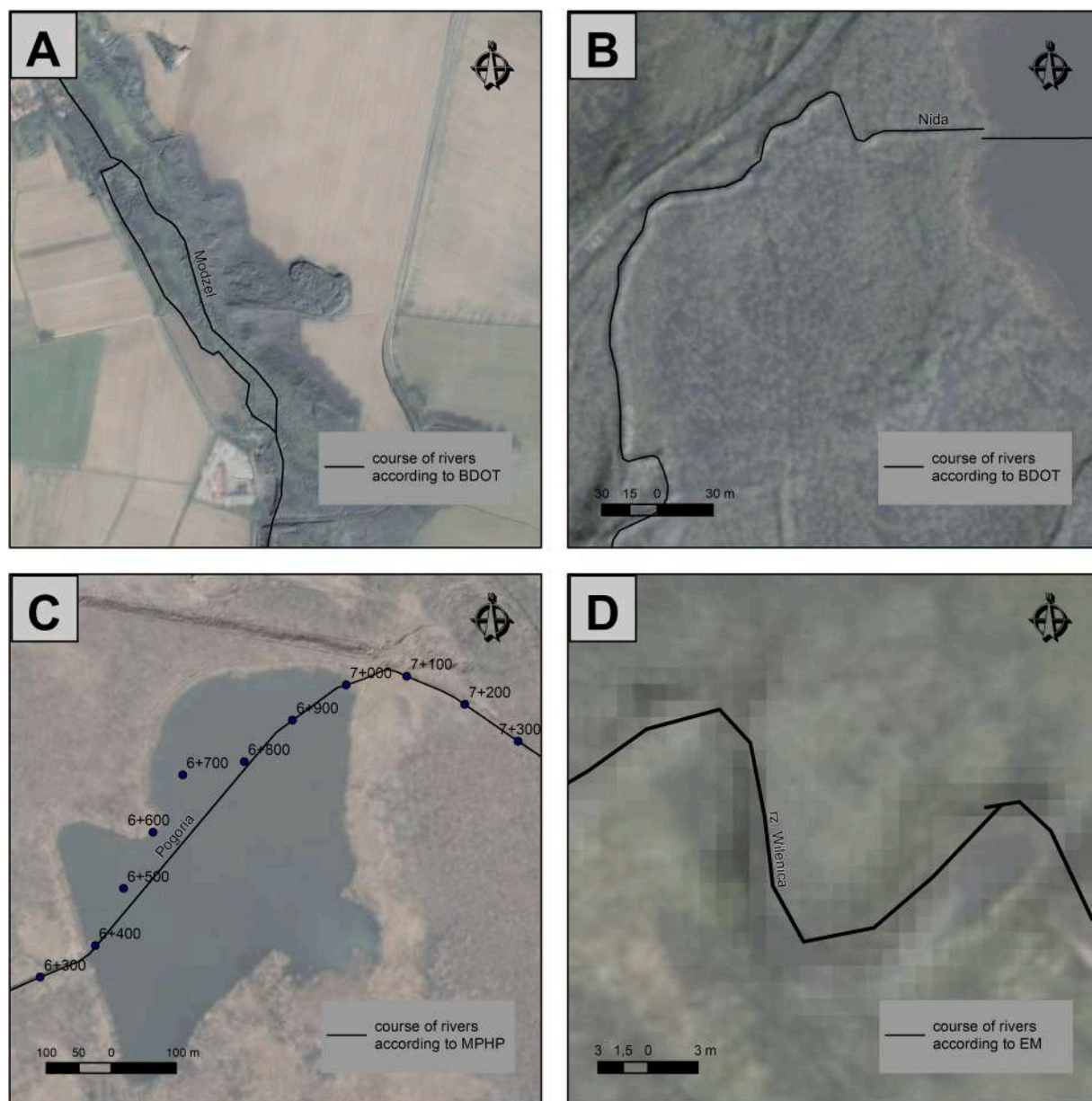


Fig. 2. Examples of errors in geometry precluded the analysis of mileage discrepancies: A - Modzel - double mileage according to BDOT, B - Nida Kisielicka - disconnected segments in BDOT, C - Wilenica - incorrect geometry in EM, D - Pogoria - MPHP mileage inconsistent with line.

administered by other offices and were included in the Regulation of the Council of Ministers of 17th December 2002 on inland surface waters or their parts constituting public property (Journal of Law, 2003, No. 16, item 149 - repealed).

- The Digital Map of the Hydrographic Division of Poland (pol. *Mapa Podziału Hydrograficznego Polski*, hereinafter “MPHP”), created in an analogue version since the 1950 s by the Institute of Geography of the Polish Academy of Sciences and then by the Head Office of Geodesy and Cartography, and since 1994 digitally by the Institute of Meteorology and Water Management and the National Water Management Authority. The original purpose of the study was defined as follows: “to learn about the water cycle in the background and connection with all elements of the geographical environment”. Currently, the Map of the Hydrographic Division of Poland is developed and updated by State Water Holding Polish Waters as part of an ISOK project (the IT System for the Protection of the Country against extraordinary threats), while implementing the assumptions of Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14th March 2007 - the so-called “INSPIRE Directives” (Afelt et al., 2017; Piórkowski et al., 2013; Barczyńska et al., 2013). In this study, version 15, updated in June 2021, was used.
- The Database of Topographic Objects (pol. *Baza Danych Obiektów Topograficznych*, hereinafter “BDOT”). This database was created and updated by the Head Office of Geodesy and Cartography, based on the Regulation of the Minister of Interior and Administration from 17th November 2011 (Journal of Law, 2011) and the Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology from 27th July 2021 on the database of topographic objects and the database of general geographic objects, as well as standard cartographic studies (Journal of Law, 2021). BDOT is updated in various periods (2014–2021) and for this study was downloaded in December 2021.

The EM and MPHP layers were shared by Polish Waters. In the case of BDOT, they were downloaded as open data made available by the Head Office of Geodesy and Cartography at geoportal.gov.pl. In addition, the layer with rivers mileage (based on MPHP version No. 10) and layers, which contains information on the Polish hydrographic division was obtained from Polish Waters sources.

The State Water Holding Polish Waters (*Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie*; the entity responsible for the management of inland flowing water in Poland) does not have additional databases than those mentioned above, which would present the surface hydrographic network of Poland.

Data on land cover obtained from the Corine Land Cover CLC2018 database is valid for 2018 and was downloaded from the website <https://land.copernicus.eu/> and processed in accordance with the guidelines of the Chief Inspector of Environmental Protection (GIOŚ, 2018).

Data used for research has not been updated by the time of the paper’s publication (January 2023).

2.3. Tools and methods

The research was made using ArcGIS version 10.7.1 (educational licence), QGIS 3.6 Noosa with the MMQGIS plug-in, Microsoft Office Excel and XLStat.

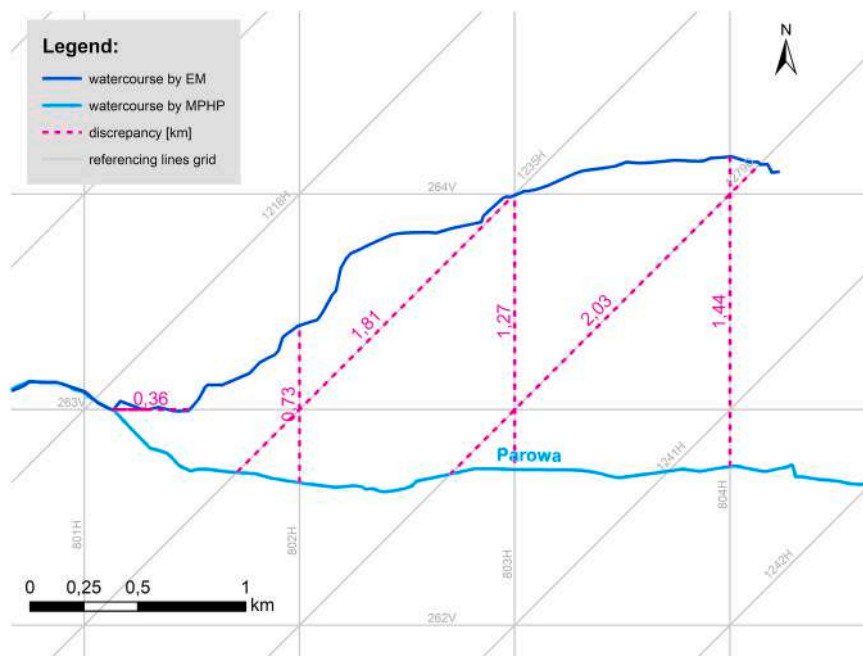


Fig. 3. Measurement of divergent distances between intersections with reference lines (red line - EM, blue line - BDOT, dashed pink line - distance difference).

Firstly, the watercourses that are the subject of the study were identified (2.1). Then, using the *Construct Point* tool, the mileage was determined at an interval of 100 m in the case of EM and BDOT. In the case of MPHP, the existing layer with mileage was taken from the working data sources of Polish Waters (2.2).

Then, using the *Hub Lines* tool available in the QGIS (MMQGIS plug-in), points defining the same kilometre of the river were connected. The data were compared separately for EM and MPHP, BDOT and EM, MPHP and BDOT.

The mean, median, minimum and maximum values for each tested watercourse were also determined.

Discrepancies in mileage between at least two databases have not been indicated in the following rivers: Marcinek, Modzel, Nida Kisielicka, Olszanka, Wizga, Zdziwówka, Wilenica, Sejwa, Pogoria, Kocięca. An error of the algorithm determining the mileage or length of the watercourse was caused by the double course of the line in the same layer, disjointed segments presenting the same watercourse or incorrect geometry. In the case of the Sejwa and Pogoria rivers, the mileage for the MPHP v. 10 version was inconsistent with the polyline mileage (Fig. 2).

In the next step, a layer of reference lines grid was created using the *fishnet* tool. Using the *Intersect* tool, point layers were generated, which indicate the intersection of the tested polyline layers with the grid of reference lines. Then, based on reference lines, the distances between the intersection points for each compared database were measured (Fig. 3). The data were compared separately for EM and MPHP, BDOT and EM, MPHP and BDOT.

The mean, median, minimum and maximum values for each tested watercourses were also determined.

Land cover (expressed as a percentage) along the watercourse was determined according to the [Corine Land Cover \(2018\)](#) database by merging three lines that presented the same rivers into one object. Then a buffer area of 100 m from the right and left sides of the river was created. Thus, the area of the study is approximately equal for watercourses with discrepancies of up to several metres: 200 m x the maximum length of the polyline showing the watercourse. The longer the watercourse or the greater the divergence, the larger the area for which the land cover was examined.

In order to verify the results of comparing the attribute and geometric lengths of the watercourses, as well as the interdependence of discrepancies in the course of the watercourse, mileage and land cover, the linear autocorrelation of these quantities was examined using the Pearson coefficient. This coefficient presents values in a closed range [– 1.1]. The higher its value, the stronger the correlation. This coefficient is the quotient of the covariance and the product of standard deviations of the studied variables (Cohen, 1988):

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

ρ - Pearson's correlation coefficient

cov - covariance

σ_X - standard deviation of variable X

σ_Y - standard deviation of variable Y

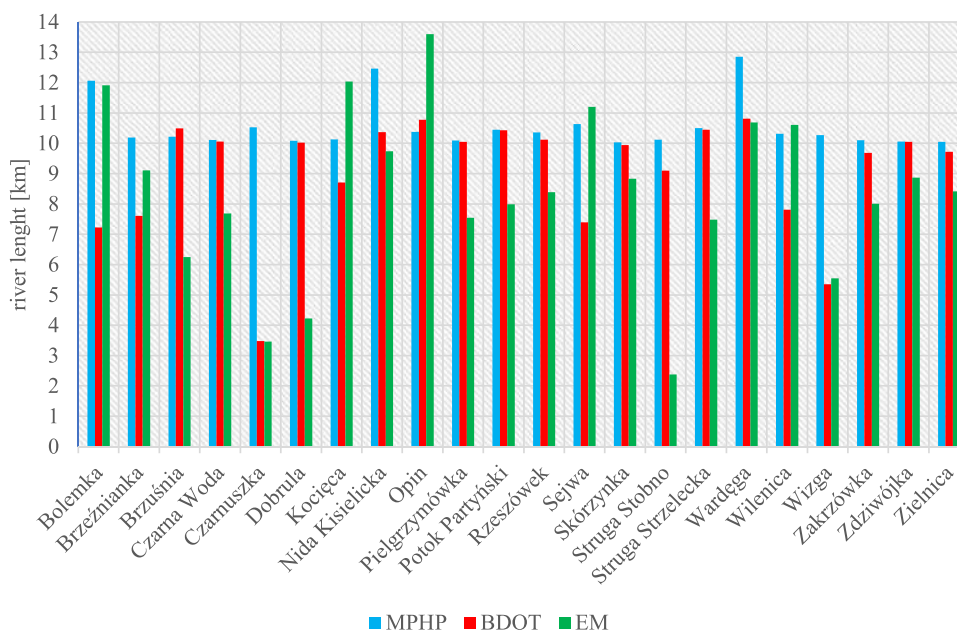


Fig. 4. Discrepancy > 1 km between databases in the length of the polyline.

When comparing the detected discrepancies with the land cover, non-parametric tests were also used: W. Kendall's and Spearman's ranks. According to Hauke and Kosowski (2011), Pearson's coefficient doesn't require a linear dependence between the variables or measuring them in interval scales. The purpose of comparison with W. Kendall's and Spearman's coefficients was to validate the results obtained on the basis of the parametric Pearson correlation coefficient.

3. Results

3.1. Discrepancies in nomenclature and length of rivers

Defining the same river with three different names occurred in the Falusz and the Wiewiórczanka. 16 rivers (42% of the examined objects) had two different names. In 6 cases, the names used were not synonymous. An unusual incident was the case of the Cygański (the name according to EM), which was defined by the MPHP and BDOT databases as simply: "River". In this article, we used the names of rivers according to the MPHP database.

The inconsistency of surface water databases in Poland also occurs in the lengths of rivers. Both the length described as an attribute in the database and the one calculated by the program algorithm were compared. Among the examined objects, discrepancies in length between the examined databases above 1 m were found in all rivers except the Żelazna River (Zieleniec). In 22 objects (58%), the discrepancy between at least two databases was more than 1 km, which is presented in the graph (Fig. 4).

When analysing the correlation coefficient in the lengths of rivers, a significant value equal to 0.406 was found between the geometrical lengths of watercourses according to the EM and BDOT comparison. A significant correlation also occurs between the lengths specified in the BDOT database and in the MPHP database. The coefficient is higher for quantities that are described in the attribute table. Comparing the lengths of the drawn polylines in the MPHP and BDOT databases, the correlation coefficient reaches low values. The correlation between the geometric lengths MPHP and EM is equal to 0.350 (Table 1).

In addition, the BDOT and MPHP databases contain descriptive information about the length of the river. However, the source of the measurement was not indicated. In the following cases, the discrepancy between the length specified as an attribute in the database and the generated length of the polyline exceeded 1 km (Fig. 5). Such discrepancy value precludes its connection only with the algorithm of the program that calculates the geometric length.

The correlation analysis in all the examined objects between the attributed length and the length of the polyline allowed us to confirm that these values are characterised by a high discrepancy in the case of the BDOT database (correlation coefficient = 0.017). In the case of MPHP, the correlation between geometric and attributed length was 0.791 (Fig. 6).

3.2. The discrepancy in mileage and course of rivers on the map

The divergence in mileage is a derivative of the different lengths of the same object. The highest average values of mileage discrepancies occurred between EM and MPHP. The average value of all the examined objects was 353.62 m, and for 44% of the tested rivers was over 100 m. When comparing these databases, the maximum discrepancy was found in the case of the Wizga and was equal to 4143.19 m. When comparing the BDOT database with EM, the average discrepancy was 295.61 m and in 45% of the examined objects, discrepancy values were above 100 m. Bearing in mind the minimum values in the case of Wilenica, there were sections where the mileage according to BDOT and EM were completely consistent with each other. The maximum value of the discrepancy between the EM and the BDOT was 3899.36 m (Opin). When comparing BDOT and MPHP, the maximum discrepancy detected for the Rzeszówek was 959.2 m. The smallest discrepancy values were identified when comparing BDOT and MPHP, where the average was 62.31 m and in only 10% of examined objects, the average discrepancy between the mileage was above 100 m (Janczewska et al., 2022).

Based on the reference lines grid, the distance in a straight line between polylines representing the same watercourse was measured. According to the current Water Law Act (Water Law Act, 2017), an object with a bed width of less than 1.5 m at the mouth is a ditch, which suggests that the minimum width of the natural riverbed is 1.5 m. Hence, the polylines of the analysed databases mapping the same watercourse at a distance of more than 1.5 m from each other may hypothetically represent two different beds. The average discrepancy in the presentation of the course of the same river was over 1.5 m when comparing EM with MPHP in 31 (81.6%) and with BDOT in 28 (73.7%) examined objects. Between MPHP and BDOT it was less and occurred in 23 examined objects (60.5%). The obtained results are presented in the Appendix A (Table A1).

The highest average values of divergence in the course of rivers were noticed between EM and MPHP. The MPHP and BDOT polylines representing the Opin ran more than 2 km from the polyline presenting its course by EM. Average discrepancies between EM

Table 1

Correlation coefficient between the lengths of rivers according to the analysed databases.

	<i>MPHP (geometry)</i>	<i>BDOT (attribute)</i>	<i>BDOT (geometry)</i>	<i>EM (geometry)</i>
MPHP (attribute)	0.791	0.450	0.190	0.383
MPHP (geometry)		0.377	0.229	0.350
BDOT (attribute)			0.017	0.203
BDOT (geometry)				0.406

Statistically significant correlations at the level of 0.05 are marked in bold.

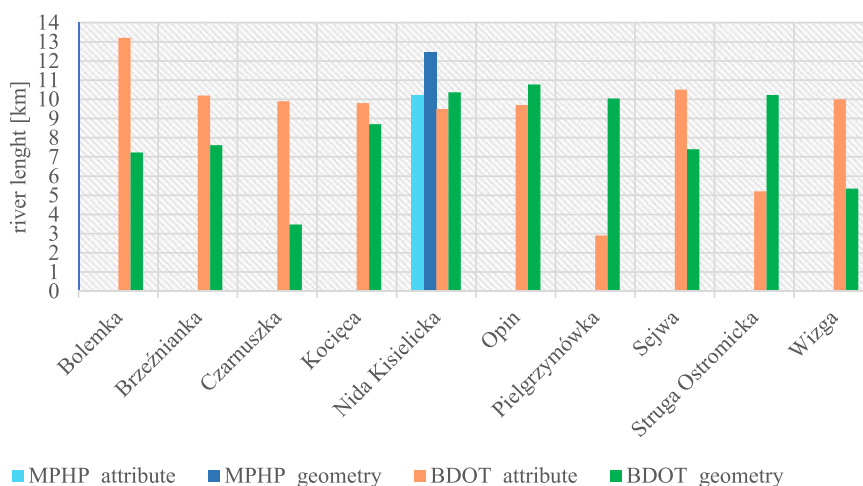


Fig. 5. Discrepancy > 1 km in the same database according to the length of the polyline (geometry) and the length of the watercourse described in the attribute table (attribute).

and MPHP and between EM and BDOT amounting to more than one hundred metres occurred in the case of the following watercourses: Nida Kisielicka, Dobruła, Brzeźniana, Parowa, Zakrzówka, Dobrzynka, Bielina. In 24% of cases (9 objects) the parts of the polyline marking the watercourses according to EM and MPHP completely overlapped each other. In the case of EM and BDOT complete convergence occurred in 8 watercourses (21%). Comparing the watercourses drawn by MPHP and BDOT databases, the maximum discrepancy of 228.3 m occurred in the case of the Dobrzynka. In the case of the Żelazna, the polylines completely coincided with each other (0 m divergences) along the entire length of the watercourse. In the case of as many as 36 examined objects (95%), fragments of polylines representing the same watercourse according to the MPHP and BDOT databases ran exactly in the same place.

Much greater coherence of the MPHP and BDOT databases is confirmed by the high results of the correlation of discrepancies between the two databases with EM. The correlation coefficient between the average discrepancies of EM and BDOT as well as EM and MPHP is 0.997. In the case of the median value, the correlation between these bases is equal to 1, in the case of maximum values it is 0.977, and the correlation of the minimum discrepancy values when comparing EM and MPHP with EM and BDOT is 0.671. Taking into account the Pearson correlation coefficient for the average discrepancy values resulting from the comparison of MPHP and BDOT as well as EM and MPHP, amounting to 0.180, it should be stated that EM is the base which is completely inconsistent with BDOT and MPHP.

The correlation coefficient of average discrepancies with the median, maximum and minimum values when comparing the same bases each time reached a statistically significant value, which confirms the accuracy and correctness of the used methods.

During the research, it was found that there is a large interdependence between the discrepancies in the course of polylines with the discrepancies between the mileages. The greatest interdependence of the average discrepancies in polyline course with the average discrepancies in mileage was noticed when comparing the BDOT and MPHP bases (Pearson's coefficient = 0.801) (Fig. 7). The correlation between the above discrepancies when comparing EM with BDOT was 0.482 and when comparing EM and MPHP it was 0.381. However, the divergent length of watercourses is not the only criterion for mileage discrepancies. During the research, a lot of geometrical errors were detected (Fig. 2) and differences in the location of river mouths were observed (kilometre 0 +000 located in the centre of the recipient or in its shoreline). However, the greatest discrepancies in mileage were observed when comparing the course of the polyline representing a watercourse (especially in piped sections and within water reservoirs).

3.3. Correlation of discrepancies with land cover

The correlation analysis carried out using the Pearson coefficient allowed us to detect only one statistically significant value equal to 0.338, which indicated the occurrence of high values of divergence in the course of polylines related to the course of the river across area coverage with forest (Fig. 8).

The statistical study using the Pearson method showed a positive relationship between the increase of the discrepancies between BDOT with EM and MPHP with EM as the percentage increase in the share of forest areas in the land cover of the riverbed and adjacent lands (Appx. B). The results of statistical studies using the Spearman and Kendall method confirmed this relationship (Appx. B) and showed statistically significant values of negative correlation with built-up areas (as the average discrepancy increased, the percentage of built-up areas in the analysed area decreased), while the highest values of positive correlation also reached the areas covered by forests (Figs. 8–10).

Each of the indicators (Pearson, Spearman, Kendall) reached values higher than 0.1, showing a positive correlation of the increase in the value of mileage discrepancies (comparing EM with other bases) in areas covered with water and wetlands.

Comparing the measured divergence values across agricultural areas, all Pearson correlation coefficients reach a negative value or a maximum positive value of 0.023.

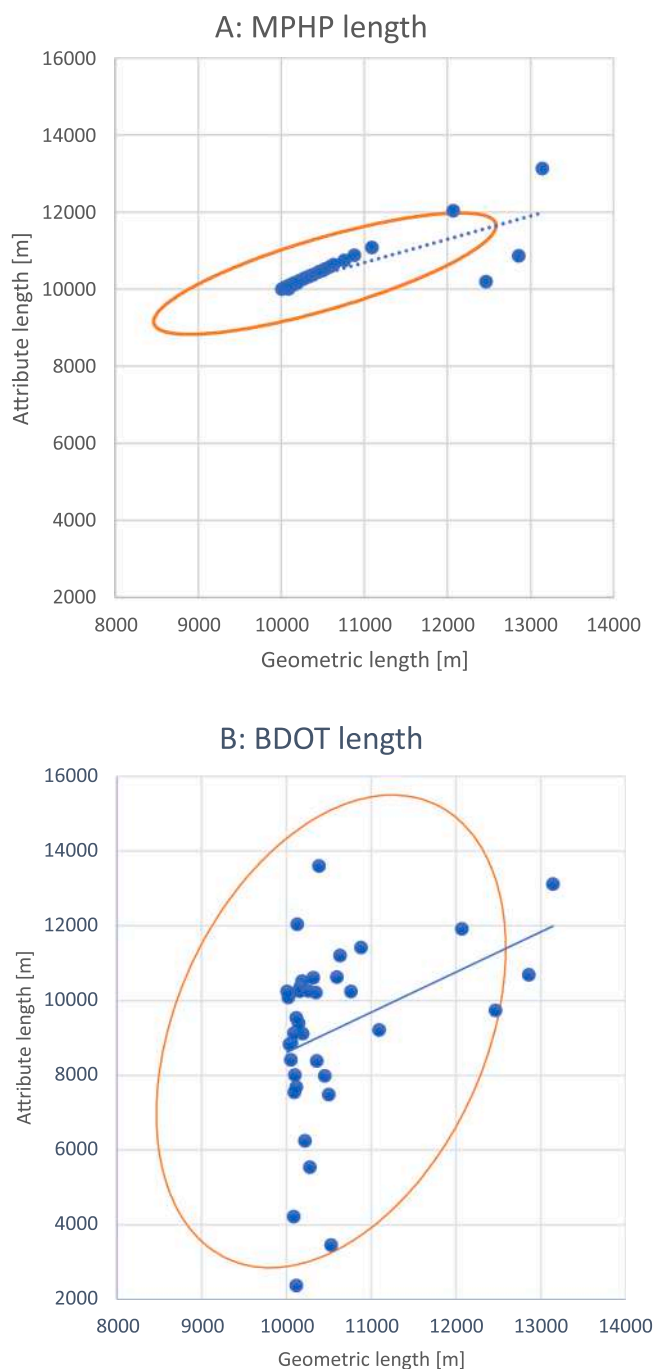


Fig. 6. Correlation between attributed and geometric lengths in the MPHP (A) and BDOT (B) databases.

When studying the dependence of discrepancies values in the mileage and river courses on land cover, no correlation was observed when comparing BDOT and MPHP (values according to the Pearson index <0.11).

The statistical analysis allowed us to ascertain an increase in the value of discrepancies when comparing EM with other databases as the intensification of covering riverbed and their floodplains with trees and a significant decrease in the percentage share of built-up areas and partly of agricultural land. In wetlands and areas covered with water, a clearly positive but statistically insignificant correlation was noted in the case of discrepancies between the mileage of EM and other bases (Figs. 8–10).

However, no relationship between the land cover and the discrepancies between BDOT and MPHP was detected.

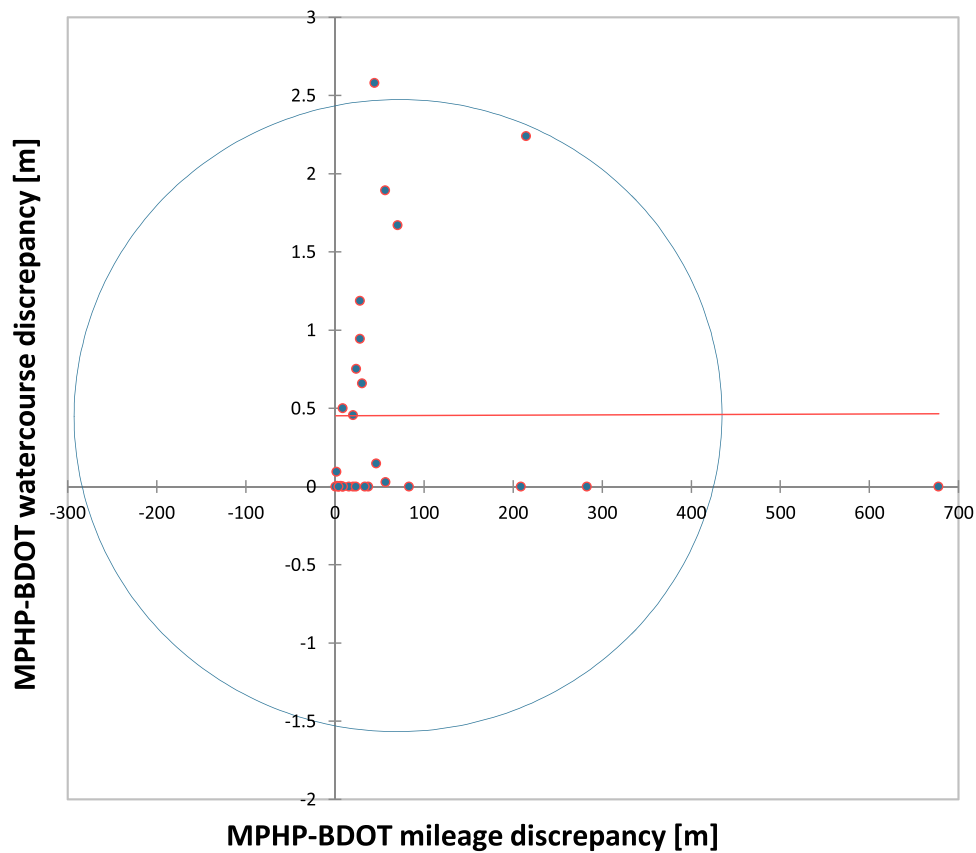


Fig. 7. Correlation between discrepancies in the course of the river and its mileage. Comparison of MPHP and BDOT databases.

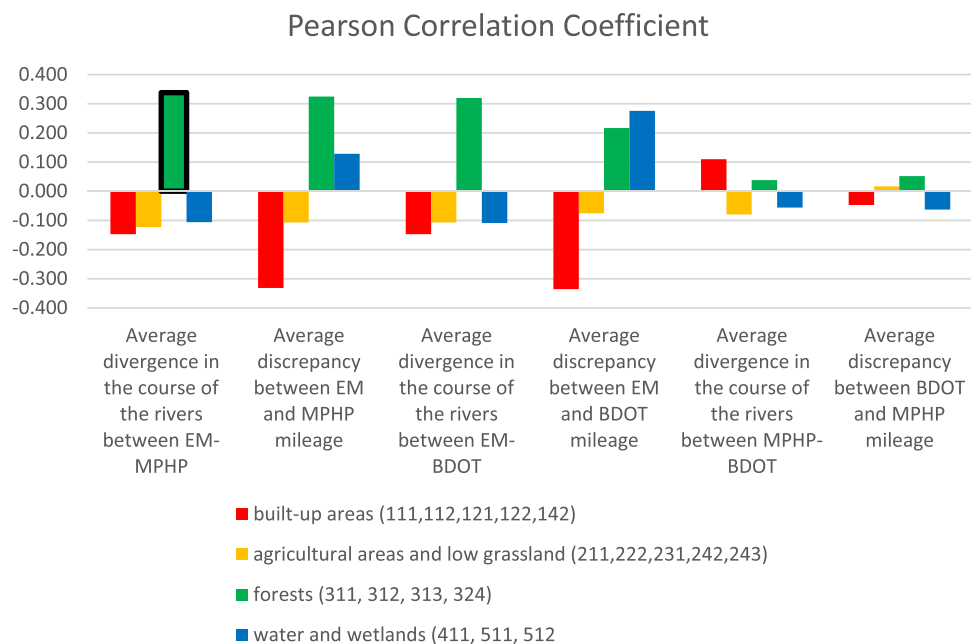


Fig. 8. Pearson's correlation coefficient between discrepancies in the course of the polylines drawing watercourses and mileage with land cover. Bold outline indicates statistically significant values.

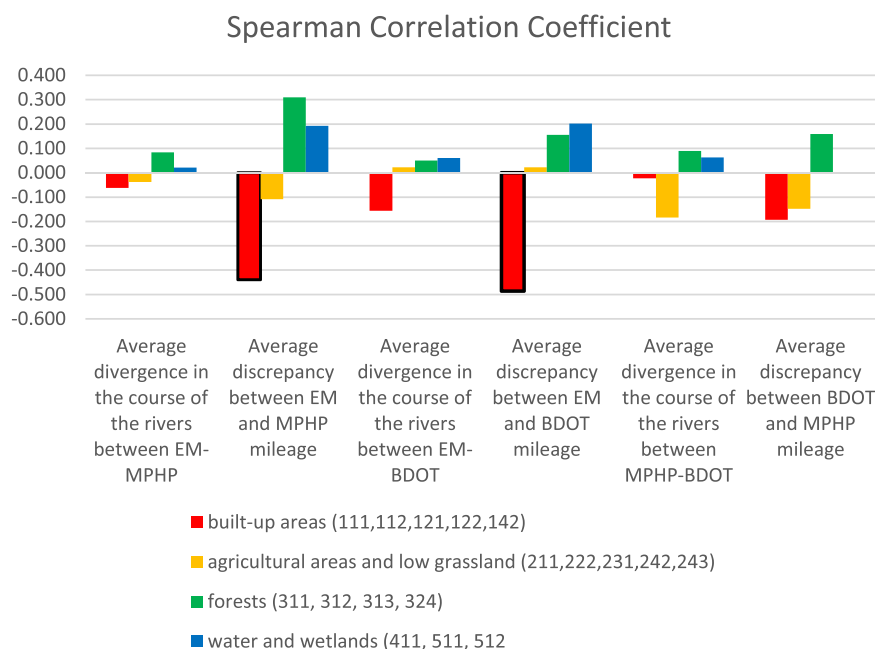


Fig. 9. Spearman's correlation coefficient between discrepancies in the course of the polylines drawing watercourses and mileage with land cover. Bold outline indicates statistically significant values.

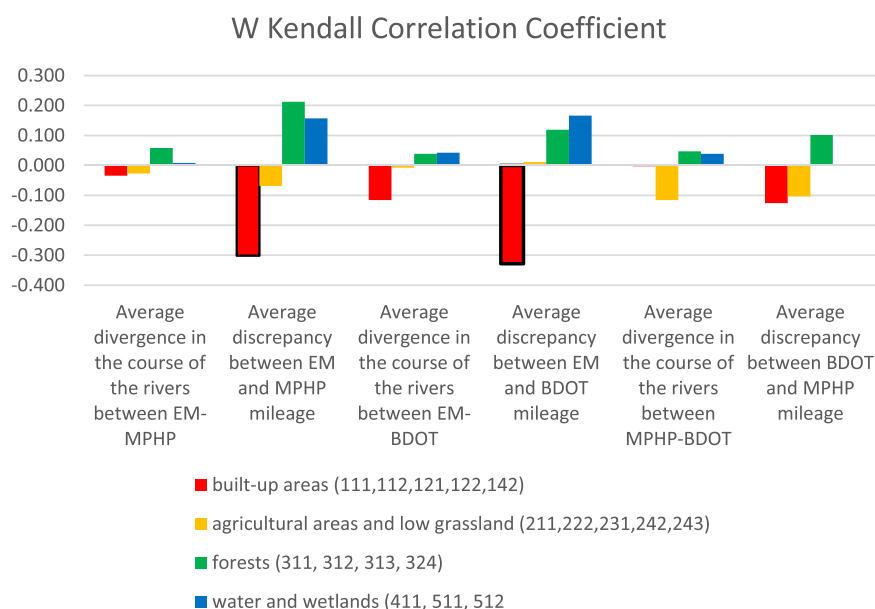


Fig. 10. Kendall's correlation coefficient between discrepancies in the course of the polylines drawing watercourses and mileage with land cover. Bold outline indicates statistically significant values.

4. Discussion

4.1. Reasons for discrepancies

It has been shown that geoinformation data in the Polish hydrographic network is characterised by the inconsistency of attribute data and inaccurate geometry. Despite the extensive network of databases, none would be clearly defined as a reference in water management (Afelt et al., 2017).

The basic databases of surface water in Poland, presented in the article, are drawn as vector layers (shapefile). These layers (which

represent the course and parameters of natural watercourses) were created based on several methods. The most common of them was the vectorisation of orthophotomaps or analogue hydrographic division maps (Drwal et al., 2005; Barczyńska et al., 2013). In the case of MPHP, the source data was the BDOT database (especially for hydrographic layers - including natural watercourses) and the digital elevation model and topographic map, as well as the State Register of Geographical Names (Barczyńska et al., 2013). Data from other cartographic materials or geodetic measurements were much less frequently introduced (Piórkowski et al., 2013). According to the above-presented studies, it is worth noting that the discrepancies between the BDOT and MPHP databases are much smaller than when comparing these layers with EM. This confirms the interdependence of creating the MPHP database on the basis of BDOT. However, these bases do not completely overlap with each other, which contradicts the thesis made by Barczyńska et al. (2013) that the MPHP database should be complementary to the BDOT database. The inconsistencies detected suggest the incompatibility of these layers.

There are some documents issued after administrative proceedings which may precisely indicate the course and type of the riverbed (supported by geodetic coordinates). Examples are: decisions determining the shoreline (issued by district governors and from 2018 by the competent minister for water management), decisions determining the type of waters, and other decisions separating surface waters from the estates adjacent to them (Mączyńska and Kwartnik-Pruc, 2016; Bieda and Jesiołek, 2012). But the limitation of the above-mentioned documents is determining river courses usually just for property area (not along all the river course). In addition, modern hardware and software resources, and above all technical awareness, allow the use of much more advanced tools, such as multispectral aerial image classifiers or tools for determining flow accumulation based on Digital Elevation Models (Barovic et al., 2017). However, a study of the literature and an analysis of the metadata and attribute data strongly suggested that modern tools or documentation data were not used in the process of creating or updating the studied databases.

When analysing digital databases created with GIS, Barovic et al. (2017) point to numerous problems related to their formation: the same nomenclature of several separate rivers or the use of several names for one river, as well as the indication of the correct riverbed in the case of river forks and water structures located close to each other. In the case of the vectorisation of analogue maps, the authors note that interpretation problems of the source material result from generalisation or the presence of artefacts (Tiange et al., 2019). The factors described above are the reason for the discrepancies between the spatial databases of surface waters in Poland, created at different times and based on non-uniform source materials, as shown in the previous chapter. According to the surveyed databases, the double naming of the same rivers characterised almost half of the studied objects (47%).

Moreover, according to Wolski (2012) and Tristan et al. (2013), the vectorisation process always has some uncertainty values. This uncertainty is defined by many authors as an error (Wechsler, 2021). Uncertainty in the vectorisation process may result from imprecision (e.g. blurred boundaries of spatial objects and lack of objectivity in their separation) or from ambiguity (various possibilities of choosing the course of the object depending on the adopted criteria) (Wolski, 2012; Wenzhong et al., 2015). Wolski (2012) also points to errors resulting from calibration or georeferencing of source materials, e.g. in the case of implementing raster layers with different coordinate systems. As indicated by Doskocz (2015), photogrammetric digital data (such as orthophotomaps) also contain errors that appear in the orthorectification process, and the products created on their basis are much less precise than the products for which source data were geodetic measurements. The processes of digitisation and vectorisation are often burdened with topological errors consisting in the case of linear layers, e.g. in the discontinuity of the segment, incorrect overshoots, incorrect intersection or duplication of the segment (Maras et al., 2010). Errors of this type have been detected and their examples are illustrated (Fig. 3). These errors have not been removed, as this would change the source data and subjective assessment of discrepancies. It should be noted that these errors occurred in 4 (10.5%) of the tested watercourses in the EM and in 6 (15.8%) of the tested watercourses in the BDOT. For MPHP, no topological errors were detected. There is also interdependence between uncertainty in vectorisation and land cover of vectorised areas (Haibo et al., 2011). As discussed, the highest correlation with large discrepancies always appeared in these places of riverbeds which was defined by CLC2018 as an area with high or dense vegetation (forests). That is a common problem to correctly indicate the river course when the source material is an orthophoto created in the middle of the vegetation period (Grimaldi et al., 2020).

Data used in water management is most often stored in different file formats, has different geometries, was created at different times, has inconsistent attribute data (different nomenclature of data sets and individual attributes) and metadata. In the case of divergent input data (i.e. for flood modelling), it is necessary to apply actions leading to its harmonisation (Baume et al., 2011; Derepasko et al., 2021). Data processed in this way may have occurred with errors arising in this process and be characterised by the inconsistency of spatial information. In addition, this process is very time-consuming and does not give the expected results. In the case of input data generated at different times, it is impossible to create time models showing, for example, geomorphological changes within the riverbed (Abdallah and Rosenberg, 2018). Each of the analysed databases (BDOT, MPHP, EM) is characterised by diverse sets of attribute data, the paths are defined by different names, and these databases are updated at irregular intervals. The format of the input files was uniform, there was often discontinuous geometry, and the topology of the layers was not compared due to the large discrepancy in geometry.

It is worth noting that all spatial Geographical Information Systems data is characterised by a certain error. The quality of the data related to the amount of error involved depends on the purpose of the study and the acceptable tolerance (Chrisman, 1991). The global literature and Polish law do not specify the size of the error in spatial databases of surface waters.

Yan et al. (2019) point to similar discrepancies as we do. These authors achieved a method for automatic river network detection based on a digital terrain model. The method proposed in this paper aims to validate whether data derived from a few sources is comparable and worth using or not reliable enough. The authors emphasise that developing a detailed and consistent hydrographic database is one of the most important research topics in the hydrological discipline.

4.2. Methods of discrepancies verification

As has previously been shown, the methodology for creating spatial layers drawing the watercourses is diversified, which then generates described discrepancies. An innovative approach to determining the geometric line drawing the course of a river was initiated by Bieda (2012), who attempts to determine the geometric midpoints between the shorelines. However, many rivers do not have a designated shoreline, and the process of marking it is varied and lengthy due to the lack of legal regulations, apart from those included in the Water Law Acts of 2001 and 2017 (Mączyńska et al., 2016; Bieda and Jesiołek, 2012). Bieda (2012) in her study indicated the course of the shoreline in a vector way based on photogrammetric data with a GSD (Ground Sample Distance) of 0.2 m pixel, and then determined a line running through the middle of the riverbed using the Delaunay triangulation method and related the obtained results to the boundary administrative division of communes designated according to the course of rivers, obtaining shifts from 7 to 14.5 m. The subjects of our research presented in this article were watercourses that do not constitute the boundaries of administrative units, hence the size of the discrepancies is much larger.

Bieda et al. (2013) in their research also indicate the discrepancy between the course of the rivers according to BDOT500 in relation to the actual course of the rivers and the boundaries of real estate according to the State Border Register and the Land and Building Register, which should digitally indicate the course of administrative borders that coincide with the shoreline or water course line. The presented results, as well as those of Bieda et al. (2013) indicate the need to harmonise existing data on surface waters (and not only), which would make it possible to implement the assumptions of the INSPIRE directive, aimed at harmonising and unifying data for more effective management.

Detection and verification of discrepancies between BDOT, MPHP50 and PRG were one of the stages of creating the digital Hydrographic Map of Poland on a scale of 1:10,000. The above was done using GIS tools, however, Barczyńska et al. (2013) who describe this process, do not provide a way to verify these discrepancies and point out that the necessary corrections have been made. As indicated by Afelt et al. (2017) in the MPHP developing process, the lack of harmonised high-quality data sets did not allow the creation of a high-precision database. Many watercourses do not have a geodesic-measured shoreline, and in other cases, the type of the waters was not specified, which did not allow them to make their correct classification. The conducted research also shows that the MPHP database requires further improvements. The research presented in the above chapter does not allow us to clearly identify the most precise database. However, taking into account the criterion of relevance and the common analysis of the application, MPHP is most often used as a reference layer indicating spatial information about watercourses.

As emphasised by Barrat and Otieno (2015), data validation is a mandatory step of data processing that helps to identify errors and outliers. Statistical tools may be of key importance during data validation. In presented research on Polish databases of surface waters, they allow for detection e.g. dependence of the discrepancies size on the land cover.

The detection of errors in surface water databases is frequently discussed in the international literature. Verplanke and Georgiadou (2017) describe the process of verifying the database called the Water Point Mapping System. The authors analysed both attribute data and anomalies in vector data, and then distinguished material, observational, conceptual and discursive (organisational) data. The causes and effects of these errors were due to the changes that had taken place over time, data entry errors (missing or ambiguous values) or duplicate records. This article also indicates errors in attribute data (divergent nomenclature, length value or missing data).

The specificity of errors and the methods of their detection depend on the structure of a given database, which usually covers the territory of one country. Based on the conducted query, it should be stated that in the case of Polish databases on surface waters, validation of linear spatial data was not carried out, and the methodology for its implementation was not developed.

As emphasised by Yan et al. (2019) and Masetti et al. (2022), among others, there is a need for urgent action by government hydrographic authorities responsible for national water management in the creation of water databases that can be used as the official source of knowledge about the hydrography network in rural areas. Previously, institutions uniting countries or states in a continental area had to create this database structure to bring together the available international hydrographic data. This is best done by using existing data so as not to duplicate the analysis performed. However, all data must be validated in advance (Quevedo et al., 2016). The methods mentioned in this section, including methods based on the fishnet, hub lines, or topology validation tools supported by statistical coefficients, can be used for this. It is also important to emphasise that the methods described in Section 2.3 should be adapted to the type of data being analysed.

4.3. Consequences of discrepancies in the context of water management

As highlighted in the introduction, inconsistent data and surface water databases have a direct impact on water management effectiveness, particularly in administrative boundary areas. The management process occurs in the following fields of the use of surface water databases: agricultural (drainage systems), real estate cadastre, water quality monitoring, environmental protection, etc.

What is more disturbing, surface water databases are the main data source in the implementation of European Directives like the Water Framework Directive and Floods Directive. As investigated in Polish water management, flood hazard maps and flood risk maps are created, among others, based on the Database of Topographic Objects (BDOT) and the Map of the Hydrographic Division of Poland 1:10,000 (MPHP) (article 18 of the Regulation - Journal of Laws, 2018, Item 2031; Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, 2020). That is why errors in these databases have a significant impact on the incorrect management of flood risk.

The digital Map of the Hydrographic Division of Poland (MPHP) on a scale of 1:10,000 was also intended to be a reference for scientific studies (concerning hydrological phenomena and processes), water and economic balancing, as well as to be helpful in analysing the waters state and in making environmental impact assessments. In addition, it should be the base layer for digital maps in the process of issuing a water law permit (Barczyńska et al., 2013). However, inconsistent attributes and geometric data negatively

influence the MPHP relationship with other databases and, as a result, make the above-mentioned functions impossible.

It should be highlighted that the location of a phenomenon, which is the subject of administrative proceedings (e.g. in the case of a water law permit), is identified by indicating the mileage of the river (without indicating the source material). As demonstrated in the previous chapter, each of the examined databases indicates a different location of the same kilometre of the river. It is worth noting that in the case of comparing each of the examined databases, discrepancies occurred in at least 10 objects exceeding the typical value of determining the mileage (100 m), so two points were located close to each other but indicated a different kilometre. Such discrepancies make it much more difficult to localise a phenomenon on the river, which affects e.g. the incompatibility of reports with flood risk maps, the identification of a place to carry out water management inspections or the identification of the legality of an activity/installation and is the cause of non-compliance with the navigation route marking (State Water Holding Polish Waters, 2020; Hoenke et al., 2014).

The difference in mileage is usually related to the difference in length. As shown based on one of the databases, there may be large differences in attributes and geometry. When these databases are applied in practice, this may result in incorrect estimates of water resources, flood risk areas, maximum river discharges, etc., or even wrongly planned maintenance costs. Having information about the correct river length is also important when building hydrological and hydraulic models (Zhang et al., 2008). Accurate river length data is therefore one of the most crucial pieces of information in a hydrographic database, especially because there are several methods for its automatic determination, such as constrained Delaunay triangulations (Chew, 1989; Bieda, 2012) or the Multiple Criteria Decision approach (Zhang et al., 2008).

Awad et al. (2009) point out that inconsistent databases with incomplete and non-integral data, which in the case of regional analysis turn out to be too generalised, make international cooperation impossible in surface waters management. In the case of divergent data on a national scale, there are a lot of difficulties in cooperation in terms of water maintenance between public and government administration bodies (e.g. Commune Offices, Poviast Starosty, Chief Inspectorate for Environmental Protection), state formations (such as the State Fire Service) or state legal entities (e.g. State Water Holding Polish Waters). The analysed databases should be compatible and enable cross-border cooperation (Barczyńska et al., 2013). According to the research, the existing databases of surface waters are not appropriate for good internal or external administrative cooperation.

Majewski (2011), indicating the problems of water management in 2011, paid attention to the lack of an information system enabling effective management of water resources. Such a system should contain data sets on the current and archival condition of the components of water systems by catchment area, as well as data on users of water resources of this system and their pressure. The need for a decision support system in water management based on high-quality and complete hydrological data was also noted by Jaiswal et al. (2021). The Information System for Water Management (*System Informacyjny Gospodarowania Wodami*, SIGW), run pursuant to Art. 329 of the Water Law Act (Water Law Act, 2017), contains some of the data requested by Majewski and Jaiswal. As it turns out from the research, the spatial database containing data on the course of rivers and their basic hydrological parameters, which are one of the basic parts of SIGW, does not fulfil the task that Majewski (2011) indicated as the basic task of the information system - it does not provide an operational possibility to track changes taking place in the water system. This is also due to the fact that the database is not regularly updated.

As this paper has shown, modern methods to improve the collection and processing of water system data have been developed. Ikonomakis et al. (2022) proposes an Automatic Identification System to always correctly indicate the phenomena position, particularly in areas with a distorted signal. This is particularly the case in areas with forestry for both in-ground and airborne detection (which is also confirmed by our statistical analyses). Sit et al. (2020) found that it is becoming more popular to make official national hydrographic databases publicly and internationally available. They noted that deep learning methods are more frequently applied in water system studies, also for maintaining water system databases. In March 2021, the New Zealand Government published a manual entitled "Understanding the Value of Hydrographic Data", which helps readers to deal with water databases in that country. Alongside the search for solutions to minimise errors and discrepancies in water system databases, more attention is being paid to water quality data. In Koblenz (Germany), the UN Environment GEMS/Water Data Centre gathers data for regional and global water quality assessment. It shows that it is possible to collect high-quality validated real-time data covering a wider territory than a country. As Nunes et al. (2023) mention, the Portuguese Hydrographic Institute takes action to improve algorithms that help unify regionally and nationally all types of hydrographic data (e.g. marine, inland water). However, no literature has been found giving an example of proper regional water data management.

5. Summary and conclusions

Literature and Polish law do not indicate any surface water database as a reference, and our research confirms that none of the existing databases can be fully used in making strategic decisions in water management. Nevertheless, all decision-support systems for water management should be based on high-quality, reliable and current data (Jaiswal et al., 2021).

The study shows that the Polish databases of the hydrographic network are inconsistent in the following aspects:

1. nomenclature,
2. length,
3. mileage,
4. geometric presentation of the watercourse.

The highest discrepancy values, both in mileage and in the distances between polylines, were detected when comparing the

Drainage System Database (EM) with other studied databases. The Map of the Hydrographic Division of Poland (MPHP) was much more consistent with the Database of Topographic Objects (BDOT) than with the Drainage System Database (EM). The BDOT and MPHP databases were created digitally, often on the basis of each other (Barczyńska et al., 2013), which is confirmed by the complete spatial coverage of the polyline fragments of most of the examined objects.

According to Hauke and Kossowski (2011), Pearson's and Spearman's Coefficients are similar in results and shouldn't be inconsistent when showing values significance. For land cover and watercourse discrepancies dependence confirmation, as much as three correlation coefficients were compiled in this work. The highest discrepancy values were associated with the river crossing through areas covered with dense vegetation because in these areas the watercourses visible on digital images (orthophotomaps, terrain models) are shadowed or impossible to identify (e.g. when they run in a piped section). As the share of built-up areas within watercourses increases, discrepancies in their course or mileage decrease. In addition, the positive correlation in the increase in the size of discrepancies in mileage on land covered with water confirms that they are generated especially in sections where the watercourse runs through water reservoirs or results from the incorrect marking of its mouth or running the watercourse in two different beds. Such dependence of the land cover on the existing discrepancies is a derivative of various sources and methods of creating databases (vectorisation of orthophotomaps, analogue maps and digital elevation models) (Drwal et al., 2005; Barczyńska et al., 2013) as a substitute for geodetic and cartographic materials, and above all field measurements (Piórkowski et al., 2013). This is the primary source of the discrepancies found. Therefore, it should be concluded that in order to correctly define the geometry of a watercourse, field verification of its course is necessary.

Great distrust should also be paid when reading the lengths of rivers from the examined databases, because for all compared databases the correlation coefficient was < 0.5 . Much closer values of geometric lengths are presented by the BDOT and EM bases (0.406), while the MPHP and BDOT bases are more convergent in the case of attribute-specific length values (0.450) than in the case of actual polyline lengths (0.229). Statistical analysis made it possible to additionally conclude that an error will be made when determining the length of watercourses on the basis of BDOT, which is indicated by the low correlation coefficient between the lengths of the polyline and the attribute length.

As emphasised by many authors and in this paper, consistent and up-to-date data allows for effective water management. Yan et al. (2019) noted that many hydrological spatial databases have already been developed on a national, continental and global scale, but there is still a great need to develop consistent databases on global hydrographic networks. It is, therefore, necessary to take urgent action to harmonise, update, supplement and, as a result, improve the surface water databases functioning in Poland. An alternative way is to validate the available databases in order to create completely new databases of surface waters. Although it is impossible to completely eliminate errors in the geoinformation space (Wolski, 2012), it is necessary to minimise the existing discrepancies in relation to the actual state. This action should be based on a uniform methodology.

In the article we showed that it is possible to use GIS tools and then basic statistical tests to detect discrepancies in the surface water database (as described in the methodological section). But the most important conclusion is that these discrepancies are wide and therefore a method for their reduction should be developed, which is the subject of further study.

Funding source

The research activities are co-financed by the funds granted under the Research Excellence Initiative of the University of Silesia in Katowice.

CRediT authorship contribution statement

Natalia Janczewska: Conceptualization, Writing - original draft, Data curation. **Magdalena Matysik:** Conceptualization, Methodology, Formal analysis, Supervision, Writing - original draft. **Damian Absalon:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Data curation, Supervision.

Declaration of Competing Interest

The authors declare the following financial interests/personal relationships which may be considered as potential competing interests: Magdalena Matysik reports article publishing charges was provided by University of Silesia. Magdalena Matysik reports a relationship with University of Silesia that includes: employment.

Data availability

The data that has been used is confidential.

Acknowledgments

The authors thank Marcin Jarzyński - Deputy Director of the Regional Water Management Authority in Gliwice for Flood and Drought Protection, for help in collecting data and Thomas Riley (BA Hons English Literature, University of Central Lancashire) for improving the language quality of this manuscript.

Appendix A. Supporting information

Supplementary data associated with this article can be found in the online version at [doi:10.1016/j.ejrh.2023.101486](https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486).

References

- Abdallah A.M., Rosenberg D.E. 2018. A Data Model to Manage Data for Water Resources Systems Modeling. Utah Water Research Laboratory and Department of Civil and Environmental Engineering. P. 38. Utah State University. (Online) (https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4620&context=cee_facpub) (accessed on 15 December 2022).
- Absalon D. 2018. Nowoczesne metody monitoringu wód powierzchniowych (en. Modern methods of surface water monitoring) In: Absalon D. (Eds.) 2019. Monografie Śląskiego Centrum Wody (en. Monographs of the Silesian Water Centre). Tom I. Katowice. P. 71–82.
- Afelt A., Chormański J., Bolibok A., Gwiżdż M., Brzozowska R., Kasjaniuk T., Klusek M., Seweryn R., Jedlińska S. 2017. Podręcznik dla Uczestników Szkolenia Wykorzystanie kartograficznych opracowań tematycznych w postaci cyfrowych map hydrograficznych opracowanych w ramach Projektu envIDMS (en. Handbook for Participants of Training on The use of cartographic thematic materials in the form of digital hydrographic maps developed as part of the envIDMS Project). Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Warszawa. P. 182.
- Awad M.M., Khwalie M.R., Darwish T. 2009. Web Based Meta-database and its Role in Improving Water Resources Management in the Mediterranean Basin In: Water Resources Management. 2009. Vol. 23(13). P. 2669–2680. DOI: 10.1007/s11269-009-9402-9.
- Barczyńska M., Borzuchowski J., Kubacka D., Piórkowski P., Rataj C., Walczykiwicz T., Woźniak Ł. 2013. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000 - nowe hydrograficzne dane referencyjne (en. Map of the Hydrographic Division of Poland in the scale of 1:10,000 - new hydrographic reference data) In: Roczniki geomatyki 2013. XI. 3(60). P. 15–28.
- Barovic G., Vujacic D., Spalevic V. 2017. The River Network of Montenegro in the GIS Database In: Kartografija i Geoinformacije, No. 27, Vol. 16, 2017. P. 44–60.
- Barrat, G., Otieno, A.O., 2015. Validity and Errors in Water Quality Data — A Review. In: Lee, T.S. (Ed.), 2015: Research and Practices in Water Quality. IntechOpen Limited, London, pp. 95–112. <https://doi.org/10.5772/59059>.
- Baume O., Skoien J.O., Heuvelink G.B.M., Pebesma E.J., Melles S.J. 2011. A geostatistical approach to data harmonization – Application to radioactivity exposure data In: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Volume 13. Issue 3. 2011. P. 409–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.09.002>.
- Bieda A. 2012. Weryfikacja granicy matematycznej prowadzonej środkiem koryta rzeczno (en. Verification of the mathematical boundary in the middle of the riverbed). In: Roczniki geomatyki (en. Annals of geomatics) 2012. Tom X. Zeszyt 4 (54). Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej. Warszawa. P. 17 - 27.
- Bieda A., Jesiolek J. 2012. Linia brzegowa. Jak ustalić zasięg prawa własności w oparciu o obowiązujące regulacje prawne? (en. Shoreline. How to determine the scope of ownership based on applicable legal regulations?) In: Nowa geodezja w praktyce (en. New geodesy in practice). No 1/July 2012. Gospodarka nieruchomościami. Wiedza i Praktyka Sp. z o.o. Sulejów. P. 52 - 56.
- Bieda A., Bydłosz J., Parzych P. 2013. Actualization of Data Concerning Surface Flowing Waters, Based on INSPIRE Directive Requirements In: Geomatics and environmental engineering Vol. 7. No. 1. 2013. P. 25–36. DOI: [dx.doi.org/10.7494/geom.2013.7.1.25](https://doi.org/10.7494/geom.2013.7.1.25).
- Chew L.P. 1989. Constrained delaunay triangulations In: Algorithmica. 1989. Vol. 4. P. 97–108. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01553881>.
- Choudhury A., Yadav A.C. 2020. Monitoring of surface water of east Kolkata wetlands (1984–2015) with global surface water dataset. Conference: ACRS 2020 - 41st Asian Conference on Remote Sensing At: Deqing County, Zhejiang Province, China. P. 692 – 699. DOI: 10.21276/ijlssr.2016.2.6.8.
- Chrisman, N.R., 1991. The error component in spatial data. Geogr. Inf. Syst. 1991 Vol. 1, 165–174.
- Cohen, J., 1988. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, 2nd ed. Routledge, New York, p. 567. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>.
- Corine Land Cover, 2018: (<https://land.copernicus.eu/>) (accessed on December 15, 2022).
- Czerny A. 2015. Powstanie i etapy rozwoju map topograficznych do końca XIX wieku (en. The creation and stages of development of topographic maps until the end of the 19th century). In: Czerny A. (Eds.) 2015. Dawne mapy topograficzne w badaniach geograficzno-historycznych (en. Old topographic maps in geographical and historical research). Lublin. P. 11–84.
- Derepasko, D., Guillaume, J.H.A., Horne, A.C., Volk, M., 2021. Considering scale within optimization procedures for water management decisions. In: Balancing environmental flows and human needs, Environmental Modelling & Software, Volume 139. Elsevier, p. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.104991>.
- Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0060>) (accessed on December 13, 2022).
- Doskocz A. 2015. Zakres możliwych błędów w bazach danych map wielkoskalowych (en. Range of possible errors in large-scale map databases). In: Acta Scientiarum Polonorum, Geodesia et Descriptio Terrarum. No 14 (1–2). 2015. P. 19–34. DOI: 10.7862/rb.2015.142.
- Drwal J., Jankowski A.T., Kaniecki A., Michalczyk Z., Berus T., Jasiński R., Kokociński P., Ostrowski W., Pawlak W., Gutry-Korycka M., Pawlak W., Krazue-Tomczyk I., Sikorska K. 2005. Wytczne techniczne GIS - 3 Mapa Hydrograficzna Polski Skala 1:50 000 w formie analogowej i numerycznej (GIS technical guidelines - 3 Hydrographic Map of Poland Scale 1:50,000 in analog and digital form). Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Warszawa. P. 40.
- GIOŚ 2018. CORINE Land Cover - CLC 2018. (Online) (<https://clc.gios.gov.pl/index.php/clc-2018/o-projekcie>) (accessed on December 2, 2022).
- Grimaldi S., Xu J., Li Y., Pauwels V.R.N., Walker J.P. 2020. Flood mapping under vegetation using single SAR acquisitions In: Remote Sensing of Environment. Volume 237. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111582>.
- Haener P. 2018. The handbook on Water Information Systems. Administration, processing and exploitation of water-related data. International Network of Basin Organizations. UNESCO Water. P. 116.
- Haibo Y., Zongmin W., Hongling Z., Yu G. 2011. Water Body Extraction Methods Study Based on RS and GIS In: Procedia Environmental Sciences. Volume 10, Part C. 2011. P. 2619–2624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.407>.
- Hauke, J., Kosowski, T., 2011. Comparison of Pearson's and Spearman's correlation coefficients on the same sets of data. Quaest. Geogr. 30, 87–93. <https://doi.org/10.2478/v10117-011-0021-1>.
- Hoenke K.M., Kumar M., Batt L. 2014. A GIS based approach for prioritizing dams for potential removal In: Ecological Engineering. Volume 64. 2014. P. 27–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.009>.
- Ikonomakis A., Nielsen U.D., Holst K.K., Dietz J., Galeazzi R. 2022. Validation and correction of auto-logged position measurements In: Communications in Transportation Research. Volume 2. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.commtr.2022.100051>.
- Jaiswal R.K., Lohani A.K., Tiwari H.L. 2021. A decision support system framework for strategic water resources planning and management under projected climate scenarios for a reservoir complex In: Journal of Hydrology. Volume 603, Part C. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127051>.
- Janczewska N., Absalon D., Matysik M., 2022. Assessment of discrepancies between spatial databases of surface waters in the context of water management in Poland In: Więzik B. (Eds.) 2020. Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk. Zeszyt 45. 2022. P. 85–96.
- Janczewska, N., Matysik, M., Absalon, D., Pieron, Ł. 2023. Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study In: Remote Sensing, 2023, Vol. 15, 2356. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15092356>.
- Journal of Law 2003 item 149 Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie śródlądowych wód powierzchniowych lub ich części stanowiących własność publiczną (en. Regulation of the Council of Ministers of 17 December 2002 on inland surface waters or parts thereof that are in public ownership) (online) (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20030160149>) (accessed on November 15, 2022).

- Journal of Law 2011 item 1642 Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych (en. Regulation of the Minister of the Interior and Administration of 17 November 2011 on the database of topographic objects and the database of general geographic objects, as well as standard cartographic studies) (online) (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20112791642>) (accessed on December 1, 2022).
- Journal of Law 2018 item 2031 Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 4 października 2018 r. w sprawie opracowywania map zagrożenia powodziowego oraz map ryzyka powodziowego (en. Regulation of the Minister of Maritime Economy and Inland Navigation of 4 October 2018 on the development of flood hazard maps and flood risk maps) (online) (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20180002031>) (accessed on December 13, 2022).
- Journal of Law 2021 item 1412 Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych (en. Regulation of the Minister of Maritime Economy and Inland Navigation of 4 October 2018 on the development of flood hazard maps and flood risk maps) (online) (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210001412>) (accessed on December 8, 2022).
- Kowalski K. 2010. Gospodarka nieruchomościami pokrytymi powierzchniami wodami płynącymi (en. Management of real estate covered by flowing surface waters). Grunt i woda.pl. Wrocław, 2011. E-book. (Online) (http://gruntiwoda.pl/publikacje/Grunty_pokryte_wodami.pdf) (accessed on November 28, 2022).
- Laituri M., Sternlieb F. 2014. Water Data Systems: Science, Practice, and Policy In: Journal of Contemporary Water Research & Education. Issue 153. April 2014. Colorado State University. P. 1–3.
- Mączyńska A., Kwarcik-Pruc A. 2016. Problematyka zróżnicowania postępowań administracyjnych dotyczących ustalenia linii brzegu (en. The issue of diversification of administrative proceedings regarding the determination of the shoreline). Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 2016/ II (1 (Apr 2016)). P. 233–245. DOI: <http://dx.medra.org/10.14597/infraeco.2016.2.1.016>.
- Majewski W. 2011. Gospodarka wodna w Polsce w latach '50-'80 (en. Water management in Poland in the period of '50-'80). In: Świątecki P. (Eds.). Stan gospodarki wodnej w Polsce - problematyka prawna i kompetencyjna (na przykładzie Dolnej Wisły) (en. The state of water management in Poland - legal and competence issues (on the example of the Lower Vistula)). Materiały z konferencji zorganizowanej przez Parlamentarny Zespół ds. Dróg Wodnych i Turystyki Wodnej 2 czerwca 2011 r. w siedzibie Senatu RP Polskiej. Warszawa, wrzesień 2011. P. 27–40.
- Maras S.S., Maras H.H., Aktug B., Maras E.E., Yildiz F. 2010. Topological error correction of GIS vector data In: International Journal of the Physical Sciences. Vol. 5 (5), 2010. P. 476–483.
- Marques A.C., Veras C.E., Rodriguez D.A. 2022. Assessment of water policies contributions for sustainable water resources management under climate change scenarios In: Journal of Hydrology. Volume 608, 2022. 127690. ISSN 0022–1694. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127690>.
- Masetti, G., Faulkes, T., Wilson, M., Wallace, J. 2022. Effective Automated Procedures for Hydrographic Data Review In: Geomatics. 2022. Vol. 2. P. 338–354. DOI: <https://doi.org/10.3390/geomatics203001>.
- Miranda D., Ostoich M. 2011. Surface water vulnerability assessment applying the integrity model as a decision support system for quality improvement In: Environmental Impact Assessment Review, Vol. 31, Issue 3, 2011. P. 61–171, ISSN 0195–9255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.07.003>.
- Nunes P., Vicente J., Veiga A.L., Monteiro C., Dias T., Palma C., Neto M., 2023. Hydrographic open data for society In: Revista Mapping. 2023. Vol. 32. P 34–48. DOI: 10.59192/mapping.393.
- Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. 2020. Raport z wykonania map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego. Wersja nr 1.00. Projekt: Przegląd i aktualizacja map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego (en. Report on the preparation of flood hazard maps and flood risk maps. Version No. 1.00. Project: Review and update of flood hazard maps and flood risk maps). Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. Warszawa. P. 116.
- Pekel J.-F., Cottam A., Gorelick N., Belward A. 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term In: Nature. December 2016. Vol. 540. Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature. P. 418–437. DOI: 10.1038/nature20584.
- Pidelobo L., Ortega-Terol D., Pozo S., Hernandez-Lopez D., Ballesteros R., Moreno M.A., Molina J.-L., Gonzalez-Aguilera D. 2018. HidroMap: A New Tool for Irrigation Monitoring and Management Using Free Satellite Imagery In: International Journal of Geo-Information 2018, 7, 220. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi7060220>.
- Piórkowski P., Walczykiwicz T., Barszczyńska M., Olszar M., Borzuchowski J. 2013. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000 (en. Map of the Hydrographic Division of Poland in the scale of 1:10,000). Krakowskie Spotkania z INSPIRE, Kraków, 16–17 maja 2013 r.
- Przygodzki P. 2020. Zakres opracowania map zagrożenia powodziowego (MZP) i map ryzyka powodziowego (MRP) w ramach II cyklu planistycznego (en. The scope of developing flood hazard maps (MZP) and flood risk maps (MRP) as part of the 2nd planning cycle) In: Walczykiwicz T. (Eds.). Współczesne problemy gospodarki wodnej w kontekście zagospodarowania przestrzennego (en. Contemporary problems of water management in the context of spatial development). Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa. P. 89–100.
- Quevedo J., Pascual J., Espin S., Roquet J. 2016. Data Validation and Reconstruction for Performance Enhancement and Maintenance of Water Networks In: IFAC-PapersOnLine, 2016. Volume 49, Issue 28. P. 203–207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.035>.
- Sit M., Demiray B.Z., Xiang X., Ewing G.J., Sermet Y., Demir I. 2020. A comprehensive review of deep learning applications in hydrology and water resources In: Water Sci Technol. 2020. Vol. 82 (12). P. 2635–2670. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.369>.
- Sun, H., Dai, X., Shou, W., Wang, J., Ruan, X. 2021. An Efficient Decision Support System for Flood Inundation Management Using Intermittent Remote-Sensing Data In: Remote Sensing. 2021. Vol. 13, 2818. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13142818>.
- Taher S.M. 2020. GIS and Remote Sensing Application in Water Management in Agriculture Field. DOI: 10.14293/S2199–1006.1.
- Tan M.L., Tew Y.L., Chun K.P., Samat N., Shaharudin S.M., Mahamud M.A., Tangang F.T. 2021. Improvement of the ESA CCI Land cover maps for water balance analysis in tropical regions: A case study in the Muda River Basin, Malaysia In: Journal of Hydrology: Regional Studies. Volume 36. 2021. 100837. ISSN 2214–5818. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100837>.
- Tiang L., Pengfei X., Shihui Z. 2019. A review of recent advances in scanned topographic map processing In: Neurocomputing. Volume 328. 2019. P. 75–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.102>.
- Tristan A.C., Trevino Garza E.J., Aguirre Calderon O.A., Perez J.J., Gonzalez Tagle M.A., Nemiga X.A. 2013. Spatial technologies to evaluate vectorial samples quality in maps production In: Investigaciones Geograficas. Vol. 2013. Issue 80 (April 2013). P. 111–128. DOI: 10.14350/ig.36649.
- Verplanke J., Georgiadou Y. 2017. Wicked Water Points: The Quest for an Error Free National Water Point Database In: International Journal of Geo-Information. 2017, 6, 244. DOI: 10.3390/ijgi6080244.
- Water Law Act of 18th July 2001. (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20011151229>) (accessed on November 1, 2022).
- Water Law Act of 20th July 2017. (<https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20220002625>) (accessed on November 1, 2022).
- Water Management Plans in the area of Polish river basins: (<https://apgw.gov.pl/>) (accessed on May 18, 2023).
- Wechsler, S. (2021). Error-based Uncertainty In: Wilson J.P. (Eds.) The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (3rd Quarter 2021 Edition), John P. Wilson. DOI: 10.22224/gistbok/2021.3.3.
- Wenzhong, S., Wu, B., Stein, A., 2015. Uncertainty Modelling and Quality Control for Spatial Data. CRC Press, Boca Raton, p. 308. <https://doi.org/10.1201/b19160>.
- Wolski J. 2012. Błędy i niepewność w procesie tworzenia map numerycznych (en. Errors and uncertainty in the process of creating numerical maps) In: Źródła Kartograficzne w badaniach krajobrazu kulturowego. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego Nr 16. Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG (en. Cartographic Sources in Cultural Landscape Research. Works of the Cultural Landscape Commission No. 16. Cultural Landscape Commission of the Polish Geographical Society). Sosnowiec. P. 15–32.
- Xu, Panpan, Nandin-Erdene Tsendbazar, Martin Herold, and Jan G.P.W. Clevers. 2021. Assessing a Prototype Database for Comprehensive Global Aquatic Land Cover Mapping In: Remote Sensing 13. No. 19: 4012. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13194012>.

- Yan, D., Wang, K., Qin, T. et al. 2019. A data set of global river networks and corresponding water resources zones divisions In: Sci Data. 2019. Vol. 6, 219. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0243-y>.
- Yartseva V., Besimbaeva O., Khmyrova E. 2018. Analysis of errors in the creation and updating of digital topographic map In: Geodesy and Cartography. Vol. 67, No. 1, 2018. P. 143–151. DOI: <https://doi.org/10.24425/118703>.
- Zhang L., Huang W., Jiang J., 2008. Calculating river length based on topographic data. Proceedings and results. Vol. XXXVII. XXlth ISPRS Congress. Silk Road for Information from Imagery. 3–11 July 2008. Beijing, China.



Article

Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study

Natalia Janczewska, Magdalena Matysik, Damian Absalon and Łukasz Pieron

Special Issue

Local Scale Land Use and Land Cover Systems Monitoring Using Remote Sensing

Edited by

Dr. Wojciech Drzewiecki and Dr. Stanisław Lewiński



Article

Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study

Natalia Janczewska ^{1,2}, Magdalena Matysik ^{3,*}, Damian Absalon ³ and Łukasz Pieron ^{1,2}¹ Doctoral School, University of Silesia in Katowice, Bankowa 14, 40-007 Katowice, Poland² State Water Holding Polish Waters, Żelazna 59A, 00-848 Warszawa, Poland³ Faculty of Natural Science, University of Silesia, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland

* Correspondence: magdalena.matysik@us.edu.pl

Abstract: The following databases contains information on land use with water in Poland: Corine Land Cover (CLC), the Urban Atlas (UA); Database of Topographic Objects (BDOT) the digital Map of Poland's Hydrographic Division (MPHP); and the Register of Lands and Buildings (EGiB). All these data are referenced in scientific analyses and the Polish water management system, so the results of their processing should be the same (or at least similar); if not, output materials will be inconsistent and unreliable. In the Katowice sample, we checked the quality of this data using multi-criteria analyses, which is based on a grid of equal-area hexagons. Additionally, we applied the Normalized Difference Water Index to check real-time water presence. We detected discrepancies between all the data. The CLC does not reference any flowing water in Katowice. Most data overlapped between MPHP and BDOT, and both databases were similar to UA. However, a lot of uncertainty was also observed in the EGiB, which is considered to be the most accurate of the databases surveyed. In conclusion, we argue that water land cover data should be used with caution, and depending on the scales of analysis, that most actual data could be remote sensed data. We also include a diagram which can be useful in the data selection process.

Keywords: Katowice; surface water; remote sensing; GIS; hexagons; spatial databases; land cover; land use; retention



Citation: Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Pieron, Ł. Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. *Remote Sens.* **2023**, *15*, 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356>

Academic Editor: Yuji Murayama

Received: 27 February 2023

Revised: 20 April 2023

Accepted: 21 April 2023

Published: 29 April 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Surface water is one of the basic land cover classes in various databases. In contrast to many other types of land use (e.g., agricultural areas, forests), water is dynamic, and therefore in each update in land cover classification, its extent always differs from the original one [1]. The progress of erosion processes is particularly visible on a local scale, e.g., through changes in the shoreline formation of lakes, rivers and oxbow lakes. For this reason, precise mapping of areas actually covered with water is important due to its wide social, legal and economic impact [1]. Referring to the legal act regulating Polish water management, Art. 211 of the Water Law Act of 20 July 2017 [2], land covered with inland flowing waters cannot be subject to civil law transactions. As stipulated by the regulation of the Minister of Regional Development and Construction on the register of land and buildings [3], the land occupied by a natural watercourse constitutes a separate cadastral plot within the shoreline, regardless of whether the water flows in a natural or regulated and open or covered riverbed. According to the Act on real estate management, land covered with water is exclusively owned by the State [4]. The above-quoted regulations on the ownership of surface waters show the essence of the issues related to the proper indication of water-covered lands. The correct determination of the extent of water cover is also important for local spatial development (most often in communal areas) when preparing planning documents or making strategic (and all other) investment decisions in each field (water, water supply, road, oil, gas infrastructure, etc.) [5–7]. Analyses of

land cover and land use by surface waters are also carried out in the field of agricultural water management [8]. For this reason, we tried to carry out multicriterial analyses on the discrepancies between the often-updated large-scale local database and other data sources in the field of land cover with a hydrographic network.

Proper spatial mapping of water coverage is important for scientific studies conducted in the global, regional and local scope, e.g., on improving the quality of surface waters, reducing the emission of harmful substances and pollutants, fluctuations in the water balance and climatic variability [9–13].

It is particularly hard to identify land covered by water in urban areas. This is related to, e.g., difficult remote detection due to high buildings and shadows, or when surface water flows in water devices (including covered infrastructure like pipes or under bridges) [14,15]. For this reason, the urbanized area of Katowice was chosen as the research area.

The research was based on a comparison of the existing land cover classifications. For the city of Katowice, the following databases contain vectorized layers on land use and land cover (including areas covered by water): Corine Land Cover 2018 (CLC 2018), Urban Atlas (UA), Database of Topographic Objects (pol. *Baza Danych Obiektów Topograficznych*—BDOT), Digital Map of Poland's Hydrographic Division (pol. *Mapa Podziału Hydrograficznego Polski*—MHPH), and the Register of Land and Buildings (pol. *Ewidencja Gruntów i Budynków*—EGiB).

Except for lakes and water reservoirs, the water coverage of the area should correspond to the areas where the rivers run. Therefore, the linear layers of the Database of Topographic Objects and the Map of the Hydrographic Division of Poland were used in the research.

Most LULC (land use/land cover) maps are based on imagery processing. Nowadays this involves high-resolution materials, computed automatically e.g., using deep learning algorithms [16]. However, remote detection of water-covered lands is possible based on medium-resolution remote-sensing imagery [17]. Satellite images can also be used for this purpose. One of many remote sensing methods is using water indicators, which are based on differences in spectral reflectance [18,19]. These are most widely used to assess the quality of surface waters and changes in the shorelines [20,21]. Obtaining LULC layers from Imagery is possible not only by remote sensing but also by geoprocessing tools [22]. Using multi-criterial analysis based on combined methods enhances the reliability of LULC classification [23].

Every surface is characterized by a specific range of absorbed and reflected radiation. Water areas have a completely different reflection than, for example, vegetated or sealed areas [24]. Because the satellite sensor registers the image in several spectral channels corresponding to a specific range of radiation reflected from the surface, it is possible to perform simple transformations of the pixel matrix, which makes it possible to isolate the desired areas, e.g., those covered with water [25]. We used the Normalized Difference Water Index—NDWI, developed and distributed by Bo-Cai Gao in 1996 [26]. This indicator is presented in two variants as the quotient of the sum and the difference of the near infrared and shortwave infrared ranges, or after modification for open waters by Stuart McFeeters as the quotient of the sum and the difference of the green and shortwave ranges [27]. The precision of determining areas covered with water using this indicator is limited by the errors of the detector or atmospheric correction and because of the radiometric and spatial resolution of satellite images. Publicly available satellite images of the Sentinel-2 mission with GSD = 10 m were used in the research. Due to the extensive use of land cover data, it is necessary to be sure of their correctness [28]. A method facilitating an objective comparison of data and detecting discrepancies in the spatial dimension is the multi-criteria spatial analysis presented in this article, based on Geographic Information Systems software algorithms.

2. Study Area

Katowice is a city with *powiat* rights in Poland and the capital of the Silesian Voivodeship. It is the main centre of the Metropolis GZM (pol. *Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia*)

and the largest city in the Upper Silesian conurbation in terms of population. The population on 31.12.2022 was 269,367 people. The area of the city is 164.64 km².

According to the physical–geographic division [29], Katowice is largely located in the Katowice Upland mesoregion (341.13). This mesoregion is the southern part of the Silesian Upland, which is part of the Silesian-Cracow Upland subprovince. Geologically, the city is located in the Devonian–Carboniferous Upper Silesian sinkhole. The city lies on the border of the Vistula and the Oder watersheds. Katowice in the Vistula basin is drained by the rivers: Rawa, Brynica and Bolina, which are tributaries of the Przemsza river. The Kłodnica River, which originates in Katowice, with the Ślepiotka and smaller tributaries, discharges water into the Oder (Figure 1).

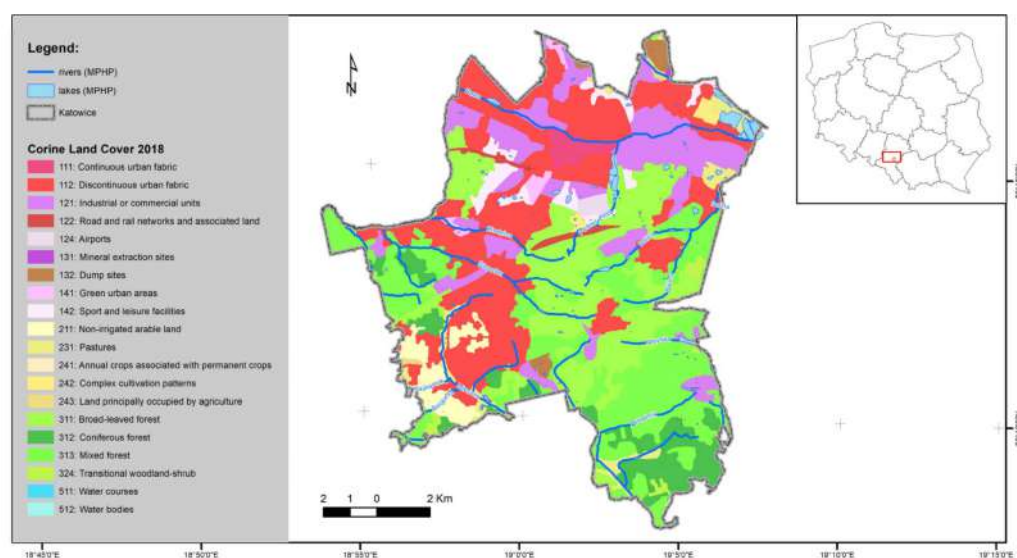


Figure 1. City of Katowice—land cover by Corine Land Cover and hydrographic network. Source: own study.

Katowice developed in an area where hard coal is found and exploited. The exploitation of coal, which has been taking place for over 200 years with varying intensity, has led to changes in the natural environment, mainly regarding relief and water relations [30]. The main effects of coal mining in Katowice are the deformation of the earth's surface, the creation of floodplains, damage to technical infrastructure, the formation of a depression cone, and pollution of surface waters with discharges of mine waters [31].

In Katowice, there are several dozen anthropogenic water reservoirs with a total area of 203 ha (not including unfixed floodplains in forest areas), of which 30 have an area exceeding 1 ha. They are an element of small water retention. Nearly half of the total area of water reservoirs can be found in the complex of ponds located at the border of Katowice, Sosnowiec and Mysłowice (89 ha in Katowice), created in former sand pits [32]. Reservoirs in subsidence basins and sinkholes are characterized by high dynamics referring to the occupied area and their number. Initially, periodic flooding turns into floodplains. They are particularly burdensome because they force a change in the use of neighboring areas, and as a consequence, they often force reclamation works [33]. The hydrography of Katowice according to the Map of the Hydrographic Division of Poland is presented in Figure 1. The names of ditches and “tributaries from . . . ” are not indicated where there is no certainty as to their nature (Figure 1). These objects were therefore excluded from the following analysis.

Water reservoirs in Katowice are important objects of cultural and industrial heritage, which at the same time have great potential in mitigating the effects of climate change. The large number of water reservoirs in this area allows them to be used as recreational areas, attractive natural areas and important water resources for the region. The development of these reservoirs includes, among others, activities aimed at maintaining and/or restoring the principles of sustainable water management [34].

In light of the analyses of climate scenarios for Katowice, it appears that the main threats related to climate change include, among others: a greater number of hot days and heat waves; urban heat islands; short intense rainfall that may cause urban flooding; and long-term precipitation-free periods, which, combined with high air temperature, will cause more days with thunderstorms and bad weather conditions. Rational use of the existing water reservoirs in the cities of the GZM could mitigate the effects of climate change in urban areas, e.g., taking over part of the water from the rainwater drainage system, which could be used during periods of drought. In addition, water reservoirs and their surroundings could help city dwellers survive long periods without precipitation and high temperatures. An important supplement should also be the use of the ecosystem services of water reservoirs, including water purification and the retention of phosphorus, nitrogen and carbon in sediments.

3. Materials and Methods

3.1. Geospatial Data Collections

Vector layers in the shapefile format, which present the land cover with water, provided the input data. They were clipped to the boundaries of Katowice (Figure 1), and previously extracted from the following databases:

- Corine Land Cover 2018 (CLC), a cover element defined by codes 511 (watercourses) and 512 (water reservoirs) [35]. This is a land cover inventory for the European region, divided into 44 classes in the years 1990–2018. The data was published in four editions and the most recent one from 2018 was used in the article [36]. The classification was made as part of the EU Copernicus program, using the method of visual interpretation of satellite images, hence the scale to which this database corresponds is 1:10,000 [37].
- Urban Atlas 2018 (UA), cover elements marked with the code 5000 (water) [38]. This was the first project in which area monitoring was carried out in “hot spots” (several hundred cities in the European Union and EFTA). The land cover classification was also performed under the Copernicus project using a combined method:(statistical) image classification and visual interpretation. The input data were satellite images of the SPOT 5 and 6 and Formosat-2 missions with a spatial resolution (GSD) of 2 to 2.5 m, hence the base corresponds to a scale of 1:1000. Data on the land cover were published in three editions, of which the last one from 2018 included 788 functional urban areas (FUA) with a population of 50,000 or more, for which 27 classes of land cover were distinguished [38,39].
- Database of Topographic Objects 10 k (BDOT), a linear layer assigned with the SWRS_L code (river and stream) and a polygonal layer with objects marked with the PTWP code (surface water) [40]. This is a database covering the land cover and location of other topographical objects (points, lines) in Poland. The resolution corresponds to a topographic map at a scale of 1:10,000. It was created and is being updated by the Head Office of Geodesy and Cartography as part of the Georeference Database of Topographic Objects project, and the national management system. BDOT is developed based on digital orthophotomap vectorization, field measurements and data from public institutions. The Database of Topographic Objects is widely available as part of services and for download in vector form. It is reference data for strategic and planning purposes or in state administration [41–43].
- Map of the Hydrographic Division of Poland (MPHP), a linear layer of distinguished watercourses and merged polygonal layers: lakes_highlighted and lakes_nothighlighted [44]. It presents the Polish hydrographic network. Digital MPHP was created through the digitization and vectorization of analog maps of the hydrographic division of Poland. The digital version of this map consists mainly of linear layers presenting the course of natural watercourses. Lakes and water reservoirs are drawn as polygons. Currently, the MPHP layers represent the Polish hydrographic network at a scale of 1:10,000. This map is, among others, the basis for reporting to the European Commission and it is a reference source in studies created for the implementation in Poland of the aims set

by European directives: 2000/60/EC (the so-called Water Framework Directive) and Directive 2007/60/EC (the so-called Floods Directive). MPHP 10 is considered to be the basic reference hydrographic database in Poland [44–46].

- Register of Lands and Buildings (EGiB), based on the GML text-graphic file, a polygon layer was generated indicating the range of land use: “Wp”—land under flowing surface waters and “Ws”—land under stagnant surface waters [47]. This is a database covering Poland’s territory, consisting of subject and personal data for plots, units and precincts. It is an element of the Polish spatial information system maintained for the society in accordance with the assumptions of the INSPIRE directive. EGiB includes information on land, buildings and premises as well as their owners and legal status. It is a reference register for local government administration for tax, social, land and mortgage registration purposes, and real estate management, and is the input data for spatial planning [47–49]. The geometry of the objects is based on geodetic measurements, hence the data in this database are highly precise. From the point of view of the research, the most important part of EGiB is the land classification, which regulates, among others, the possibility of civil transactions in real estate (marking the land with the use of “Wp”—flowing waters (in Polish: *wody płynące*) precludes, for example, the sale of a plot).

Due to the non-uniform embedding of the input data in space, the PUWG 1992 (CS92) code EPSG: 2180 was defined for all layers.

The above-mentioned data was obtained:

- from the public Copernicus Earth Surface Monitoring website: <https://land.copernicus.eu/> (in the case of CLC and UA) (accessed on 15 January 2023),
- from the resources of the State Water Holding Polish Waters (in the case of MPHP),
- from a publicly available national geoportal: <https://geoportal.gov.pl/> (in the case of BDOT) (accessed on 28 January 2023),
- from the public register of the Katowice City Hall Geodesy Office (in the case of EGiB).

3.2. NDWI

A satellite image taken on 28 March 2022 as part of the Sentinel-2 mission was used to verify the precision of publicly available remote sensing data. On that day, during the detection, the sky over the city of Katowice was clear (0% cloud coverage), which made it possible to exclude disturbances in the value of reflected radiation.

The satellite imagery in all available spectral channels was downloaded using the Semi-Automatic Classification plug-in dedicated to the Quantum GIS. Only channels B03 (Green = 560 nm) and B08 (NIR = 842 nm) were used. These were characterized by the highest available spatial resolution of GSD = 10 m. Due to the above-mentioned resolution, NDWI was calculated as the quotient of the sum and the difference between the green and shortwave infrared ranges [27]. In accordance with the available data and the adopted criteria, the NDWI indicator for the Sentinel-L2A satellite was calculated as follows:

$$\frac{(B03 - B08)}{(B03 + B08)}$$

The range of indicator values is from −1 to 1, where values below 0 are representative of all other areas than those covered by water. According to this variant of the NDWI, [50] surfaces covered with water are representative of an NDWI value > 0.3. Due to the registration of the image in the early spring period, no area was characterized by such high values. Therefore, it was assumed that the surfaces covered with water had NDWI values >0, in accordance with the original interpretation [26,50]. ArcMap 10.7.1 software was used to process satellite imagery into polygons determining the occurrence of water. Multispectral images were recalculated with a raster calculator. A tool for reclassification and raster conversion into a vector layer was then used.

3.3. Spatial Multi-Criteria Analysis

The analyzed surface water databases are a set of input variables to determine the differences in land covered by water in Katowice.

The analysis of the resulting geoinformatics products (land cover—surface waters and watercourses—lines) made it possible to assess the occurrence of differences for individual databases. Using MapInfo 2019.3 Software (hexagon tools), each layer of drawing surface water firstly was clipped to the Katowice city border and then implemented into the grid of basic fields (an equal-area hexagon grid). Thanks to this, for each of the 313 basic fields, a comparison was made of the polygon area (which represented land used by water). In the case of polylines, the length of the watercourse fragment that flows through a given hexagon was compared (Table A1, Figure A6).

Using the grid based on equal-area fields allows us to make an objective database comparison. The hexagon gives the best results as opposed to other shapes because they are the most circular-shaped figures, which allows the creation of evenly spaced grid. This property has the effect of reducing sampling errors. Hexagon also conforms more easily to irregular boundaries and their centroids are closer to each other than those of other shapes. The adopted grid model has the following parameters: field shape—hexagon, area of the field equal to 648,180 m² and a width of 500 m. The set hexagon width was matched to the regional research extent.

The final result of the analysis is a map classified using the Natural Breaks (Jenks) method. This method is characterized by the separation of groups with maximum internal coherence that differs from the others—in the case of our research it indicates the greatest discrepancies in the land cover occupied by surface waters (Figure 2).

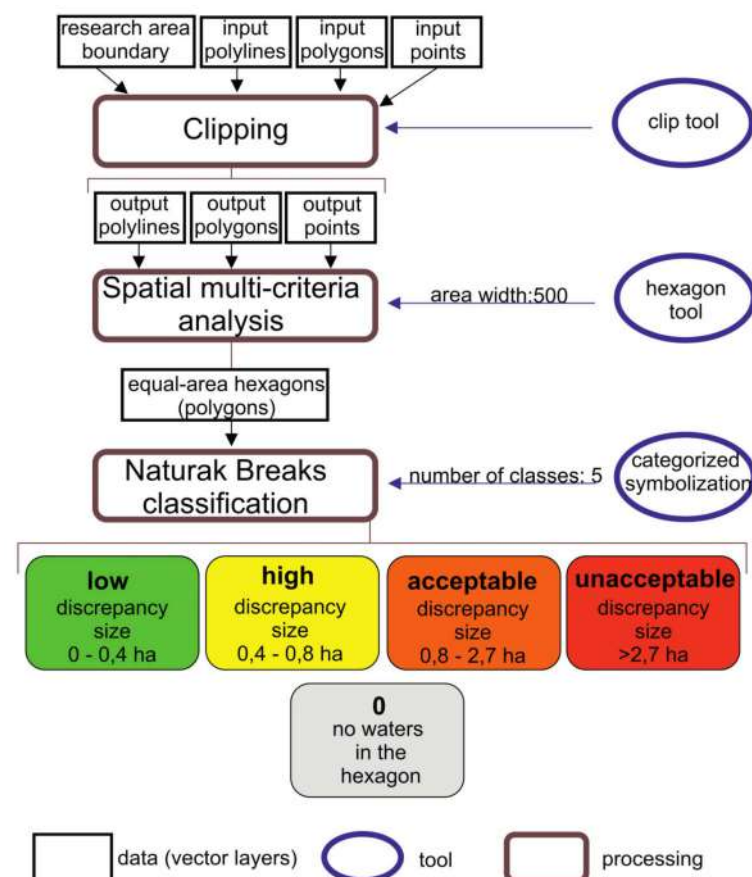


Figure 2. Flow chart of the adopted multi-criteria analysis of the different type of data.

Figure 2 presents every step taken to generate objective data being part of multicriteria analysis, starting from layer preparation till final classification (and its assumptions).

The input data wasn't distributed evenly and the maximums were outlier values, so Natural Breaks (Jenks) was believed to be the best classification base. In order to maintain unity in each comparison, five classes were used with uniform discrepancy values estimated based on discrepancies between the most precise among the examined databases, which are EGiB and BDOT (similar also to UA). The Natural Breaks (Jenks) classification method was also chosen among others (histogram equalize, equal intervals, quantiles) because it compared with basic statistical values (the second class corresponds to averages, the third class was similar to standard deviations and the fourth class corresponds to maximum values). The minimum values in each comparison were 0. The classification methods are described in detail below.

Considering that none of the compared databases could show complete convergence, the following classes were adopted (Figure 2):

- 0—characterizing hexagons in which none of the compared databases indicated the presence of surface waters,
- Low—characterizing hexagons in which the discrepancy value was greater than 0 but maximally equal to 0.4 ha; this range was estimated using the method of Natural Breaks (Jenks) and the upper value corresponded to the average discrepancy between EGiB and BDOT; it was assumed that such a size of discrepancies between databases does not disturb the analyses,
- Acceptable—characterizing hexagons in which the discrepancy value was in the range of 0.4 ha to 0.8 ha; it was estimated using the Natural Breaks (Jenks) method, and the upper value corresponded to the standard deviation of the discrepancy between EGiB and BDOT; it was assumed that while such a size of discrepancies between databases may disturb the analysis, it is still acceptable,
- High—characterizing hexagons in which the discrepancy value was between 0.8 ha and 2.7 ha; it was estimated using the method of Natural Breaks (Jenks), and the upper value is equal to half the maximum discrepancy between EGiB and BDOT; it was assumed that such a size of discrepancies between databases indicates the need to improve data,
- Unacceptable—characterizing hexagons with a discrepancy value greater than 2.7 ha. This is a critical value excluding the simultaneous use of considered databases in the analyses.

4. Results

4.1. Polygon Layers

In order to detect the places of the greatest discrepancies, each of the five databases was compared to one another. The resulting maps are presented in the Appendix A (Figures A1–A5) below.

The most precise and up-to-date database among those examined was the Register of Lands and Buildings (EGiB), which reaches critical values in the northeastern part of Katowice (the area with the largest surface anthropogenic reservoirs). High values of discrepancies occur between EGiB and other bases (CLC, UA, MPHP, BDOT) along the course of the Rawa River and its tributary, the Potok Leśny, as well as in the western part of Katowice (on the border of the city with Ruda Śląska) near the mouth of the Ślepiotka into the Kłodnica. Critical values of discrepancies between all databases are visible in the vicinity of reservoirs located in the above-mentioned Potok Leśny. In the case of comparing EGiB with UA and MPHP, critical values were noticed in 10 basic fields, and in the case of comparing EGiB with BDOT and CLC only in eight hexagons. Average (acceptable) discrepancies between these databases were explored for fields along the course of the Rawa. Fields occurring in the places where other rivers run (including the area of reservoirs located on the Potok Leśny) were characterized by low values of discrepancies between EGiB and MPHP (up to 0.4 ha). High values of discrepancies between EGiB and similarly CLC and UA occurred along the entire course of the Rawa and in most fields including the Kłodnica riverbed (outside the spring area) (Figure A1).

Comparing the BDOT with the CLC, clear discrepancies are noticeable in the areas of water reservoirs and the entire course of the Potok Leśny. When analyzing the BDOT and EGiB databases, differences in the land cover area of more than 0.4 ha prevail in places where watercourses run. Comparing the BDOT and UA databases, a critical discrepancy occurred only in one field in the northeastern part of Katowice, where no rivers run, and 16 fields non-uniformly distributed in space were characterized by discrepancies between 0.8 ha and 2.7 ha. MPHP has the most consistent data compared to BDOT (no critical values, and high discrepancies occurred in 5% of cases) (Figure A2).

The MPHP polygonal layer contained only data on water reservoirs; therefore, when compared with the EGiB, as many as 16% of the basic fields located along the course of rivers were characterized by high discrepancies. Critical values were recorded in 10 fields, all related to the presence of water reservoirs. An unacceptable discrepancy was found in only one field located outside flowing waters when comparing MPHP and UA, and more than half of the fields had a value of 0 (Figure A3).

The Corine Land Cover is a small-scale database, therefore flowing waters (code: 511), which occur in relatively narrow or covered beds, have not been identified in the area of Katowice. This means that when comparing with the MPHP (layer with reservoirs only), values of 0 were recorded in the course of Rawa, and all critical discrepancies were noted in the areas of large water reservoirs. Surprising results of discrepancies between EGiB and CLC (low or acceptable) show hexagons located in the place of watercourses, which—due to the lack of the CLC layer code 511—is caused by a small share of the water (Wp) in the hexagon area. Critical discrepancies occur when comparing these bases within water reservoirs. However, in the case of the Przyrwa or the Pstrążnik, the hexagon values are equal to 0, which indicates that according to EGiB (which is the administrative reference record), the land covered with these watercourses has not been classified as land covered with surface waters (Figure A4).

Comparing the Corine Land Cover and the Urban Atlas, a high percentage of basic fields in which databases do not indicate the presence of any surface waters (86%) was observed. The predominance of high discrepancies and critical values in the areas of water reservoirs was also noticed: only in seven hexagons are there discrepancies equal to a maximum of 0.4 ha, and in four they reach a maximum of 0.8 ha (Figure A5).

4.2. Remote Sensing Data and Analyzed Databases

The above-described results of the comparison of existing land cover databases showed numerous discrepancies in water-covered areas. Therefore, the user is forced to look for alternative sources indicating the actual (current) extent of surface waters. The possibility of using publicly available satellite images of the Sentinel L2A mission (taken in a 5-day time interval) for this purpose was verified. From this imagery using the NDWI index, water-covered areas were separated and converted to a polygon layer, thus creating a real-time land cover layer.

In this case, land covered by water was not identified in 37% (116 out of 312) of the base fields. Convergence trends of the generated data were similar for each of the compared databases, as evidenced by the similar values of basic statistical values (Table 1).

Table 1. Basic statistical values due to database comparison.

	NDWI-EGiB	NDWI-BDOT	NDWI-MPHP	NDWI-UA	NDWI-CLC
mean	6422.702	5000.137	5159.359	4896.363	6383.894
median	1787.657	1097.471	1268.202	818.174	818.174
max.	100,739.9	76,363.75	77,740.87	79,001.77	11,2596.6
min.	0	0	0	0	0
standard deviation	12,233.33	9391.076	8875.003	9577.242	14,083.88

Source: own study.

Therefore, it is impossible to distinguish the database with which the generated land cover information coincides the most. In each case, the NDWI values were characterized by relatively low discrepancies in the spring areas of the Kłodnica, the Ślepiotka and the Mleczna. The generated data was critically inconsistent with all databases in the northeastern part of Katowice, where there are many large-area water reservoirs. In addition, in the entire course of the Rawa, the generated values were highly divergent compared to the BDOT, EGiB, MPHP, UA and CLC databases, especially in the central part of the city in the vicinity and below the mouth of the Potok Leśny into the Rawa (Figure 3).

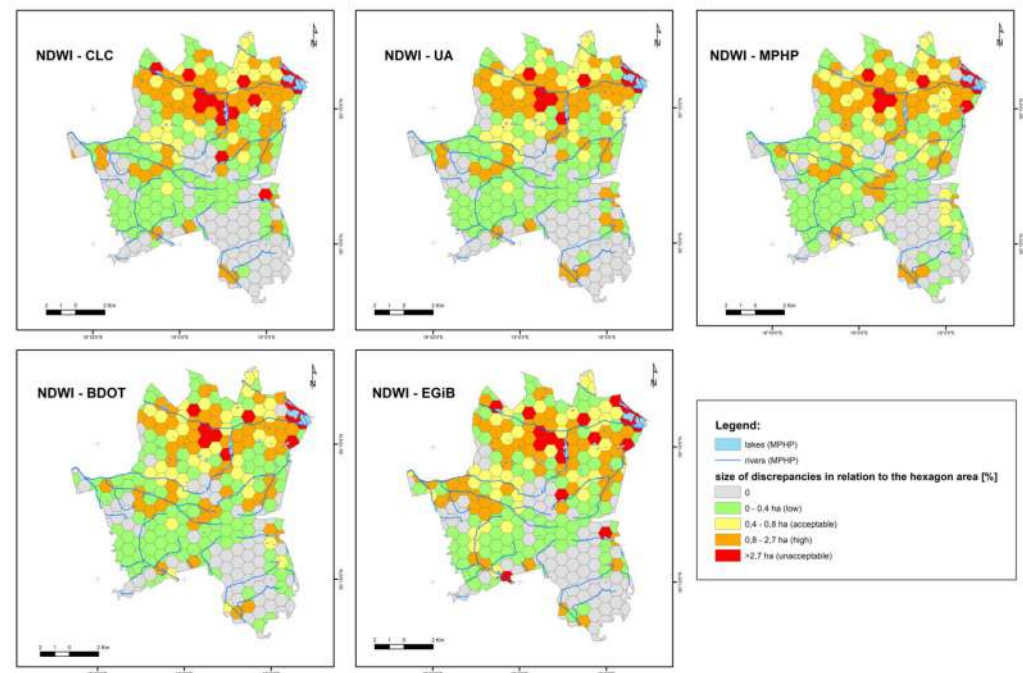


Figure 3. Comparison of polygons generated based on NDWI with other databases in the grid of basic fields. Source: own study.

4.3. EGiB in Relation to Linear Layers

As the name suggests, the method of multi-criteria spatial analysis allows for the validation of various data types. While examining the analyzed databases, a comprehensive comparison was made. This also included the occurrence (indicated by the length of the polyline) of watercourses in relation to the size of land cover with flowing waters. For this purpose, the most up-to-date and precise Register of Lands and Buildings was used (using only data on the land use of “Wp”).

As indicated in the introduction, the analysis is carried out on a local scale for the city area, which excludes significant changes in the riverbed width. The area of land occupied by flowing waters should therefore be directly proportional to the length of the line presenting the course of the river. As shown in the graph (Figure 4), both the BDOT database and the MPHP database in the basic fields—where, according to EGiB, there are no surface waters—indicate the presence of watercourses with a length exceeding 4 km inside the hexagon. In six hexagons, in which EGiB indicates the presence of areas covered with water, there is no line presenting the watercourse according to MPHP and EGiB. In the grid of basic fields (hexagons), where there are both polylines of rivers and land used by flowing water (Wp), the discrepancy in the lengths of these lines is several km, and any length value increases proportionally to an area occupied by water (Figure 4).

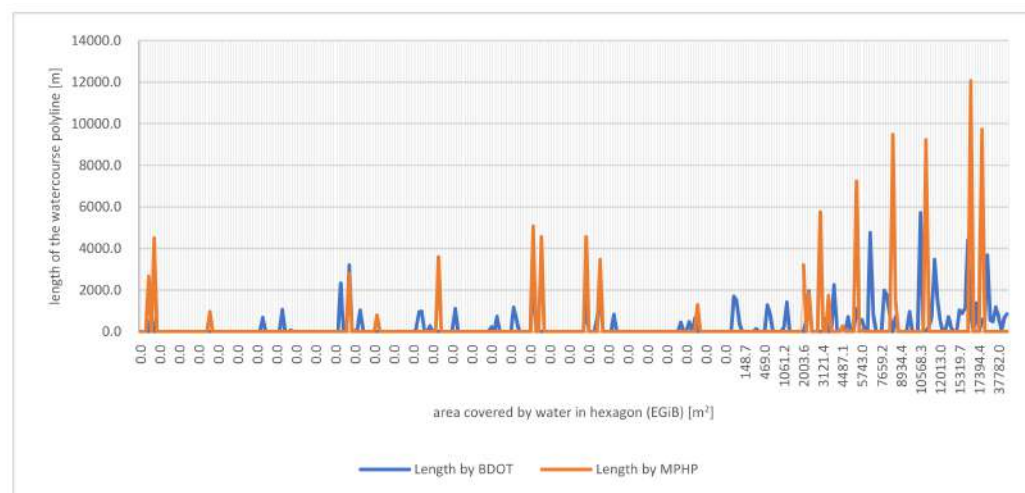


Figure 4. comparison of the length of the BDOT and MPHP lines with the area covered by water according to EGIB.

In the case of: Przyrwa, Pstrążnik, as well as in the basic fields covering the spring areas of Potok Leśny, Kłodnica, Ślepotka, Bolina, no areas covered with surface waters were marked in the Land and Building Register (Figure 5). It should also be noted that the spring area of the Bolina is located, according to BDOT and MPHP, in different hexagons. This is also the case with the Przyrwa. As they move downstream, the area covered by the flowing waters of the rivers Kłodnica, Ślepotka, Mleczna and Bolina, according to EGIB, increases. The “Wp” land-use area is drawn along the entire course of the Rawa, but its area is varied; in the eastern part of Katowice it is about 2 ha, in the middle course it is less than 0.5 ha, and in the lower section it is about 1 ha. The Register of Lands and Buildings indicates that the largest area covered by waters flowing in Katowice is in the vicinity of the reservoirs located on the Potok Leśny (Figure 5).

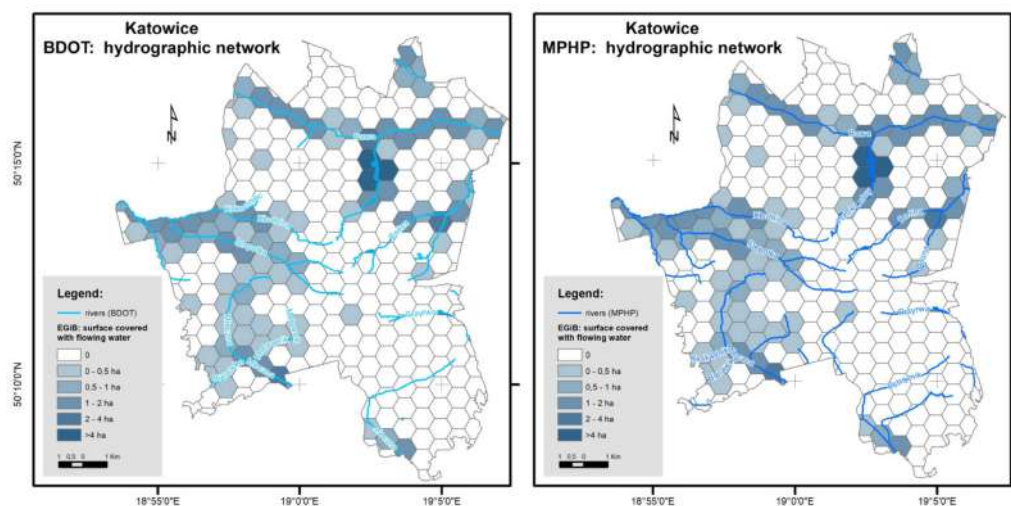


Figure 5. Hydrographic network in Katowice by BDOT (left) and MPHP (right) on the background of EGIB data.

5. Discussion

Due to the wide use of the land cover database in local-scale scientific research, Cieślak et al. [51] indicate the Corine Land Cover as a reliable source of temporal variability of spatial development in the region of Warmia and Mazury. whereas Z. Debesova [52] uses the Urban Atlas to identify morphological similarities between European cities.

Similar studies were conducted by P. Szarek-Iwaniek [53]. In the example of Olsztyn, the author compared, e.g., CLC and UA with official sources of land and cadastre coverage, using the BDOT and EGiB databases [43,47]. The conclusion of this work indicated the differences in timeliness and detail (generalization), the diversity of nomenclature and land cover classes, the problem of lack of data and the careful selection of the input data due to the scale and scope of research. The issue of the land cover database's validity and the precision of mapping the actual state applies in particular to the surface hydrographic network, which is dynamic. For this reason, studies related to the validation of databases covering surface water areas in highly urbanized terrain were undertaken.

I. Manakos et al. [54] are among global authors who indicate the problem of discrepancies between surface water area extent in different databases and other materials based on satellite and aerial remote sensing. Due to the shading of rivers with tree crowns, weather conditions (clouds, precipitation), or the watercourse in piped sections, all spatial databases relating to areas covered with water are inconsistent [55].

The lack of precision of data regarding water coverage is emphasized by, e.g., K. Kowalski [56], who notices the problem of defining flowing waters, which (according to the Regulation of the Minister of Development, Labor and Technology on EGiB [47]) are waters in a water reservoir located on a natural riverbed. For this reason, the Land and Building Register (EGiB) showed high discrepancies with other databases in the basic fields beside the Potok Leśny, where water reservoirs were located.

Differences resulting from the interpretation of the Water Law [2] and the Regulation on the EGiB [47] are visible in the example of the course of the Przyrwa and Pstrążnik watercourses defined by the MPHP, where in any of the basic fields under these rivers there was no area designated for land use "Wp". It should be noted that according to M. Barczyńska et al. [46], the MPHP is the official source of the Polish hydrographic network. However, no administrative authority has issued a decision specifying the nature of the above-mentioned watercourses.

In the case of the rivers Kłodnica, Ślepotka, Mleczna and Bolina, the surface area covered by flowing waters according to EGiB increases with the course of the river. This shows the high precision of EGiB related to the increase in the area occupied by flowing waters as the river bed expands. This regularity does not occur in the case of the Rawa, which in the center of Katowice flows partly in a piped section. Determining the width of the riverbed in the piped section, and thus the area characterized by the use of "Wp", is indicated as a problematic issue in Polish water and spatial management [55].

P. Śleszyński et al. [57], when comparing CLC and BDOT for the entire Poland territory, find a high inconsistency of land cover classes. Areas covered with water are defined by the BDOT "PTWP" layer, while in the case of CLC, two classes have been distinguished, corresponding to the total coverage with surface waters, 511 (Water courses) and 512 (Water bodies), with no objects in Katowice assigned to the class "511". In addition, the MPHP polygon layer indicated only water reservoirs and did not cover areas of flowing water. Apart from this case, there was a complete correlation of the data range of the compared databases. The greatest discrepancies between CLC and BDOT were found in the areas of lake districts [49]. In the case of Katowice, all the compared databases were characterized by critical discrepancies in the water reservoir areas.

As in the case of Szarek-Iwaniuk [53] and Śleszyński et al. [57], the main reason for the discrepancies was the scale of development of individual land cover databases, especially when comparing small-scale CLC and UA studies based on satellite imagery with EGiB based on empirical analyses and geodesic measurements. Although in the basic fields covering the Rawa and Kłodnica riverbeds, the discrepancies between the EGiB and the CLC and UA were classified as low and acceptable, they were equal to the value of the area of the "Wp" class.

In addition, the city of Katowice, according to M. Rzętała [33] is part of the Upper Silesian anthropogenic lake district. Many post-mining reservoirs, settling tanks and water-filled basins have not been classified, and changes in their extent depend on locally

occurring land deformations. Due to the continuous process of formation, changes in the shoreline, or diversified genesis of the uprising, some reservoirs are not classified as water areas (e.g., according to EGİB, these are agricultural areas, meadows, wastelands) [27], or their range is valid only on the date of the drawing. The studied databases were created and updated in different periods, and remote sensing data show the most current range of surface waters, hence the discrepancies in the fields covering the areas of anthropogenic reservoirs are the largest.

Similar to the presented research, validation of cadastral data and Urban Atlas with the use of statistical tools and based on thematic and spatial aggregation was carried out for the metropolitan area of Prague [58]. As a result of this research, less differentiation between these two bases was found in areas covered with water, agricultural and forest areas than in built-up areas or low green areas, and also indicated that the cadastral data needed to be updated. Czech cadastral data correspond to the Polish register of land and buildings, which in turn is constantly updated [47,56] but in the areas of surface waters, it differs significantly from the Urban Atlas. In areas of dense development, these differences in surface waters increase. Relatively similar spatial information of land cover with water is found between Urban Atlas, BDOT and MPHP.

The multi-criteria spatial analysis made it possible to determine the highest compliance of land cover with surface waters according to BDOT and MPHP (these databases were often a source for each other) [46]. In the case of MPHP, the polygon layer covered only water reservoirs and comparing the MPHP and BDOT linear data, the source sections of the Bolina and Przyrwa rivers were located in different basic fields.

It has been proven that the problem of the proper definition of land cover with surface waters is a complex issue in technical, formal, and legal terms. The reliability and up-to-dateness of databases may also be a limitation in the conducted research [59] and a challenge in the implemented activities in proper water management. When implementing assumptions to the Water Resource Development Program [60] in Poland and other investment and maintenance works aimed at increasing water retention in the context of counteracting the effects of drought, it is also essential to know the land cover and reliable registers of water facilities in the analyzed area (e.g., their type, purpose, and owner). According to [58], geoinformation tools and remote sensing data are needed to update land cover data. The need to constantly update the existing land cover databases is primarily caused by the high dynamics of changes in the surface hydrographic network, especially in areas of intensive urbanization and under the influence of underground mining activity.

The material supporting real-time land cover analyses can be data obtained from current satellite images (especially since these images are widely available). Technological development of geoinformation systems and remote sensing methods allows the use of deep learning algorithms for continuous monitoring of changes in land cover (Land Use and Land Cover) on a local scale [61]. However, the quality of data (image resolution) is the limitation. Due to the multi-criteria spatial analysis, it was possible to verify to what extent the spatial information generated from a commonly available satellite image coincides with the data, e.g., obtained as part of geodetic modernization works. The NDWI index used for this purpose, which is widely used in the detection of surface waters and wetlands as well as their modification, was tested by [62]. W. Li et al. [63] indicate the highest efficiency in the detection of surface waters using the green and mid-infrared range. For remote detection of surface waters in Katowice, a modification of the indicator based on channels 3 and 8 of the Sentinel-2 satellite was used. We have suggested, similarly to Y. Du et al. [62], higher resolution of these channels compared to other publicly available data. Geographic Information Systems were used to process the photos, as done in 2013 by S. McFeeters, the creator of the original modification of the indicator [49].

Detection of areas covered with water using the NDWI turned out to be particularly useful in basic fields located in the source areas of rivers, where the compared databases did not show the presence of surface waters. The occurrence of surface waters was detected in hexagons located along the Ślepotka and Kłodnica rivers. Along the Rawa riverbed, the

water coverage was not so clearly indicated. Referring to the observations made by [47], this is related to the course of the Rawa river, partly in the piped section, as well as the shading of the area with high buildings.

The research results indicate that surface waters were mostly indicated in the fields where the analyzed databases also showed their presence. The greatest discrepancies were detected in the places of water reservoirs. They are related to the above-described database errors and the variability of water levels in watercourses or water reservoirs depending on hydrological and atmospheric conditions (precipitation amount, inflow volume) valid for the date of photo registration. This method is an appropriate approach to obtain data on the current state of hydrography on a local scale; however, one should remember the limitations related to the resolution of input data and the availability of cloudless images. On a local scale, these limitations can be eliminated by using aerial imagery, including those taken with the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) [64]. Additionally, for Corine Land Cover and Urban Atlas, an analogous methodology based on autoclassification of satellite images was used [17].

6. Conclusions

This article validates the most widely used land cover databases available for the city of Katowice. For this purpose, a spatial multi-criteria analysis based on a grid of equal-area basic fields was used. The compared databases were created based on input materials with different resolutions. The classification was therefore generalized. However, the proposed method based on threshold data estimated with Natural Breaks (Jenks) is a perfectly adequate way to test the compatibility of local surface water databases, such as EGİB, BDOT or MPHP.

The basis for spatial multi-criteria analysis is the proper selection of the range of basic fields. Due to the comparison of regional and local data, it happened that the hexagon value was based only on the share of the area covered with water according to one database, while according to the other database (mainly CLC), there was no water in this field at all.

In the water-covered areas, the analysis showed the greatest convergence of the BDOT and MPHP databases (created on the basis of each other). These bases were relatively consistent with the Urban Atlas. The highest discrepancies occurred when comparing Corine Land Cover with other databases, related to the varied scale of the studied databases.

High discrepancies were detected by comparing EGİB with other databases. It should be noted that this is the most precise and up-to-date source of spatial information on water-covered land. Incorrect data in the Land and Building Register have formal and legal consequences (e.g., related to restrictions on construction investments, civil law transactions in real estate, or ownership issues). The discrepancy between these data with surface and linear BDOT and MPHP data is therefore worrying. It should be highlighted that MPHP and BDOT are provided by state offices as reference data for land cover and hydrographic networks.

The research also showed that places covered with water according to NDWI were located in the same basic fields where the occurrence of surface waters was indicated by the compared databases. In the case of satellite data, there are limitations related to the low resolution (GSD = 10 m) and the availability of appropriate images (registered on a cloudless day). In local analyses, these limitations can be eliminated by obtaining aerial multispectral images. Processing such materials using geoinformation tools and the NDWI will make it possible to successfully indicate the range of areas currently covered with water, which is particularly important considering the dynamics of land cover changes in the analyzed area.

The proposed multi-criteria spatial analysis can be used on large scale by Geodesy and Cartography Departments to verify the compliance of EGİB data with other surface water databases or with its actual state.

Based on the results of the presented research as well as the analysis of the literature, we have prepared a scheme for selecting the optimal database depending on the purpose of the study (Figure 6). This diagram applies to databases available in Poland. However, it

can also be related to similar local water cover databases in other countries. It should be emphasized that this diagram applies only to databases in the context of water land cover (the accuracy of other land cover types has not been verified in our research).

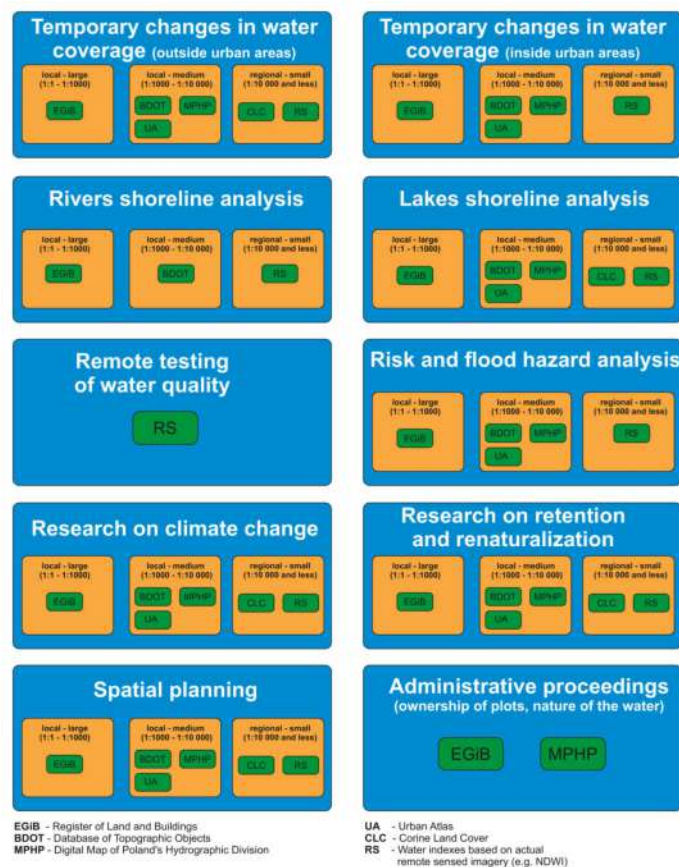


Figure 6. Recommended surface water databases depending on the type of analysis. Source: own study.

However, the presented methodological solution for the validation of existing land cover data with surface waters and their updating needs to solve the problem of proper classification of natural and artificial flowing and stagnant waters, as well as verification of the course of rivers in covered sections. For this reason, further interdisciplinary research in hydrography, hydrology, law, remote sensing, geoinformation and spatial development is necessary.

Author Contributions: Conceptualization, M.M., Ł.P., N.J. and D.A.; methodology, M.M., Ł.P. and N.J.; validation, D.A.; formal analysis, D.A. and M.M.; investigation, M.M. and N.J.; resources, N.J.; writing—original draft preparation, N.J. and M.M., D.A.; writing—review and editing, D.A., M.M. and Ł.P.; visualization, N.J. and M.M.; supervision, D.A.; funding acquisition, D.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the funds granted under the Research Excellence Initiative of the University of Silesia in Katowice.

Data Availability Statement: Publicly available data sets were analyzed in this study. These data can be found here: <https://www.geoportal.gov.pl/dane/baza-danych-obiektow-topograficznych-bdot> (accessed on 28 January 2023); <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018> (accessed on 15 January 2023); <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018> (accessed on 15 January 2023); <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-2-l2a/> (accessed on 23 January 2023).

Acknowledgments: The authors thank Thomas Riley (BA Hons English Literature, University of Central Lancashire) for improving the language quality of this manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A

Figures visualize database comparison with each other by spatial multi-criteria analysis.

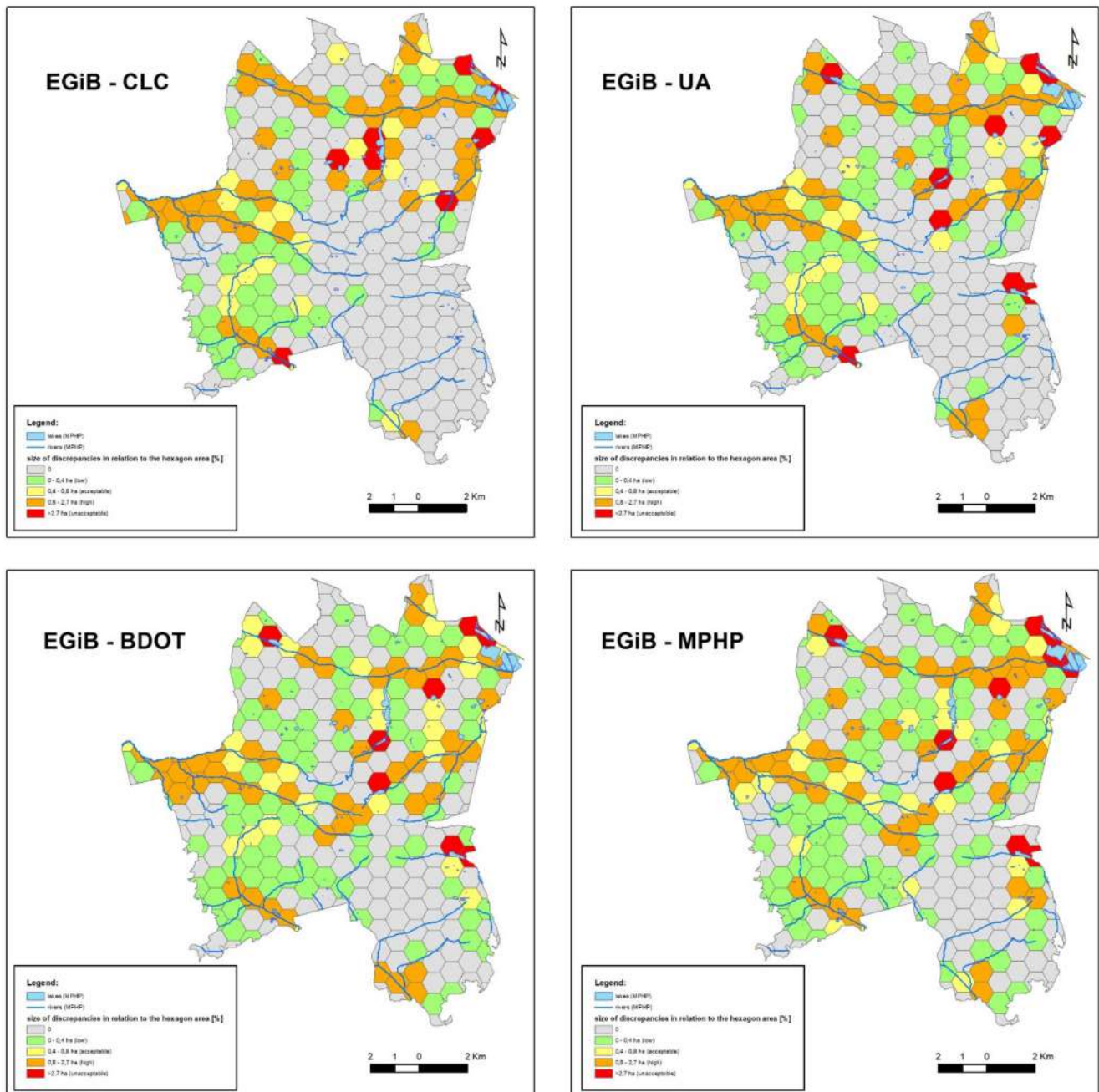


Figure A1. Spatial multi-criteria analysis—comparison of Register of Land and Buildings (EGİB) with other studied land cover databases.

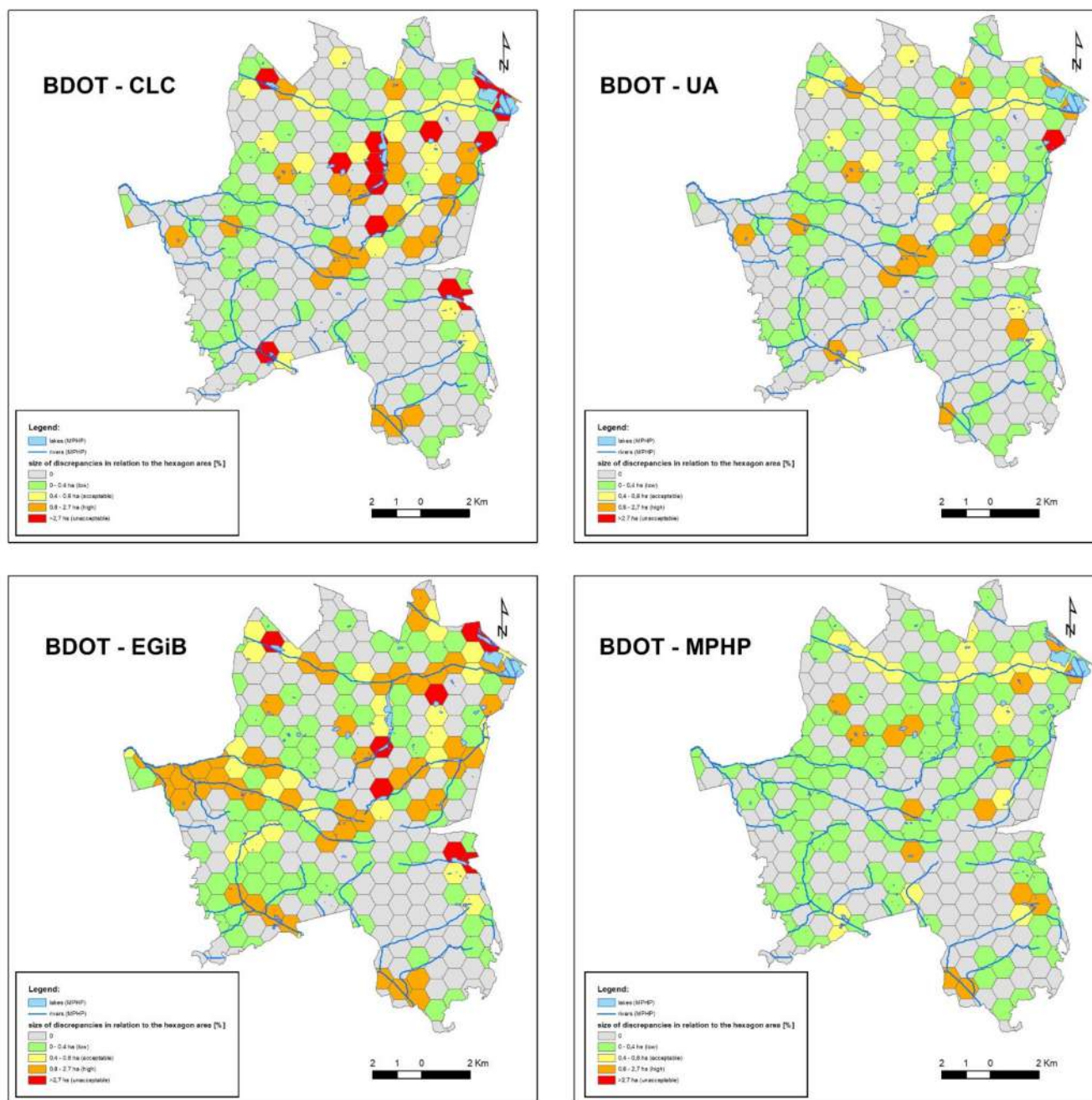


Figure A2. Spatial Multi-criteria analysis—comparison of Database of Topographic Objects (BDOT) with other studied land cover databases.

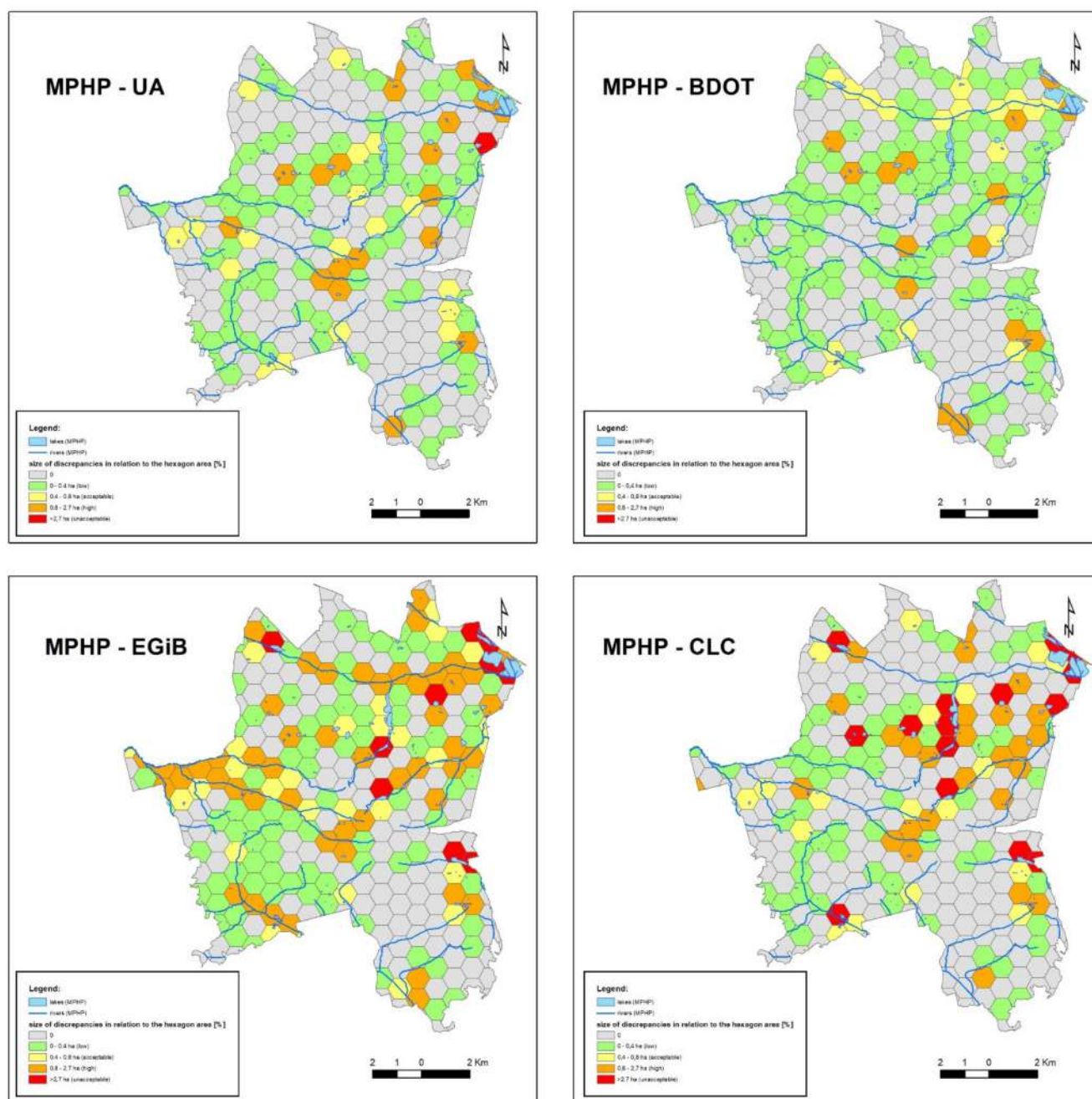


Figure A3. Spatial multi-criteria analysis—comparison of Map of the Hydrographic Division of Poland (MPHP) with other studied land cover databases.

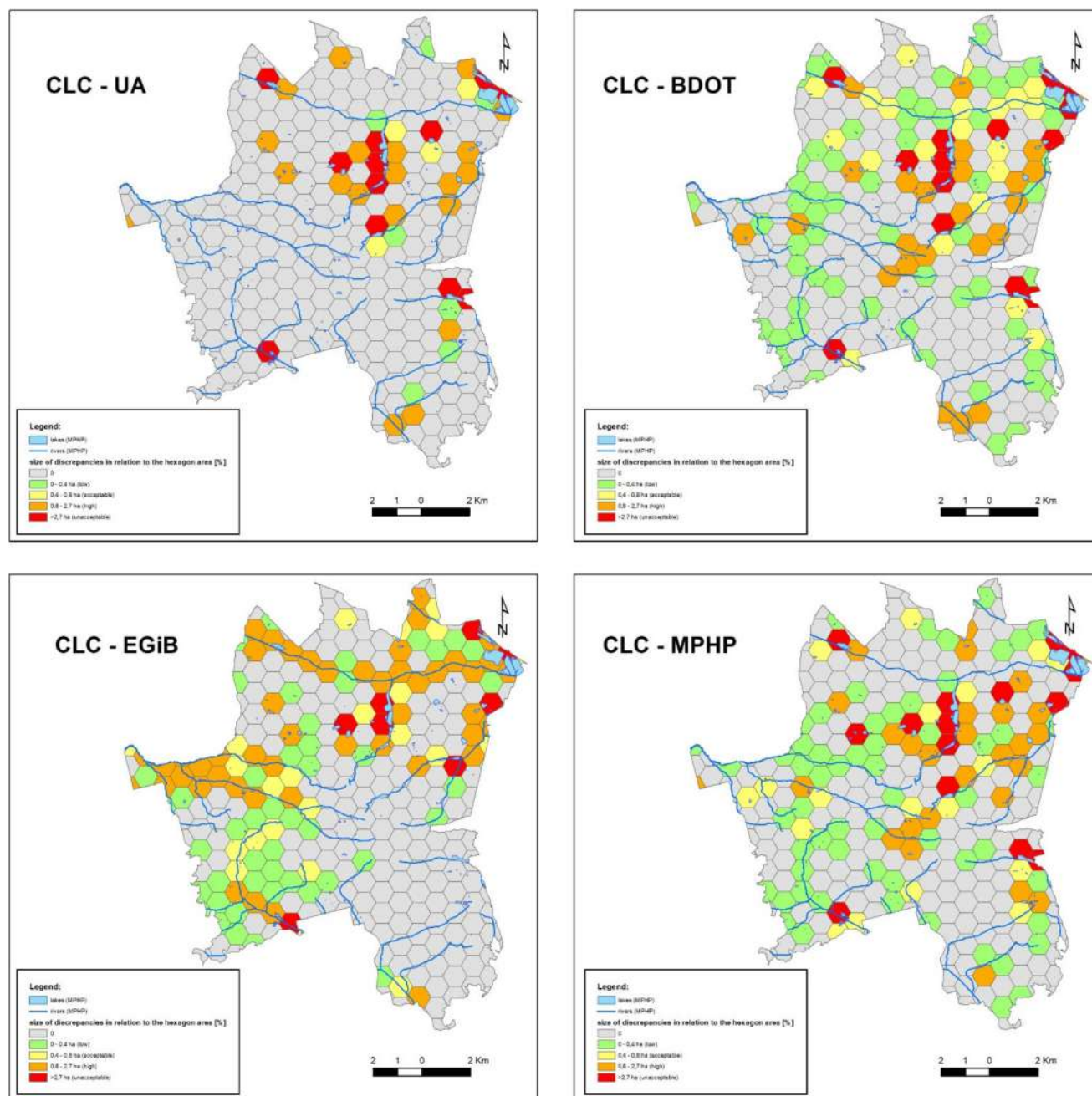


Figure A4. Spatial multi-criteria analysis—comparison of Corine Land Cover (CLC) with other studied land cover databases.

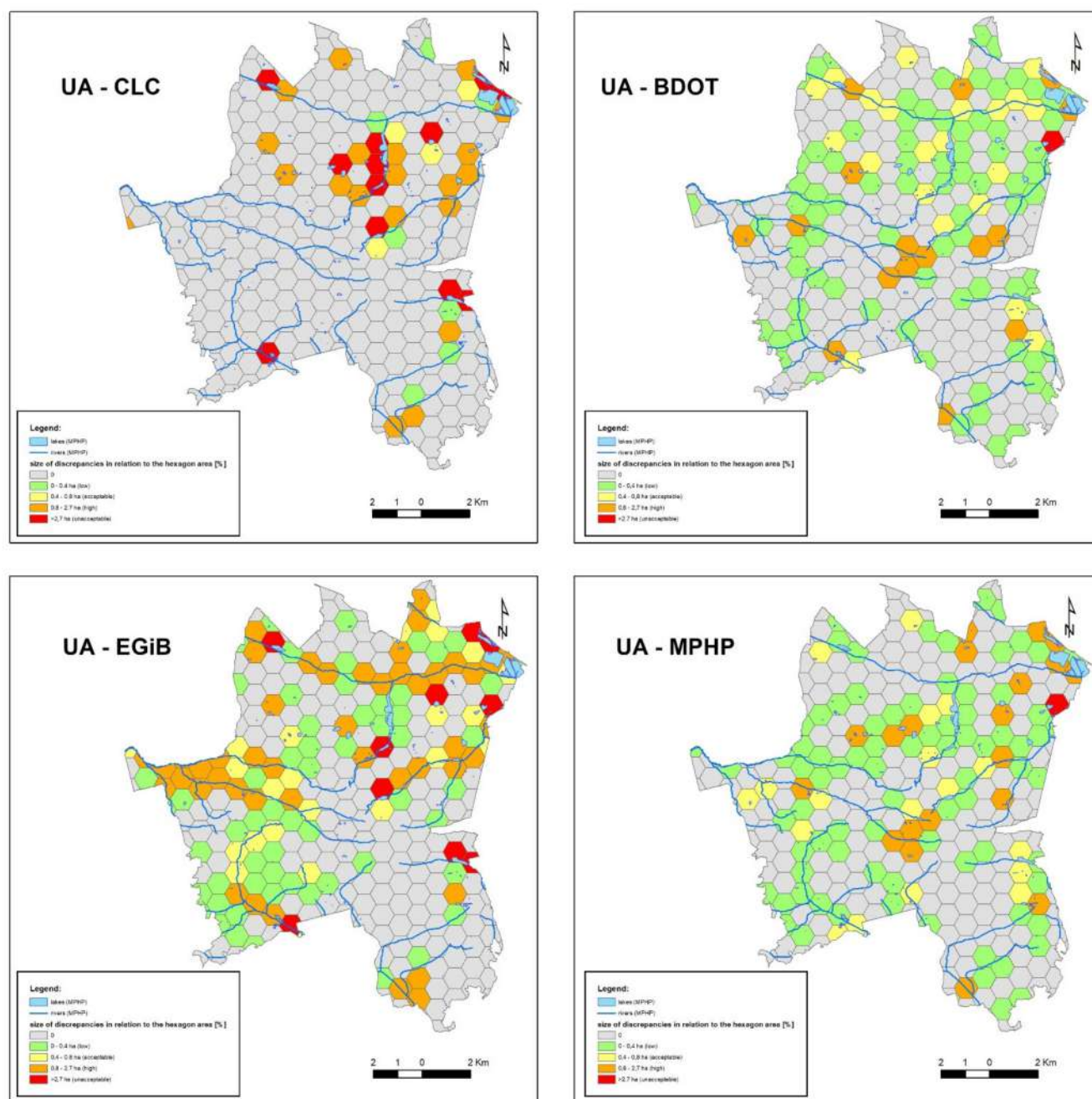


Figure A5. Spatial multi-criteria analysis—comparison of Urban Atlas (UA) with other studied land cover databases.

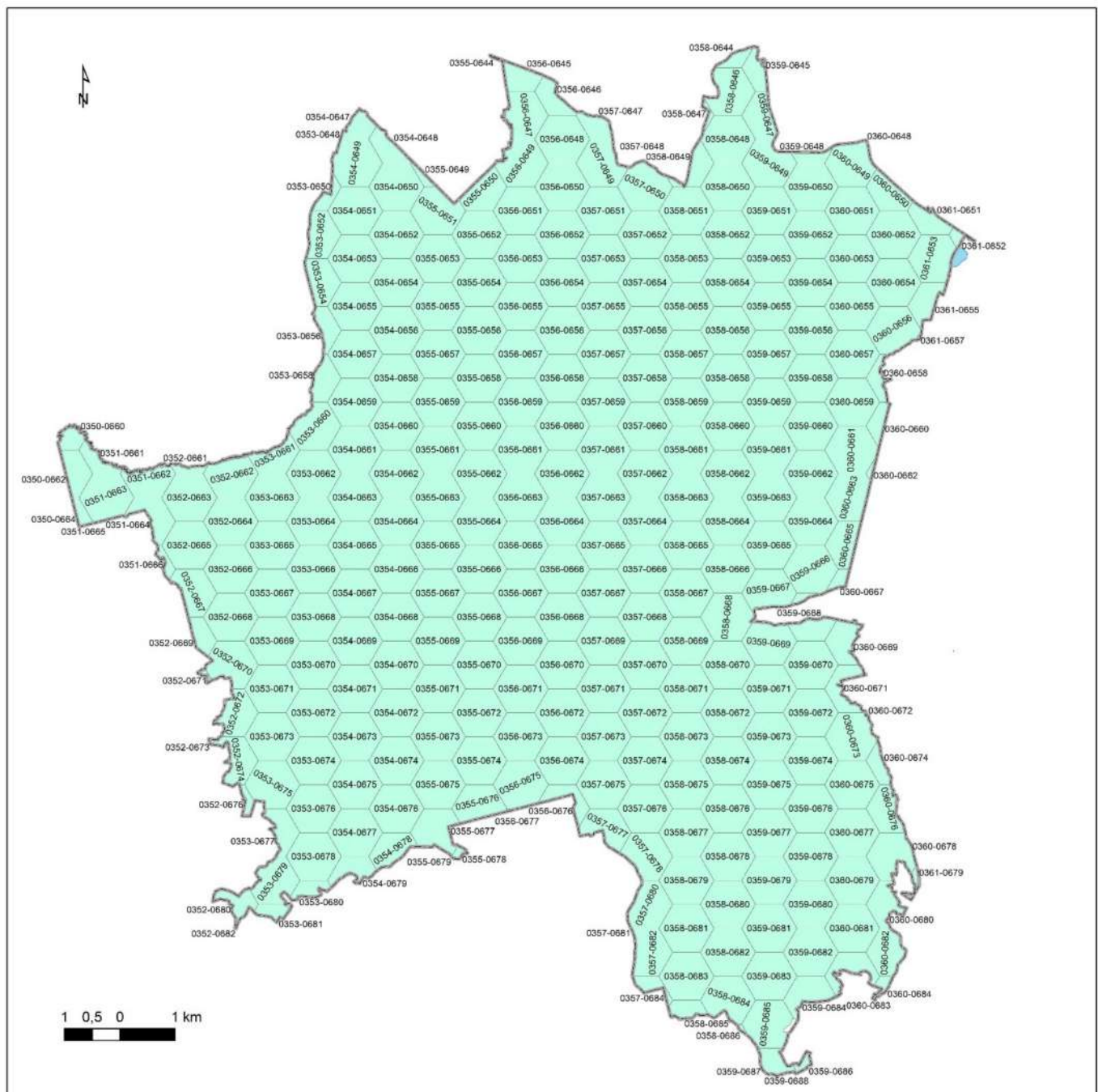


Figure A6. Location of hexagons—numbering in relation to Table A1.

Table A1. Areas covered by water and river length in individual hexagons.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGIB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0350-0660	167,745.91	5743.03	0.00	78.97	0.00	0.00	0.00	566.94	49.72
0350-0662	312,553.38	0.00	313.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0350-0664	101,987.40	0.00	0.00	0.00	0.00	16,217.94	0.00	0.00	0.00
0351-0661	210,448.33	11,327.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	730.73	0.00

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGiB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0351-0662	415,757.26	11,977.32	0.00	310.95	0.00	0.00	272.98	1638.06	0.00
0351-0663	628,665.11	431.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0351-0664	37,2841.17	8071.92	0.00	0.00	0.00	0.00	2511.35	782.38	0.00
0351-0665	2332.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0351-0666	88,207.48	780.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	845.03	0.00
0352-0661	88,009.04	12,978.89	405.77	0.00	0.00	0.00	0.00	698.25	0.00
0352-0662	552,236.25	12,013.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1091.94	570.29	0.00
0352-0663	649,516.24	11,351.66	0.00	0.00	0.00	0.00	8582.76	0.00	0.00
0352-0664	649,516.24	11,788.74	2318.68	4250.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0352-0665	649,516.24	148.75	8833.44	7950.22	0.00	0.00	10,996.94	0.00	0.00
0352-0666	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2656.11
0352-0667	467,334.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	860.53	0.00
0352-0668	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4504.83
0352-0669	214,960.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0352-0670	573,809.46	1237.58	0.00	0.00	0.00	0.00	272.99	0.00	0.00
0352-0671	23,761.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0352-0672	427,109.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.99	0.00	0.00
0352-0673	7484.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0352-0674	401,719.27	454.77	432.05	797.46	0.00	0.00	272.99	0.00	0.00
0352-0676	86,475.55	994.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0352-0680	239,107.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0352-0682	26.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0648	442.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0650	135,889.84	886.42	266.93	0.00	0.00	0.00	378.58	0.00	0.00
0353-0652	397,590.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16,119.90	0.00	0.00
0353-0654	389,638.75	349.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0656	234,716.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0658	300,304.13	0.00	674.96	588.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0660	563,294.10	5147.81	586.09	559.10	0.00	0.00	1092.09	704.13	0.00
0353-0661	371,646.99	14,688.03	0.00	215.09	0.00	0.00	811.16	171.04	0.00
0353-0662	649,516.24	7748.77	28.01	288.77	0.00	0.00	2348.08	0.00	0.00
0353-0663	649,516.24	9930.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1357.21	0.00	0.00
0353-0664	649,516.24	23,329.28	9315.87	8698.25	0.00	0.00	921.75	5727.87	0.00
0353-0665	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0666	649,516.24	0.00	493.61	606.30	0.00	0.00	10,857.66	0.00	0.00
0353-0667	649,516.24	0.00	0.00	399.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0668	649,516.24	3501.55	2144.60	5324.17	0.00	0.00	2728.37	0.00	0.00
0353-0669	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGIB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0353-0670	649,516.24	5629.59	0.00	668.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0671	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	545.97	0.00	0.00
0353-0672	649,516.24	4685.47	1483.50	1484.24	0.00	0.00	273.06	0.00	0.00
0353-0673	649,516.24	1199.29	0.00	0.00	0.00	0.00	1119.21	0.00	0.00
0353-0674	649,516.24	10,806.18	1733.36	1950.11	0.00	0.00	273.10	0.00	0.00
0353-0675	630,456.97	3984.83	2514.55	630.68	0.00	0.00	2185.65	0.00	1741.05
0353-0676	649,516.24	2782.31	0.00	0.00	0.00	0.00	272.99	1957.19	1843.89
0353-0677	312,945.32	1123.58	957.75	907.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0678	649,516.24	1210.30	0.00	145.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0679	516,915.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0680	179,489.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0353-0681	133,181.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	956.62
0354-0647	219,810.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	272.99	0.00	0.00
0354-0648	257,082.57	3231.07	3266.40	2657.45	0.00	0.00	546.05	0.00	0.00
0354-0649	629,023.12	9336.09	2880.29	0.00	0.00	0.00	682.05	0.00	0.00
0354-0650	649,516.24	12,231.22	67,169.38	62,324.16	59,249.91	0.00	46,580.30	0.00	0.00
0354-0651	649,516.24	11,024.92	6447.95	6401.56	0.00	0.00	14,081.42	0.00	0.00
0354-0652	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4429.54	0.00	0.00
0354-0653	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11,436.81	0.00	0.00
0354-0654	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12,551.21	0.00	0.00
0354-0655	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3692.40	0.00	0.00
0354-0656	649,516.24	25,607.19	4325.91	12,836.72	10,114.49	0.00	819.24	0.00	0.00
0354-0657	649,516.24	0.00	768.27	910.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0354-0658	649,516.24	0.00	190.36	0.00	0.00	0.00	1181.03	0.00	0.00
0354-0659	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0354-0660	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5686.49	0.00	0.00
0354-0661	649,516.24	12,222.99	271.90	276.02	0.00	0.00	4813.71	3460.65	0.00
0354-0662	649,516.24	10,881.45	518.03	441.10	0.00	0.00	5040.84	36.53	9231.20
0354-0663	649,516.24	878.81	671.88	762.99	0.00	0.00	3828.69	0.00	0.00
0354-0664	649,516.24	5756.21	0.00	0.00	0.00	0.00	1092.11	0.00	0.00
0354-0665	649,516.24	17,070.09	3048.90	5644.91	0.00	0.00	2730.35	0.00	0.00
0354-0666	649,516.24	1253.62	0.00	0.00	0.00	0.00	10,351.57	0.00	0.00
0354-0667	649,516.24	1159.66	0.00	0.00	0.00	0.00	10,142.74	0.00	0.00
0354-0668	649,516.24	4000.29	0.00	280.72	0.00	0.00	3825.96	0.00	0.00
0354-0669	649,516.24	6385.94	840.86	2392.09	0.00	0.00	545.98	4768.82	0.00
0354-0670	649,516.24	429.20	355.50	383.87	0.00	0.00	3274.49	0.00	0.00
0354-0671	649,516.24	419.23	0.00	0.00	0.00	0.00	544.38	0.00	0.00
0354-0672	649,516.24	3121.38	0.00	0.00	0.00	0.00	819.02	0.00	0.00
0354-0673	649,516.24	2943.41	0.00	0.00	0.00	0.00	1076.37	0.00	0.00

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGiB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0354-0674	649,516.24	3979.28	0.00	0.00	0.00	0.00	561.51	2244.32	0.00
0354-0675	649,516.24	15,319.72	0.00	254.23	0.00	0.00	1365.17	1038.76	0.00
0354-0676	649,516.24	18,207.74	28,728.59	34,611.67	36,935.61	0.00	10,528.71	582.67	9731.33
0354-0677	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0354-0678	363,548.22	0.00	0.00	7609.61	0.00	0.00	1196.70	0.00	0.00
0354-0679	283,940.47	256.19	260.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0355-0644	2904.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0355-0649	68,191.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0355-0650	416,873.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7152.75	0.00	0.00
0355-0651	596,055.84	19,174.09	26,778.44	19,463.05	18,157.42	0.00	12,308.75	3678.14	0.00
0355-0652	649,516.24	14,965.10	5531.40	0.00	0.00	0.00	12,150.89	0.00	0.00
0355-0653	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26,076.49	0.00	0.00
0355-0654	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4332.78	672.38	0.00
0355-0655	649,516.24	1776.87	1373.54	1377.74	0.00	0.00	9144.31	0.00	0.00
0355-0656	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9467.91	0.00	0.00
0355-0657	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10,369.04	0.00	0.00
0355-0658	649,516.24	3868.95	4237.86	2856.30	0.00	0.00	1638.00	0.00	0.00
0355-0659	649,516.24	22,255.00	24,196.51	34,519.00	15,204.11	0.00	7702.39	0.00	0.00
0355-0660	649,516.24	2741.08	1715.57	1773.01	0.00	0.00	2085.78	0.00	0.00
0355-0661	649,516.24	517.69	0.00	1007.14	0.00	0.00	6005.26	1276.62	0.00
0355-0662	649,516.24	131.18	0.00	2943.95	0.00	0.00	7328.29	413.97	0.00
0355-0663	649,516.24	4393.73	0.00	0.00	0.00	0.00	20,810.26	0.00	0.00
0355-0664	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4657.13	1055.54	0.00
0355-0665	649,516.24	8350.88	0.00	0.00	0.00	0.00	8700.77	0.00	9483.97
0355-0666	649,516.24	7194.27	0.00	0.00	0.00	0.00	1737.08	0.00	0.00
0355-0667	649,516.24	469.04	0.00	0.00	0.00	0.00	2573.77	0.00	0.00
0355-0668	649,516.24	1094.46	0.00	3718.52	0.00	0.00	272.99	1419.77	0.00
0355-0669	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4142.15	0.00	0.00
0355-0670	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.03	0.00	0.00
0355-0671	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3266.64	48.35	0.00
0355-0672	649,516.24	4377.45	421.95	437.30	0.00	0.00	495.88	642.25	0.00
0355-0673	649,516.24	2003.58	0.00	0.00	0.00	0.00	272.99	0.00	3204.40
0355-0674	649,516.24	1061.24	0.00	0.00	0.00	0.00	1415.13	229.45	0.00
0355-0675	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0355-0676	481,897.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0355-0677	493,565.53	31,630.46	4738.12	4853.05	0.00	0.00	0.00	1176.79	0.00
0355-0678	37,200.21	5748.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.89	0.00
0355-0679	90.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0356-0645	278,075.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2832.40	0.00	0.00

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGiB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0356-0646	274,117.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1092.04	0.00	0.00
0356-0647	520,308.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2183.92	0.00	0.00
0356-0648	649,516.24	7816.25	5297.87	5730.79	11,605.36	0.00	16,463.83	0.00	0.00
0356-0649	605,837.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2457.10	0.00	0.00
0356-0650	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6694.16	0.00	0.00
0356-0651	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28,168.22	0.00	0.00
0356-0652	649,516.24	1059.72	219.58	0.00	0.00	0.00	15,782.06	0.00	0.00
0356-0653	649,516.24	15,673.01	5762.18	0.00	0.00	0.00	24,773.57	1148.62	0.00
0356-0654	649,516.24	3232.21	1377.12	0.00	0.00	0.00	77,740.87	617.78	0.00
0356-0655	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22,696.40	0.00	0.00
0356-0656	649,516.24	0.00	381.72	382.88	0.00	0.00	35,521.72	0.00	0.00
0356-0657	649,516.24	0.00	0.00	414.80	0.00	0.00	8379.18	0.00	0.00
0356-0658	649,516.24	43,024.98	31,765.94	50,912.23	29,586.35	0.00	24,337.70	0.00	0.00
0356-0659	649,516.24	0.00	0.00	9852.27	0.00	0.00	4365.30	0.00	0.00
0356-0660	649,516.24	13,446.97	10,545.19	10,467.34	11,693.34	0.00	4955.54	0.00	0.00
0356-0661	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	545.99	0.00	0.00
0356-0662	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2315.72	0.00
0356-0663	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0356-0664	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0356-0665	649,516.24	0.00	616.21	2538.29	0.00	0.00	0.00	3192.37	2805.38
0356-0666	649,516.24	0.00	18,115.68	4311.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0356-0667	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	171.00	0.00	0.00
0356-0668	649,516.24	0.00	9174.81	11,608.00	0.00	0.00	818.99	140.99	0.00
0356-0669	649,516.24	0.00	10,893.99	13,676.22	0.00	0.00	0.00	1028.38	0.00
0356-0670	649,516.24	0.00	0.00	11,010.74	0.00	0.00	1346.16	0.00	0.00
0356-0671	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0356-0672	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.85	0.00	0.00
0356-0673	649,516.24	648.28	0.00	3143.00	0.00	0.00	1581.02	0.00	0.00
0356-0674	649,516.24	0.00	310.15	5170.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0356-0675	636,637.14	0.00	0.00	3229.87	0.00	0.00	11,057.35	0.00	787.19
0356-0676	260,560.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1975.97	0.00	0.00
0356-0677	6540.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0647	215,397.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19,413.00	0.00	0.00
0357-0648	4759.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0649	562,722.96	0.00	0.00	138.26	0.00	0.00	2221.10	0.00	0.00
0357-0650	618,885.03	0.00	81.35	34.32	0.00	0.00	3783.21	0.00	0.00
0357-0651	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9409.77	0.00	0.00
0357-0652	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7509.95	0.00	0.00
0357-0653	649,516.24	8056.07	3540.92	0.00	0.00	0.00	20,608.29	1713.80	0.00

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGIB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0357-0654	649,516.24	21,903.84	8644.44	3350.57	5327.49	5994.20	14,365.95	482.34	0.00
0357-0655	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27,828.64	0.00	0.00
0357-0656	649,516.24	128,791.39	121,207.98	121,865.63	126,055.03	172,840.88	100,639.57	848.28	0.00
0357-0657	649,516.24	6302.16	4810.46	4807.49	9942.00	0.00	11,328.09	0.00	0.00
0357-0658	649,516.24	98,520.34	92,710.98	92,188.41	94,886.95	147,672.15	65,415.22	648.07	0.00
0357-0659	649,516.24	0.00	0.00	380.14	0.00	0.00	2995.37	0.00	0.00
0357-0660	649,516.24	15,479.19	44,203.47	43,522.75	43,191.78	0.00	24,508.42	876.56	0.00
0357-0661	649,516.24	3095.92	17,031.20	16,913.87	11,861.99	0.00	538.27	0.00	5745.27
0357-0662	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3187.15	0.00	0.00
0357-0663	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0664	649,516.24	0.00	46,597.04	45,951.94	50,677.02	0.00	37,953.87	76.31	0.00
0357-0665	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	938.52	0.00
0357-0666	649,516.24	0.00	6611.96	4971.13	5034.83	0.00	8784.54	969.92	0.00
0357-0667	649,516.24	0.00	10,557.44	8545.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0668	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2547.16	0.00	0.00
0357-0669	649,516.24	0.00	726.49	989.60	0.00	0.00	273.03	271.81	0.00
0357-0670	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3152.53	0.00	0.00
0357-0671	649,516.24	1333.11	0.00	0.00	0.00	0.00	849.92	0.00	0.00
0357-0672	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	780.35	0.00	0.00
0357-0673	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3574.03
0357-0674	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0675	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0676	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0677	451,445.24	0.00	3400.04	509.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0678	560,957.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0680	508,254.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1100.45	0.00
0357-0681	34.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0357-0682	495,873.26	403.71	18,108.06	0.00	0.00	0.00	12,403.48	140.57	0.00
0357-0684	146,990.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0644	120,679.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0646	560,160.50	11,194.37	408.16	330.07	0.00	0.00	6326.04	243.40	0.00
0358-0647	46,646.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	255.26	0.00	0.00
0358-0648	649,516.24	8460.65	0.00	0.00	0.00	0.00	5827.25	716.83	1548.99
0358-0649	285,773.51	4807.71	4043.41	8726.87	0.00	0.00	6216.75	0.00	0.00
0358-0650	649,516.24	710.94	614.28	0.00	0.00	0.00	4357.58	0.00	0.00
0358-0651	649,516.24	14,396.62	10,976.98	15,023.04	0.00	0.00	6887.09	0.00	0.00
0358-0652	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27,981.69	0.00	0.00
0358-0653	649,516.24	16,825.12	5126.61	0.00	0.00	0.00	6881.26	959.03	12,077.20

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGiB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0358-0654	649,516.24	12,821.20	2372.17	0.00	0.00	0.00	11,125.26	142.62	0.00
0358-0655	649,516.24	4839.74	3791.18	4089.19	4931.87	9982.79	21,764.62	0.00	0.00
0358-0656	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13,843.78	0.00	0.00
0358-0657	649,516.24	47,846.69	45,572.35	45,947.79	46,670.57	68,199.70	34,875.96	43.28	0.00
0358-0658	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	811.35	0.00	0.00
0358-0659	649,516.24	20,445.62	17,549.22	15,285.95	17,662.78	28,443.71	11,772.17	592.16	0.00
0358-0660	649,516.24	0.00	358.94	3548.32	0.00	0.00	817.36	0.00	0.00
0358-0661	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5196.89	0.00	0.00
0358-0662	649,516.24	17,204.74	4977.12	4856.87	0.00	0.00	10,700.48	1372.70	0.00
0358-0663	649,516.24	0.00	15,236.51	15,234.96	17,286.29	0.00	13,916.85	234.00	0.00
0358-0664	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5699.79	0.00	0.00
0358-0665	649,516.24	0.00	583.57	508.42	230.55	0.00	185.68	720.08	0.00
0358-0666	649,516.24	0.00	9880.02	0.00	0.00	0.00	366.85	0.00	0.00
0358-0667	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0668	648,007.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.11	0.00	0.00
0358-0669	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1055.56	0.00	0.00
0358-0670	649,516.24	0.00	3749.55	293.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0671	649,516.24	0.00	32.75	24.33	0.00	0.00	391.21	1170.44	0.00
0358-0672	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	596.93	0.00
0358-0673	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0674	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0675	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0676	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0677	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0678	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2183.25	5072.90
0358-0679	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	641.43	0.00
0358-0680	649,516.24	0.00	1632.18	1637.95	2848.29	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0681	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4561.96
0358-0682	649,516.24	0.00	10,829.23	10,275.04	11,212.10	0.00	272.98	0.00	0.00
0358-0683	649,516.24	7783.58	22,675.69	0.00	20,217.26	0.00	9559.71	1979.06	0.00
0358-0684	589,012.97	10,538.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0685	188,614.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0358-0686	14,806.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0645	225,126.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4579.00	0.00	0.00
0359-0647	370,159.03	7036.61	0.00	0.00	19.72	0.00	1102.84	0.00	0.00
0359-0648	129,804.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	819.11	0.00	0.00
0359-0649	596,569.78	5665.01	0.00	0.00	0.00	0.00	9406.59	586.47	0.00
0359-0650	649,516.24	265.09	0.39	346.98	0.00	0.00	6541.28	0.00	0.00

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGiB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0359-0651	649,516.24	2242.12	1445.70	2592.97	0.00	0.00	7617.77	0.00	0.00
0359-0652	649,516.24	15,718.10	6623.44	0.00	0.00	0.00	10,949.04	4404.38	0.00
0359-0653	649,516.24	17,394.43	4007.97	0.00	0.00	0.00	12,303.77	0.00	0.00
0359-0654	649,516.24	0.00	0.00	8126.33	0.00	0.00	13,762.61	0.00	0.00
0359-0655	649,516.24	0.00	30,110.41	30,287.36	32,536.72	0.00	35,055.94	0.00	0.00
0359-0656	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7821.21	0.00	0.00
0359-0657	649,516.24	0.00	7209.87	15,116.74	4366.99	0.00	7467.69	0.00	0.00
0359-0658	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11,201.91	0.00	0.00
0359-0659	649,516.24	0.00	4457.32	756.76	0.00	0.00	3883.87	0.00	0.00
0359-0660	649,516.24	0.00	25,416.14	25,419.45	25,002.94	0.00	22,823.91	0.00	0.00
0359-0661	649,516.24	5309.60	0.00	11,558.25	0.00	0.00	546.08	1085.70	7223.22
0359-0662	649,516.24	37,781.97	25,056.00	23,190.55	25,493.08	0.00	15,200.34	722.20	0.00
0359-0663	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1928.82	0.00	0.00
0359-0664	649,516.24	48.79	0.00	0.00	0.00	0.00	8669.11	1693.95	0.00
0359-0665	649,516.24	0.00	10,369.64	14,642.23	0.00	0.00	538.28	1383.83	4561.72
0359-0666	649,454.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.00	0.00	0.00
0359-0667	549,531.87	87.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1482.06	0.00
0359-0668	327,119.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0669	588,458.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0670	649,516.24	0.00	55,003.32	54,078.07	58,840.66	0.00	46,393.36	684.21	0.00
0359-0671	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1753.82	3462.14
0359-0672	649,516.24	0.00	4655.06	5872.39	558.76	0.00	343.24	0.00	0.00
0359-0673	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0674	649,516.24	0.00	151.83	10,385.22	14,463.39	0.00	3543.35	0.00	0.00
0359-0675	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0676	649,516.24	0.00	0.00	4463.01	2410.62	0.00	2510.84	831.75	0.00
0359-0677	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0678	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0679	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0680	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0681	649,516.24	0.00	0.00	200.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0682	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0683	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0684	406,809.47	0.00	247.04	197.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0685	606,551.22	0.00	518.91	760.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0686	60,431.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0687	218,919.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0359-0688	733.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0648	7.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Table A1. Cont.

Hexagon Number	Hexagon Area [sq. m]	Water Area by EGiB [sq. m]	Water Area by BDOT [sq. m]	Water Area by MPHP [sq. m]	Water Area by UA [sq. m]	Water Area by CLC [sq. m]	Water Area by NDWI [sq. m]	River Length by BDOT [m]	River Length by MPHP [m]
0360-0649	579,073.24	58,925.27	27,786.62	31,643.89	22,239.77	30,678.10	14,077.65	0.00	0.00
0360-0650	372,832.40	148,803.50	110,639.64	85,081.64	96,811.87	160,660.16	48,063.56	0.00	0.00
0360-0651	649,516.24	5059.28	0.00	0.00	76.69	4789.17	0.00	0.00	0.00
0360-0652	649,516.24	328,395.34	306,634.88	300,341.02	309,097.03	307,386.41	256,677.83	0.00	0.00
0360-0653	649,516.24	10,437.89	5311.34	0.00	0.00	0.00	14,010.29	0.00	0.00
0360-0654	649,516.24	3040.87	812.81	0.00	0.00	0.00	18,359.07	0.00	0.00
0360-0655	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13,829.43	0.00	0.00
0360-0656	610,583.42	47,791.25	34,793.47	35,900.64	0.00	0.00	7743.34	0.00	0.00
0360-0657	649,516.24	21,234.44	17,926.73	17,667.62	16,532.12	0.00	8843.25	0.00	0.00
0360-0658	184,175.67	10,498.97	2845.66	3779.55	0.00	0.00	0.00	807.21	0.00
0360-0659	649,516.24	10,474.58	12,293.26	12,299.63	13,548.83	0.00	9297.58	965.08	0.00
0360-0660	178,724.93	4487.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	251.89	251.96
0360-0661	648,369.08	19,872.17	3726.97	0.00	0.00	0.00	819.01	543.64	0.00
0360-0662	31,658.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0663	548,891.78	0.00	0.00	659.81	0.00	0.00	448.31	0.00	0.00
0360-0665	376,101.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0667	92,506.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0669	364,043.24	0.00	3860.17	0.00	0.00	0.00	1573.49	443.39	0.00
0360-0671	330,804.95	0.00	27,686.68	28,619.69	29,997.43	0.00	18,159.33	11.66	0.00
0360-0672	384.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0673	629,459.95	0.00	0.00	550.05	0.00	0.00	0.00	474.14	0.00
0360-0674	178,269.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1050.96	0.00	0.00
0360-0675	649,516.24	0.00	7091.61	19,809.78	0.00	0.00	15,040.81	644.45	0.00
0360-0676	388,241.33	0.00	2255.37	0.00	0.00	0.00	74.47	0.00	1281.71
0360-0677	649,516.24	0.00	283.75	300.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0678	527,454.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0679	649,516.24	0.00	108.04	816.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0680	344,555.94	0.00	110.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0681	649,516.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0682	423,139.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0683	366,949.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0360-0684	71,040.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0361-0651	275,294.78	116,726.47	108,778.88	105,214.53	108,193.01	147,204.74	71,452.07	0.00	0.00
0361-0652	63,675.69	37,370.64	34,809.88	33,335.08	38,526.52	43,847.93	27,436.97	0.00	0.00
0361-0653	584,230.64	316,697.09	299,612.57	288,010.92	311,705.80	333,254.41	232,704.03	0.00	0.00
0361-0655	315,281.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	273.01	0.00	0.00
0361-0657	7165.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	74.57	0.00	0.00
0361-0679	39,207.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Source: own study.

References

- Wei, T.; Shangguan, D.; Shen, X.; Ding, Y.; Yi, S. Dynamics of Land Use and Land Cover Changes in An Arid Piedmont Plain in the Middle Reaches of the Kaxgar River Basin, Xinjiang, China. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, *9*, 87. [CrossRef]
- Water Law Act of 20th July 2017. Available online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20220002625> (accessed on 1 November 2022).
- Journal of Law 2016 Item 1034 (Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z Dnia 10 Czerwca 2016 r. w Sprawie Ogłoszenia Jednolitego Tekstu Rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa w Sprawie Ewidencji gruntów i Budynków). Available online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20160001034/O/D20161034.pdf> (accessed on 22 December 2022).
- Journal of Law 1997 Item 741 (Ustawa z Dnia 21 Sierpnia 1997 r. o Gospodarce Nieruchomościami). Available online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19971150741> (accessed on 27 December 2022).
- Solarek, K.; Kubasińska, M. Local Spatial Plans in Supporting Sustainable Water Resources Management: Case Study from Warsaw Agglomeration—Kampinos National Park Vicinity. *Sustainability* **2022**, *14*, 5766. [CrossRef]
- Dangui, K.; Jia, S. Water Infrastructure Performance in Sub-Saharan Africa: An Investigation of the Drivers and Impact on Economic Growth. *Water* **2022**, *14*, 3522. [CrossRef]
- Pot, W.D.; Dewulf, A.; Biesbroek, G.R.; Verweij, S. What makes decisions about urban water infrastructure forward looking? A fuzzy-set qualitative comparative analysis of investment decisions in 40 Dutch municipalities. *Land Use Policy* **2019**, *82*, 781–795. [CrossRef]
- FAO. *The Future of Food and Agriculture—Alternative Pathways to 2050*; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2018; 224p. Available online: <https://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf> (accessed on 13 January 2023).
- Łaszewski, M.; Fedorczyk, M.; Stępniewski, K. The Impact of Land Cover on Selected Water Quality Parameters in Polish Lowland Streams during the Non-Vegetative Period. *Water* **2022**, *14*, 3295. [CrossRef]
- Martínez-Retureta, R.; Aguayo, M.; Abreu, N.J.; Urrutia, R.; Echeverría, C.; Lagos, O.; Rodríguez-López, L.; Duran-Llacer, I.; Barra, R.O. Influence of Climate and Land Cover/Use Change on Water Balance: An Approach to Individual and Combined Effects. *Water* **2022**, *14*, 2304. [CrossRef]
- Santy, S.; Mujumdar, P.; Bala, G. Influence of climate change, land use land cover, population and industries on the pollution of Ganga River. *EGUosphere* **2022**, preprint. [CrossRef]
- Thapa, P. The Relationship between Land Use and Climate Change: A Case Study of Nepal. In *The Nature, Causes, Effects and Mitigation of Climate Change on the Environment*; IntechOpen: Rijeka, Croatia, 2022. [CrossRef]
- Cheng, C.; Zhang, F.; Shi, J.; Kung, H.-T. What is the relationship between land use and surface water quality? A review and prospects from remote sensing perspective. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, *29*, 56887–56907. [CrossRef]
- Park, G.; Park, K.; Song, B.; Lee, H. Analyzing Impact of Types of UAV-Derived Images on the Object-Based Classification of Land Cover in an Urban Area. *Drones* **2022**, *6*, 71. [CrossRef]
- Liu, B.; Xu, C.; Yang, J.; Lin, S.; Wang, X. Effect of Land Use and Drainage System Changes on Urban Flood Spatial Distribution in Handan City: A Case Study. *Sustainability* **2022**, *14*, 14610. [CrossRef]
- Sertel, E.; Ekim, B.; Ettehad Osgouei, P.; Kabadayi, M.E. Land Use and Land Cover Mapping Using Deep Learning Based Segmentation Approaches and VHR Worldview-3 Images. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 4558. [CrossRef]
- Ali, K.; Johnson, B.A. Land-Use and Land-Cover Classification in Semi-Arid Areas from Medium-Resolution Remote-Sensing Imagery: A Deep Learning Approach. *Sensors* **2022**, *22*, 8750. [CrossRef] [PubMed]
- Li, J.; Ma, R.; Cao, Z.; Xue, K.; Xiong, J.; Hu, M.; Feng, X. Satellite Detection of Surface Water Extent: A Review of Methodology. *Water* **2022**, *14*, 1148. [CrossRef]
- Albertini, C.; Gioia, A.; Iacobellis, V.; Manfreda, S. Detection of Surface Water and Floods with Multispectral Satellites. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 6005. [CrossRef]
- Yang, H.; Kong, J.; Hu, H.; Du, Y.; Gao, M.; Chen, F. A Review of Remote Sensing for Water Quality Retrieval: Progress and Challenges. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 1770. [CrossRef]
- Collings, B.; Ford, M.; Dickson, M. A Methodology for National Scale Coastal Landcover Mapping in New Zealand. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 4827. [CrossRef]
- Gameiro, S.; Nascimento, V.; Facco, D.; Sfredo, G.; Ometto, J. Multitemporal Spatial Analysis of Land Use and Land Cover Changes in the Lower Jaguaribe Hydrographic Sub-Basin, Ceará, Northeast Brazil. *Land* **2022**, *11*, 103. [CrossRef]
- Dibs, H.; Hasab, H.A.; Mahmoud, A.S.; Al-Ansari, N. Fusion Methods and Multi-classifiers to Improve Land Cover Estimation Using Remote Sensing Analysis. *Geotech. Geol. Eng.* **2021**, *39*, 5825–5842. [CrossRef]
- Wang, C.; Ma, Y.; Wang, B.; Ma, W.; Chen, X.; Han, C. Analysis of the Radiation Fluxes over Complex Surfaces on the Tibetan Plateau. *Water* **2021**, *13*, 3084. [CrossRef]
- Aasen, H.; Honkavaara, E.; Lucieer, A.; Zarco-Tejada, P.J. Quantitative Remote Sensing at Ultra-High Resolution with UAV Spectroscopy: A Review of Sensor Technology, Measurement Procedures, and Data Correction Workflows. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 1091. [CrossRef]
- Gao, B. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* **1996**, *58*, 257–266. [CrossRef]

27. McFeeters, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* **1996**, *17*, 1425–1432. [[CrossRef](#)]
28. Bie, Q.; Shi, Y.; Li, X.; Wang, Y. Contrastive Analysis and Accuracy Assessment of Three Global 30 m Land Cover Maps Circa 2020 in Arid Land. *Sustainability* **2023**, *15*, 741. [[CrossRef](#)]
29. Richling, A.; Solon, J.; Macias, A.; Balon, J.; Borzyszkowski, J.; Kistowski, M. (Eds.) *Regionalna Geografia Fizyczna Polski: Praca Zbiorowa*; Bogucki Wydawnictwo Naukowe: Poznań, Poland, 2021.
30. Lamparska-Stobiecka, M. Górnicze dziedzictwo GZM. In *Górnośląski Związek Metropolitalny*; Dulias, R., Hibszer, A., Eds.; Polskie Towarzystwo Geograficzne: Sosnowiec, Poland, 2008; pp. 255–264.
31. Dulias, R. Zasoby kopalin na obszarze GZM. In *Górnośląski Związek Metropolitalny*; Dulias, R., Hibszer, A., Eds.; Polskie Towarzystwo Geograficzne: Sosnowiec, Poland, 2008; pp. 24–34.
32. Absalon, D.; Czaja, S.; Jankowski, A.T. Środowisko geograficzne. In *Katowice. Środowisko, Dzieje, Kultura, Język i Społeczeństwo*; Barciak, A., Chojecka, E., Fertacz, S., Eds.; Muzeum Historii Katowic: Katowice, Poland, 2012; pp. 43–78. Available online: https://www.researchgate.net/publication/259647650_Srodowisko_geograficzne (accessed on 27 December 2022).
33. Rzętała, M.A.; Rzętała, M. Zbiorniki na obszarze Górnośląskiego Związku Metropolitalnego. In *Górnośląski Związek Metropolitalny*; Dulias, R., Hibszer, A., Eds.; Polskie Towarzystwo Geograficzne: Sosnowiec, Poland, 2008; pp. 71–81.
34. Absalon, D.; Matysik, M.; Woźnica, A.; Łozowski, B. Water reservoirs of the Metropolis GZM (Association of Upper Silesia and Dąbrowa Basin) as an opportunity to counteract the effects of climate change (Zbiorniki wodne Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM) szansą na przeciwdziałanie skutkom zmian klimatu). In *Ochrona i Rekultywacja Jezior (Protection and Restoration of Lakes)*; Wiśniewski, R., Kakareko, T., Eds.; Towarzystwo Naukowe w Toruniu: Toruń, Poland, 2019; pp. 131–141.
35. European Environment Agency. CORINE Land Cover Nomenclature Conversion to Land Cover Classification System. Available online: https://land.copernicus.eu/eagle/files/eagle-related-projects/pt_clc-conversion-to-fao-lccs3_dec2010 (accessed on 15 January 2023).
36. European Environment Agency. Available online: <https://www.eea.europa.eu/help/faq/what-is-corine-land-cover> (accessed on 15 January 2023).
37. European Environment Agency. CORINE Land Cover Nomenclature Illustrated Guide. Available online: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/Nomenclature.pdf> (accessed on 15 January 2023).
38. European Environment Agency. *Urban Atlas Mapping Guide v 6.2*; European Union: Copenhagen, Denmark, 2020; Available online: https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/urban_atlas_2012_2018_mapping_guide (accessed on 15 January 2023).
39. Copernicus Land Monitoring System. Available online: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018?tab=metadata> (accessed on 15 January 2023).
40. Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Katowicach (WODGiK), Klasyfikacja obiektów BDOT10k. Available online: https://www.wodgik.katowice.pl/www/pobierz/wykaz_BDOT10k.pdf (accessed on 15 January 2023).
41. Chrobak, T.; Łabaj, A.; Bolibok, A. (Eds.) *Baza Danych Obiektów Topograficznych: Podręcznik dla Uczestników Szkolenia z Możliwości, Form i Metod Zastosowania Bazy Danych Obiektów Topograficznych*; Główny Urząd Geodezji i Kartografii: Warszawa, Poland, 2014; p. 221. Available online: http://www.gugik.gov.pl/_data/assets/pdf_file/0020/23609/Podrecznik-do-szkolen.pdf (accessed on 3 January 2023).
42. Journal of Law 2011 Item 1642 (Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z Dnia 17 Listopada 2011 r. w Sprawie Bazy Danych Obiektów Topograficznych Oraz Bazy Danych Obiektów Ogólnogeograficznych, a Także Standardowych Opracowań Kartograficznych). Available online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20112791642> (accessed on 15 January 2023).
43. Journal of Law 2021 Item 1412 (Rozporządzenie Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z Dnia 27 Lipca 2021 r. w Sprawie Bazy Danych Obiektów Topograficznych Oraz Bazy Danych Obiektów Ogólnogeograficznych, a Także Standardowych Opracowań Kartograficznych). Available online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210001412> (accessed on 15 January 2023).
44. Piórkowski, P.; Walczykiewicz, T.; Barszczyńska, M.; Olszar, M.; Borzuchowski, J. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10,000 (Map of the Hydrographic Division of Poland in the Scale of 1:10,000). *Krakowskie Spotkania z INSPIRE*, Kraków, 16–17 Maja 2013 r. Available online: https://web.archive.org/web/20160418103934/https://www.isok.gov.pl/dane/web_articles_files/2168/mapa-podzialu-hydrograficznego-polski-mphp10-piotr-piorkowski.pdf (accessed on 20 March 2022).
45. Afelt, A.; Chormański, J.; Bolibok, A.; Gwiżdż, M.; Brzozowska, R.; Kasjaniuk, T.; Klusek, M.; Seweryn, R.; Jedlińska, S. *Podręcznik dla Uczestników Szkolenia Wykorzystanie Kartograficznych Opracowań Tematycznych w Postaci Cyfrowych Map Hydrograficznych Opracowanych w Ramach Projektu envDMS (En. Handbook for Participants of Training on the Use of Cartographic Thematic Materials in the Form of Digital Hydrographic Maps Developed as Part of the envDMS Project)*; Główny Urząd Geodezji i Kartografii: Warszawa, Poland, 2017; p. 182.
46. Barczyńska, M.; Borzuchowski, J.; Kubacka, D.; Piórkowski, P.; Rataj, C.; Walczykiewicz, T.; Woźniak, Ł. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10,000—Nowe hydrograficzne dane referencyjne (Map of the Hydrographic Division of Poland in the scale of 1:10,000—New hydrographic reference data). *Rocz. Geomatyki* **2013**, *11*, 15–28.
47. Journal of Law 2021 Item 1930 (Rozporządzenia Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca 2021 r. w Sprawie Ewidencji Gruntów i Budynków). Available online: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20210001390> (accessed on 15 January 2023).

48. Noszczyk, T.; Hernik, J. *Potrzeba Czynnego Prowadzenia Ewidencji Gruntów i Budynków (The Necessity to Keep Land and Property Registers in an Active Manner)*; Infrastructure and Ecology of Rural Areas; No. 1/2/2017; Commission of Technical Rural Infrastructure of the Polish Academy of Sciences: Cracow, Poland, 2017; pp. 229–241. [\[CrossRef\]](#)
49. McFeeters, S. Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach. *Remote Sens.* **2013**, *5*, 3544–3561. [\[CrossRef\]](#)
50. Li, X.; Zhang, F.; Chan, N.W.; Shi, J.; Liu, C.; Chen, D. High Precision Extraction of Surface Water from Complex Terrain in Bosten Lake Basin Based on Water Index and Slope Mask Data. *Water* **2022**, *14*, 2809. [\[CrossRef\]](#)
51. Cieślak, I.; Biłozor, A.; Żróbek-Sokolnik, A.; Zagroba, M. The Use of Geographic Databases for Analyzing Changes in Land Cover—A Case Study of the Region of Warmia and Mazury in Poland. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, *9*, 358. [\[CrossRef\]](#)
52. Dobesova, Z. Experiment in Finding Look-Alike European Cities Using Urban Atlas Data. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2020**, *9*, 406. [\[CrossRef\]](#)
53. Szarek-Iwaniuk, P.A. Comparative Analysis of Spatial Data and Land Use/Land Cover Classification in Urbanized Areas and Areas Subjected to Anthropogenic Pressure for the Example of Poland. *Sustainability* **2021**, *13*, 3070. [\[CrossRef\]](#)
54. Manakos, I.; Tomaszewska, M.; Gkinis, I.; Brovkina, O.; Filchev, L.; Genc, L.; Gitas, I.Z.; Halabuk, A.; Inalpulat, M.; Irimescu, A.; et al. Comparison of Global and Continental Land Cover Products for Selected Study Areas in South Central and Eastern European Region. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 1967. [\[CrossRef\]](#)
55. Janczewska, N.; Absalon, D.; Matysik, M. Assessment of discrepancies between spatial databases of surface waters in the context of water management in Poland. In *Współczesne Problemy Gospodarowania Zasobami Wodnymi*; Wierzch, B., Ed.; Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk: Warsaw, Poland, 2022; Volume 45, pp. 85–96. Available online: <https://shp.org.pl/wp-content/uploads/2022/12/7-Janczewska-i-in.pdf> (accessed on 22 December 2022).
56. Kowalski, K. *Grunty Pokryte Wodami Płynącymi w Ewidencji Gruntów*; Grunt i Woda.pl: Wrocław, Poland, 2011; pp. 1–10. Available online: https://biblioteka.womczest.edu.pl/new/wp-content/uploads/2013/09/webowa_biblioteka_przyroda_geografia_grunty_pokryte_wodami_plynacymi_w_ewidencji_gruntow.pdf (accessed on 3 January 2023).
57. Śleszyński, P.; Gibas, P.; Sudra, P. The Problem of Mismatch between the CORINE Land Cover Data Classification and the Development of Settlement in Poland. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 2253. [\[CrossRef\]](#)
58. Micek, O.; Feranec, J.; Stych, P. Land Use/Land Cover Data of the Urban Atlas and the Cadastre of Real Estate: An Evaluation Study in the Prague Metropolitan Region. *Land* **2020**, *9*, 153. [\[CrossRef\]](#)
59. Absalon, D.; Matysik, M.; Pieron, Ł. Evaluation of Pressure Types Impacted on Sediment Supply to Dam Reservoirs: Selected Examples of the Outer Western Carpathians Catchments Area. *Water* **2023**, *15*, 597. [\[CrossRef\]](#)
60. Pieron, Ł.; Wujek, A. Development of small water retention in Poland—Implementation of assumptions to the Water Resource Development Program. *Gospod. Wodna* **2022**, *5*, 29–32.
61. Zhang, C.; Li, X. Land Use and Land Cover Mapping in the Era of Big Data. *Land* **2022**, *11*, 1692. [\[CrossRef\]](#)
62. Du, Y.; Zhang, Y.; Ling, F.; Wang, Q.; Li, W.; Li, X. Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band. *Remote Sens.* **2016**, *8*, 354. [\[CrossRef\]](#)
63. Li, W.; Du, Z.; Ling, F.; Zhou, D.; Wang, H.; Gui, Y.; Sun, B.; Zhang, X. A Comparison of Land Surface Water Mapping Using the Normalized Difference Water Index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sens.* **2013**, *5*, 5530–5549. [\[CrossRef\]](#)
64. Cui, M.; Sun, Y.; Huang, C.; Li, M. Water Turbidity Retrieval Based on UAV Hyperspectral Remote Sensing. *Water* **2022**, *14*, 128. [\[CrossRef\]](#)

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

RESEARCH ARTICLE

Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study

Natalia Janczewska^{1,2,3,4}  | Magdalena Matysik^{1,3}  | Damian Absalon^{1,3}  | Agnieszka Bieda⁵ 

¹Faculty of Natural Sciences, Institute of Earth Sciences, University of Silesia in Katowice, Sosnowiec, Poland | ²Doctoral School, University of Silesia in Katowice, Katowice, Poland | ³Silesian Water Centre, University of Silesia in Katowice, Katowice, Poland | ⁴Regional Water Management Authority in Gliwice, State Water Holding Polish Waters, Gliwice, Poland | ⁵Department of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Engineering, Faculty of Geo-Data Science, Geodesy, and Environmental Engineering, AGH University of Krakow, Kraków, Poland

Correspondence: Magdalena Matysik (magdalena.matysik@us.edu.pl)

Received: 25 January 2025 | **Revised:** 3 April 2025 | **Accepted:** 21 April 2025

Funding: The research activities are co-financed by the funds granted under the Research Excellence Initiative of the University of Silesia in Katowice.

Keywords: cadastre | cluster maps | database | GIS | spatial multi-criteria analysis | surface flowing water

ABSTRACT

Some countries, within the framework of the real estate cadastre, collect information on land use; therefore, data should be kept up to date, and the information made available on its basis has binding legal effects. The supposed high reliability of this register was the motivation to verify whether the data collected in it could be used to create and update a surface water database. The results obtained show that between 22% and 58% of the land under water is owned by private persons. Between 26% and 59% of the land on which a watercourse occurs is not designated as land with flowing water, but some land was classified as land with flowing waters even though no flowing waters occur on it. The high statistical significance of the results obtained allows us to conclude that the data contained in the cadastre require extensive efforts to improve their quality.

1 | Introduction

Land registries are maintained worldwide according to the internal regulations of each country. However, due to differences in legislative approaches, there are significant discrepancies between them. These differences are most often derived from the historical development of a country and the resulting political system (Gościński and Kubacki 2021; Aleksic et al. 2010). Although the guidelines for registering information on land property may differ between countries, a reliably managed register in each case enables efficient land management and the maintenance of order in the ownership of property located within each country's borders.

Land registration combined with mapped parcel geometry is referred to in many countries as a real estate cadastre.

Discrepancies in cadastral databases are a multifaceted problem analyzed by researchers worldwide. Roić et al. (2021) point out geometric inconsistencies in the Croatian cadastre due to manual vectorization and, previously, lithography. For this reason, the digitally mapped parcel boundaries overlap or are shifted and include objects not actually located on the parcel. In the cadastre of the Russian Federation, Sinenko et al. (2018) indicate that numerous irregularities related to the incorrect designation of ownership or geometry of land plots are due to errors made during the conversion (transfer) of land registry data to the cadastre, inconsistent methodology (interpretation of legal provisions) or errors made by operators and users in the course of entering and modernizing data in the information system. An extremely undeveloped and unstructured property cadastre is characteristic of South African legal systems. As Downie (2020) points out, the lack

of an assigned title or underreporting of the landowner in a drinking water site (resulting from a lack of publication and sharing of cadastral data with residents) exacerbates the humanitarian crisis over access to water. Also, the condition of the Indonesian cadastre according to Sabekti (2010) was unsatisfactory due to the incompleteness, outdatedness, inaccuracy, and small-scaled based materials. In turn, Kitsakis et al. (2016) note the problems associated with different land ownership due to above-ground and below-ground infrastructure facilities such as watercourses in piped sections.

Establishing the parcels boundaries under flowing surface waters is another difficult issue of concern. In some countries, such as the US state of Massachusetts, parcel boundaries correspond to the geometry of the objects and should change dynamically with it. Through the law constructed in this way, the property boundary, which is defined by the riverbed, always remains in the middle of the river. If the course of the river changes (e.g., due to lateral erosion), a subdivision is made so that the ratio of ownership shares remains constant (McGregor 2020). Because of the vast and mostly uninhabited areas in Australia, a change in the land use of a parcel occupied by flowing water there does not result in any impacts. In contrast, in densely populated countries, for example, in Europe, plot boundaries are delineated by surveyors and their change involves administrative proceedings initiated by re-measurement. Parcel boundaries are therefore permanent regardless of the dynamics of the environment (connected with land use change). As a result, in the Australian cadastre, land parcel boundaries sometimes overlap, while in European countries such as Denmark and the Netherlands there is cooperation to ensure that parcel boundaries are precisely delineated even in a wider space than inside the country (Williamson 2007). The land use register is often linked to the real estate cadastre. The inconsistency of the information of the real estate cadastre with the actual state of the land and unregulated ownership issues have their civil law consequences (Kocur-Bera and Frąszczak 2021). However, the structure of the real estate cadastre and the effects of errors occurring in it depend on the legal system in a given place. As mentioned above, errors in the cadastre are a common problem, but the efficiency of research in this area should be ensured by regionalization. This is due to the fact that the methods and technical assumptions of cadastre-keeping are different in each country. Nevertheless, land registration (regardless of its legal name) is carried out in every country, and some general patterns can be observed, such as the separation of areas covered by water and their nationalization.

In many countries, other databases are maintained within a country's borders. Those concerning the hydrographic network are most often maintained by government administrations. Improving these databases also proves to be a universal issue affecting many countries around the world. There is a need to implement methods to improve the spatial precision of these databases, their update frequency, and compatibility beyond the borders of the national boundaries (Laituri and Sternlieb 2014; Barrat and Otieno 2015; Haener 2018).

This paper validates the possibility of using the real estate cadastre as data to improve the national surface water database. As demonstrated in previous studies, the aforementioned

discrepancy issue concerns, among others, Polish surface water databases (Janczewska et al. 2023a). For this reason and taking into account the availability of data, three districts located in southern Poland were analyzed.

The cadastre in Poland is carried out by the district administration, named *Land and Building Register* (pol. *Ewidencja Gruntów i Budynków*, abbrev. *EGiB*), and its legal basis is the act of 17 May 1989 on geodetic and cartographic law (*Journal of Laws 2023, item 1752, as amended*). Referring to this legal act, the land occupied by a natural watercourse should constitute a separate plot within the boundaries of the shoreline. The legislator emphasizes that this definition applies both to flowing waters in a natural riverbed and in a regulated channel (also piped). If the boundaries of the plot occupied by a natural watercourse do not correspond to the actual width and course of the riverbed, a shoreline should be established in accordance with Article 220 of the Act of 20 July 2017. Water Law (*Journal of Laws 2023, item 1478, as amended*) involves the determination of the boundaries of the watercourse bed according to the clear edge of the bank, the line of permanent grass growth, or the edge of the bank determined according to the average water level over a period of 10 years.

The Ordinance of the Minister of Development of 18 August 2020 on the technical standards for performing geodetic situational and altimetric measurements, as well as developing and transferring the results of such measurements to the state geodetic and cartographic resource (*Journal of Laws 2022, item 1670*) specifies the accuracy of geodetic measurement of the boundary points of cadastral parcels at 0.10 m and of land use contours at 0.50 m.

Referring, in turn, to Article 21a of the *Real Estate Management Act of 21 August 1997* (*Journal of Laws 2024, item 344, as amended*), land covered by inland flowing waters is owned solely by the State and, according to Article 211 (4) of the Water Law Act, it is not subject to civil law transactions. Discrepancies between the matter of fact and the regulations therefore have real legal consequences.

Regardless of plot boundaries, land in the Polish cadastre is classified according to its land use purpose (actual use/development). Land covered by inland flowing waters (Article 22 of the Water Law Act) is designated “Wp” (WP is an abbreviation of “Wody Płynące” which in Polish means “flowing waters”). Its contour is determined by the bank lines of natural watercourses, lakes, and other natural reservoirs or by the outer edges of canals or artificial reservoirs (*Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology of 27 July 2021 on land and building registration—Journal of Laws 2021, item 1390, as amended*). The land classification separately identifies land covered by standing water (Ws, pol. “Wody Stojące”) and land occupied by ditches (W).

Regulations formulated in this way are the basis for stating that the boundaries of plots owned by the State with land use determined as *land under flowing inland waters* (Wp) precisely reflect the course of all flowing waters on the territory of Poland. For this reason, cadastral data should be fully consistent with the national surface water database.

In the case of Poland, the most up-to-date (April 2023) surface water database is the Computer Map of the Hydrographic Division of Poland (MHP) (Janczewska et al. 2022). This map has been drawn since the 1950s at a scale of 1:50 000 and was vectorised in 1994 by the Institute of Meteorology and Water Management and later by the National Water Management Authority. The map was subsequently refined to a scale of 1:10 000 (Afelt et al. 2017; Piórkowski et al. 2013; Barczyńska et al. 2013). It should also be noted that the MHP was the only database used for the development of the [Water Management Plans constituting legal acts](#), (<https://apgw.gov.pl/>, accessed 2.04.2024). This database was also used in the development of strategic documents such as Flood Risk Management Plans and Drought Management Plans. In the Regulation on the Water Management Information System ([Journal of Laws 2020, item 1657](#)), the MHP database is indicated as a reference for providing spatial information on the Polish hydrographic network. The MHP is also used to develop Flood Hazard and Flood Risk Maps, which are strategic documents of the Polish water management system (Przygodzki 2020). The aforementioned aspects allow us to conclude that among the functioning databases, the MHP constitutes the official database on the Polish hydrographic network (Janczewska et al. 2023b).

Because of the above-described condition, the real estate cadastre is a single spatial register of land covered by water in Poland and should be fully consistent with the MHP. However, until now, any validation has not been carried out. In addition, the lack of a water register introduced by law raises the need for its development. The presented state of affairs was the motivation for this study, and its results provide an answer to the question of whether or not the real estate cadastre is a suitable source for developing an official register (database) of surface waters on a national scale. Furthermore, it should be emphasized that although the research was based on the Polish example, the spatial coherence of the real estate cadastre and the official surface water database is desirable for the administration of each country.

2 | Study Area

At the outset, the reason for the choice of study area needs to be explained. The cadastre is maintained under different names in each of the countries of the world, and the greatest discrepancies are generated as a result of the different administrative histories of the area and the high dynamics of changes in natural boundaries, as well as in areas of dense development (where underground and overhead infrastructure is strongly developed). The extent of information contained in the cadastre about land use in different countries depends on the legal regulations in those countries (Matuk 2022). A comparative analysis by Matuk (2021) showed that there are no two countries in the studied group of nine European countries that adopt an identical approach to land use registration. Nevertheless, Matuk (2022) also states that a lot of work has been done around the world to develop a land use classification system. Thus, it seems reasonable to conclude that most countries in the world have a land use database that can be used to support initiatives to improve knowledge of land use

in different countries. For this reason, three districts located within a single country (Poland), whose external boundaries are within a radius of up to 200 km, but whose relief, density and the hydrographic network, land cover and land use, and historical affiliation are completely different, were selected as the study area.

Administratively, Poland is divided into 16 voivodeships, divided into 314 districts (poviats) and 66 cities with poviat rights. Districts comprise 2477 municipalities (as of 1 January 2023 according to Central Statistical Office (2023)). Nowadays, the cadastre is maintained at the district level. The districts selected for analysis are located in southern Poland, in the Silesian Voivodeship (Figure 1). Their general characteristics are presented below:

- Raciborski district—area 543.98 km², population at the end of 2023: 99,974 (stat.gov.pl). Established in 1999, it currently consists of eight municipalities. The southern part of the district forms the border of the Republic of Poland with the Czech Republic. The relief is differentiated—lowland area in the western part of the county and upland areas in the eastern part. Hydrographically, the Racibórz district is situated entirely within the Oder river basin, and its main tributaries located within the district boundaries are the Psina, the Ruda, the Sumina, and the Łęgoń.
- Cieszyński district—area 730.29 km², population at the end of 2023: 175,579 (stat.gov.pl). Established in 1999, the district currently consists of 12 municipalities and borders two countries: Czech Republic and Slovakia. In terms of physico-geography, Cieszyński district is located partly in the Rybnic Plateau (341.15) and the predominant area is located within the boundaries of the Western Carpathians with the Western and Northern Sub-Carpathians. The geomorphology is also varied: in the southern part, it is a mountainous area of the Beskids; the central part is an area located within the foothills basins, while the northern part of the district is an area of plain with the Vistula valley. Aside from the Vistula River and its main tributaries: the Brennica, the Bajerka, and the Knajka; in the southern part, the river Olza (a right-bank tributary of the Oder) flows through the Cieszyński district.
- City of Katowice—a city with poviat (district) rights, the capital of the Silesian Voivodeship and the Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolis. Area 164.73 km², population at the end of 2023: 280,190 (stat.gov.pl). It is the most densely populated district among the three analyzed and is associated with a high level of urbanization. Katowice consists of 22 precincts divided into five groups (downtown, eastern, western, southern, and northern). The majority of Katowice is located in the area of the Katowice Upland (341.13). The city of Katowice was one of the main centers of the Upper Silesian Industrial District; hence, the dominant landscape type is anthropogenic (post-industrial) with numerous artificial water reservoirs. The area is characterized by high seismic activity (related to coal mining) and a poor hydrographic network. The main rivers are the Rawa and the Bolina, flowing through the downtown and northern part of Katowice (part of the Vistula basin), and the Kłodnica with the Ślepotka (part of the Oder basin).

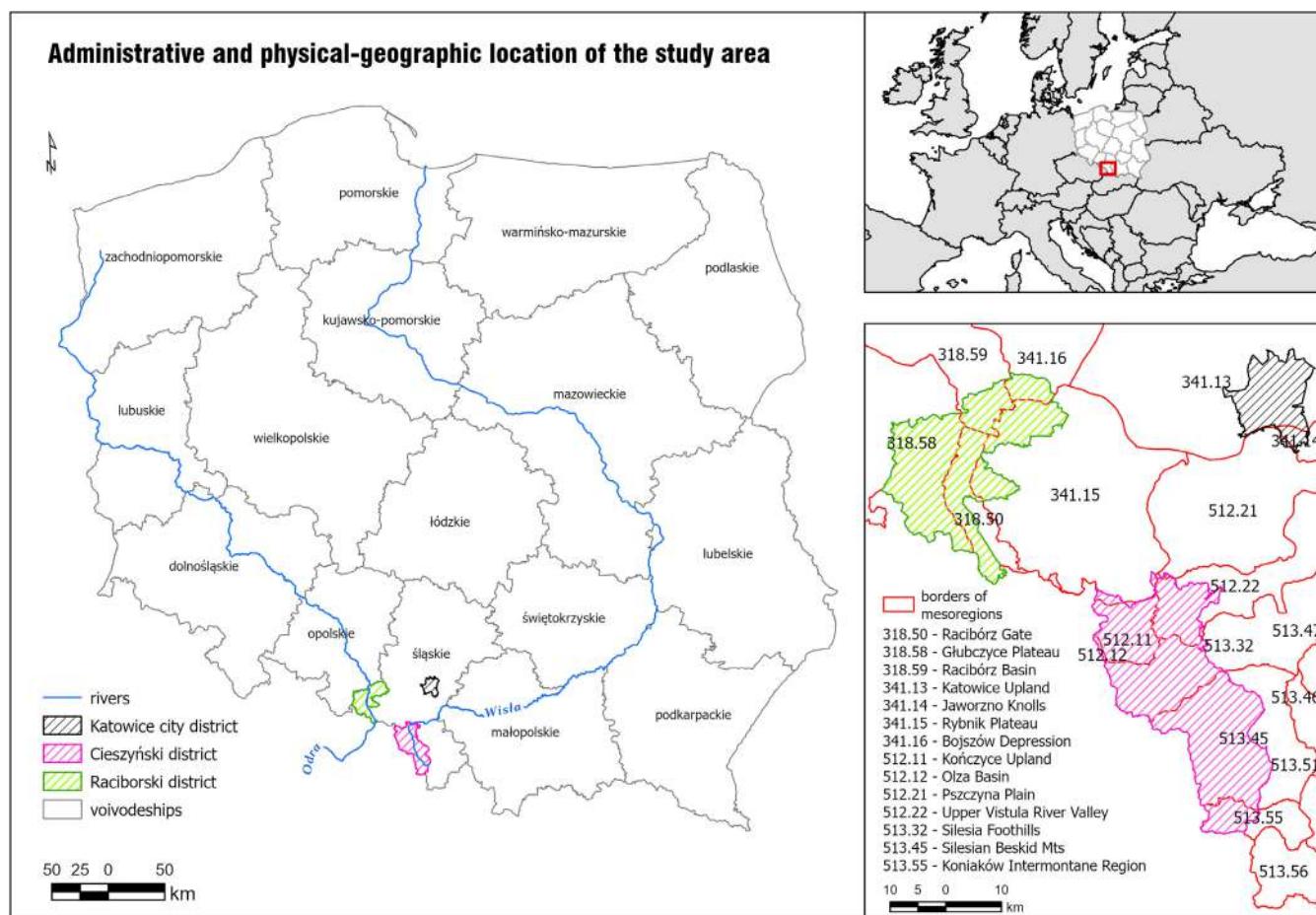


FIGURE 1 | Study area location.

The analyzed area relief includes river valleys, basin areas, highlands, foothills, and uplands. Such diverse terrain elevations determine a different layout of the hydrographic network. The Raciborski district is situated in the Oder River basin, while the majority of the Cieszyński district lies in the Vistula River basin, with its southern part in the Oder River basin. The upper sections of these two longest Polish rivers run through the analyzed districts. Additionally, a first-order watershed (dividing the Oder and Vistula River basins) passes through the Katowice area: the southern part of the city is located in the Vistula River basin, while the northern part is in the Oder River basin (Figure S1).

Over the centuries, the political system prevailing in Poland and the state affiliation of its contemporary areas have undergone changes. As a result, the completeness, coherence, and reliability of the real estate cadastre vary in different regions of the country. The analyzed area was outside the borders of Poland before 1918—mainly within the territory of Prussia, while the southern part of the Cieszyński district was located in the Austrian-Hungarian Monarchy. The differences between the Prussian and Austrian cadastres are reflected in the precision of the current Polish cadastre.

Furthermore, the territorial affiliation to the two partitions has influenced the modern diversity in urbanization and land development. Referring to the data on land cover according to Corine Land Cover (2018), there is a clear dominance of urban

development in Katowice, agricultural areas in Raciborski district, and a high proportion of meadows and forests in Cieszyński district. The significantly lower percentage of water-covered areas in Katowice compared to other districts reflects the poor hydrographic network typical of a watershed area. Each district has numerous post-mining wastelands and industrial areas (related to coal mining and metallurgy), while Cieszyński district is characterized by health resorts and tourist infrastructure (Table 1, Figure S2).

The main reason for choosing the research area was the diversity in hydrography, land use, spatial development, and different historical conditions of cadastre. A case study of the aforementioned districts allows for obtaining representative research results for many regions over the world.

3 | Materials and Methods

3.1 | Data Source

The base cadastral data for research on land use, plot boundaries, and their owners was obtained in June 2022 from the district offices in Racibórz, Cieszyn, and Katowice.

Additional information was acquired in December 2023, including details on plots for which the shoreline had been

TABLE 1 | Land cover and land use structure according to CLC 2018 and cadastre.

	Cadastre data (land use)					CLC 2018 data (land cover)					
	Developed and urbanized land	Agricultural land	Transport areas	Waste lands, miscellaneous areas and ecological sites	Forest	Water	Artificial surfaces	Agricultural areas	Forest and semi natural areas	Wetlands	Water bodies
%											
Cieszyński	12.06	9.14	1.55	0.75	73.64	2.85	15.4	42.5	39.9	0.000133	2.2
Katowice	31.78	9.34	11.81	3.29	43.15	0.61	46.4	6.2	46.5	0	0.9
Raciborski	5.97	54.98	4.35	1.48	32.23	0.98	10.1	60.9	26.9	0	2.1

designated and the period of cadastral modernization in specific areas. During this correspondence, the District Office in Racibórz explained that the incomplete data in the municipalities of Krzanowice, Krzyżanowice, Nędza, Pietrowice Wielkie, and Rudnik was due to an unfinished process of digitizing data (both spatial and descriptive).

Data on land cover were obtained from the website <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> (accessed: 2.04.2024; European Environment Agency 2024) and are vector data created as part of the EEA Corine Land Cover project, current as of 2018.

Data on the hydrographic network (river courses) were derived from the digital Map of Hydrographic Division of Poland at a scale of 1:10,000 (MPHP). These data are part of the Water Management Information System (operating based on the Water Law Act, which governs the principles of Polish water management). The vector form of the data (river_r layer) was provided by the State Water Holding Polish Waters (as of April 2023). The source of the course of ditches was the Database of Topographic Objects (BDOT 10k), obtained from the national geoportal (<https://www.geoportal.gov.pl/>). The course of ditches in each district was represented by the linear layer SWRM_L—melioration ditches (Główny Urząd Geodezji i Kartografii 2014).

This research was divided into three stages—statistical testing, spatial multi-criteria analysis (based on a grid of base hexagons) and cluster analysis. This method of research limited the subjectivity of the analysis because the analysis concerned not only the number of plots (of different areas) but also the land area.

3.2 | Statistical Analyses

Statistical methods were used to compare the number of plots that, according to the cadastre, constitute land covered by water, plots with watercourses, and those owned by the State. Each of the compared values was assigned a value of 1 (present on the plot) or 0 (not present on the plot). The binary form of the compiled data necessitated the use of a non-parametric statistical test. The McNemar test (paired or matched chi-square) was used for analyzing the statistical significance of differences in the studied phenomenon. The test procedure involves accepting the null hypothesis, based on which a distribution of counts is generated. In the next step, this distribution is compared with the observed counts. The resulting contingency table contains the number of samples correctly and incorrectly identified (Kavzoglu 2017).

Referring to the Moore et al. (2013) methodology, in the first step the following hypotheses should be adopted:

- H0: The treatments are identical,
- Ha: The treatments are different.

In the subsequent step, the test probability value (*p* value) is calculated. If this value is lower than the significance level

$\alpha=0.05$, the null hypothesis should be rejected, and the alternative hypothesis should be accepted.

3.3 | Spatial Distribution of the Number of Plots—Cluster Heat Maps

The spatial visualization of the results obtained from the statistical study was carried out using a cluster heat map. This method presents the intensity of a phenomenon based on the spatial distribution of a point layer (Wilkinson and Friendly 2009).

Cluster heat maps were created using Geographic Information System (GIS) tools in ArcGIS Pro 3.2 software. Initially, spatial joins were performed with data related to land use, stream courses, and ditches. Then, using defining queries, plots corresponding to the specified criteria were identified. The selected plots were transformed into a point layer using the Feature to Point tool, and the symbology was changed to represent a cluster map. It is worth mentioning that cluster analysis can also be performed in an analogous way in other software such as MapInfo or even open source software like QGIS, as demonstrated by Folini et al. (2022), who, using the Python language, developed a plug-in for this purpose. The assumptions of the cluster map algorithm are based on the universal method of density and size of the phenomenon; hence, the results are the same regardless of the software used (Ketels 2017).

3.4 | Spatial Distribution of Geometric Differences (Area and Length)—Spatial Multi-Criteria Analysis

The difference in area between the largest and smallest plot in the analyzed area is over 468 ha. To maintain the objectivity of the research, a spatial analysis was conducted on the area occupied by inland flowing waters according to the property registry, owned by the State or by individuals. This analysis was also carried out for the lengths of watercourses running through state-owned lands compared to those running through lands owned by other individuals. The spatial multi-criteria analysis method developed by the authors in previous studies was used for this purpose. This method involves generating a grid of basic fields with uniform surface area and then summing up values within each field. The multi-criteria analysis allows for an objective assessment of the spatial distribution of the intensity of a given phenomenon. Spatial multi-criteria analysis was used previously by authors who used both ArcGIS and MapInfo software for this purpose. In both cases, the results are the same, as the multi-criteria analysis is based on an intensification analysis of the phenomenon in the base field (Janczewska et al. 2023b; Pieron et al. 2024).

GIS tools and ArcGIS Pro software were used for this analysis. Initially, the watercourse and land layers under “Wp” use, owned by the State were clipped. Subsequently, a grid of hexagonal base cells was generated, within which the following were summed up using the “summarize within” tool:

- total area occupied by “Wp” use,
- area occupied by “Wp” use occupied lands owned by the State,

- total length of watercourses according to MPHP 10k.

Using a field calculator, the specified difference was calculated, followed by manual classification of the base fields.

4 | Results

4.1 | Aggregate Analysis

In the first step, the ownership structure and the number of plots with flowing waters were compared collectively (according to the land registry and the MPHP 10k). Despite Katowice having the highest population density, the Cieszyński district has almost twice as many cadastral plots, of which 12.29% are occupied by flowing waters (in the case of Katowice, 3.72% of plots have been designated as “Wp” land use). In the Raciborski district, the number of plots with vectorised geometry is 72,465, of which 6.24% are occupied by flowing waters (Table 2).

In Polish law, in order to regulate the legal status (both the ownership status and the designation of land use consistent with the current state), the process of determining the shoreline must be carried out. The shoreline is determined by the minister responsible for water management and, in accordance with Art. 220 of the Water Law Act, its determination is based on the geodetic division. For this purpose, the surveyor must indicate a clear edge of the bank or a line of natural grass growth or its historical course. It should be noted that, according to data provided by district offices, such a process was carried out after 2018 (the year when Water Law Act came into force) for a maximum of 0.02% of all plots in the district (Table 3).

4.2 | Ownership Structure of Plots With Surface Flowing Water

Flowing water is a public good. For this reason, plots occupied by flowing water in a given country are the property of the State or the entity responsible for their maintenance (Marcouiller 1999). In Poland, land occupied by flowing waters should constitute a separate plot of land owned by the State.

In order to verify the actual ownership of land occupied by flowing waters, the null hypothesis was adopted that the plot of land use indicated as “Wp” (flowing waters) is owned by the State. For each district, the p value was <0.0001 and was lower than the level of statistical significance ($\alpha=0.050$). Therefore, the null hypothesis had to be rejected (Figure 2).

In the Cieszyński district, as many as 13,724 plots with flowing waters (according to the cadastre) are owned by entities other than the State, that is, 71.9% of all plots occupied by flowing waters. In the case of the cadastre of the city of Katowice, the discrepancy between actual ownership and legal regulations is smaller and amounts to 58.56%. In turn, in the Raciborski district, less than half of the plots with “Wp” land use are not owned by the State (46%) (Table 4).

Figure 3 shows the ownership structure of plots where, according to the cadastre, there are flowing waters. In the

TABLE 2 | General information on the number of plots according to given criteria.

District	Total plots amount	Number of plots with “Wp” land use...				Number of plots crossed by watercourse (stream) according to MPHP 10k...				Number of plots with “Wp” land use and intersected by a ditch according to BDOT
		total	...that is owned by State	...that is not owned by State	total	...where land use is indicated as “Wp”	...where land use is not indicated as “Wp”	...that is owned by State	...that is not owned by State	
Cieszyński	155,255	19,086	5362	13,724	6321	4652	1669	2272	4049	2339
Katowice	81,047	3014	1249	1765	1347	1085	262	787	560	288
Raciborski	72,465	4522	2433	2089	1426	713	713	843	583	841

Cieszyński district, only 1/3 of the plots are State property. The overwhelming percentage of plots covered with water are owned by individuals (58% in the Cieszyński district and 33% in Katowice). In Katowice, as many as 26% of plots covered by water are owned by the municipality. Under Polish law, a municipality does not represent the State, which is why this situation also requires regulation. In the Raciborski district, plots with "Wp" land use (46%) are owned by individuals together with legal entities (Figure 3). The data provided by the Raciborski district allows for the division of owners only into these two groups.

In the Cieszyński district, the difference between the area occupied by flowing waters not constituting the property of the State in relation to the share of the entire land covered by flowing water in the basic field is sometimes over 1 ha (Figure 4A,B). In Katowice and the Raciborski district, this difference even exceeds 10 ha within one basic field (Figure 4C-F).

Spatially in the Cieszyński district, the greatest diversity occurs along the Vistula River below the Wisła Czarne reservoir (the spa towns of Wisła, Ustroń, Strumień up to Lake Goczałkowickie located outside the district borders). These discrepancies are significantly smaller within the source area of the Vistula. On the one hand, this situation may be caused by the wide range of flowing waters in the Vistula valley and the lack of current regulation of the legal status along with the dynamically changing extent of the riverbed, which is a characteristic phenomenon for the upper section of the watercourse. On the other hand, a significant area of land under flowing waters does not constitute state property along the Brennica River, a mountainous river in the eastern part of the district. Apart from these dependencies, an incorrect ownership structure occurs sporadically in the Cieszyński district. Considering the number of plots, significantly smaller but more fragmented areas do not constitute the property of the State in the southern part of the district.

A completely different situation occurs in the City of Katowice. The largest differences between land with flowing water constituting and not constituting State property occur within the area of the Leśny Stream (a right tributary of the Rawa in the northern part of Katowice), which is not a river but a facility. These differences are rather the result of incorrect determination of the Leśny Stream's water character. As the name suggests, this stream is located on forest land plots, which have large areas and therefore their number is small. Due to the small fragmentation on the map, the course of the Leśny Stream is not distinguished. It is not possible to identify a place with a dominant number of plots intersected by the "Wp" designation and not constituting the property of the State (the spatial relationship is uniform along second-and third-order streams; the Kłodnica, the Rawa, the Bolina) regardless of the watershed (Figure 4C,D). Similarly to the Cieszyński district, no discrepancies in ownership of land covered by water according to the cadastre were noted in the source areas and along the course of smaller streams. The reason for this is the lack of land designated as "Wp" in the source areas or their location in forested areas, where according to Polish law, plots under forests are owned by the State.

TABLE 3 | Information about plots for which a shoreline has been designated.

District	Total plots amount	Number of plots for which the shoreline has been designated...				
		Total	...where land use is indicated as “Wp”	...where land use is not indicated as “Wp”	... and is intersected by a ditch according to BDOT	 and is intersected by a watercourse according to MPHP
Cieszyński	155,255	16	15	7	1	3
Katowice	81,047	17	17	0	0	12
Raciborski	72,465	3	3	0	1	3

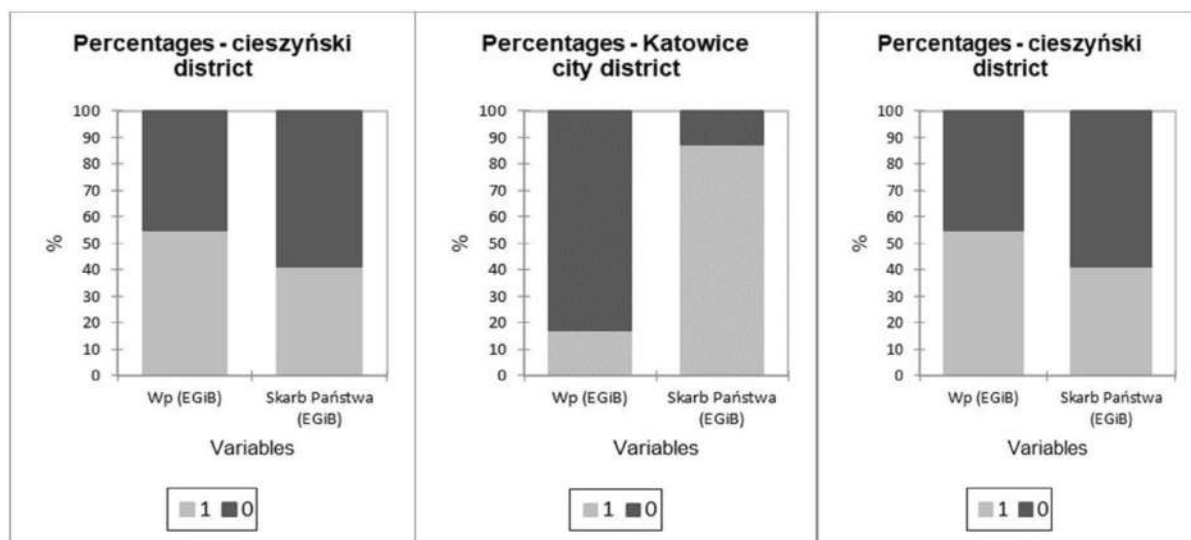


FIGURE 2 | Percentage frequency of values—McNemar’s test.

TABLE 4 | Contingency table – in total for the three analyzed districts.

District		State ownership (cadastre) 1	State ownership (cadastre) 0
Cieszyński	Wp (cadastre) 1	5362	13,724
Katowice		1249	1765
Raciborski		2433	2089

In the Raciborski district, most plots and the largest area of land with flowing waters are not owned by the State and are located along the second largest Polish river—the Oder. The largest number of plots covered with water and not owned by the State are in the northern part of the district, where the network of right-side tributaries of the Oder is denser, and in the south-western part of the district along the Krzanówka stream (Figure 4E,F).

In the next step, it was verified whether the incorrect determination of land use (inconsistent with reality) is the reason for such large discrepancies between the actual ownership of plots that

are covered with flowing waters (according to the cadastre) in each of the analyzed districts.

4.3 | Land Indicated as Water Covered and the Actual Presence of Flowing Water

The designation of land as “Wp” means that it is land covered with inland flowing waters. For this reason, plots with this land use should be crossed by a watercourse. The following null hypothesis was adopted: there is a watercourse in all plots indicated as land occupied by flowing waters (“Wp”). In order to verify this hypothesis, the MPHP 10k (surface water) database was compared. Plots crossed by the stream were selected and compared with plots where “Wp” land use existed.

For each district, the p value was <0.0001 and lower than the level of statistical significance ($\alpha=0.050$). Therefore, the null hypothesis had to be rejected. Attention is drawn to the low value of $z(\text{obs})$ in the case of Katowice, where only 19.5% of plots with “Wp” land use were not occupied by a watercourse according to the MPHP, and to the high value of $z(\text{obs})$ in the case of the Raciborski district, where it was exactly 50% (Figure S3). It should be noted that the difference in values between Katowice and other districts results from the fact that large rivers flow in the Cieszyński and

Ownership structure of plots with assigned „Wp” land use

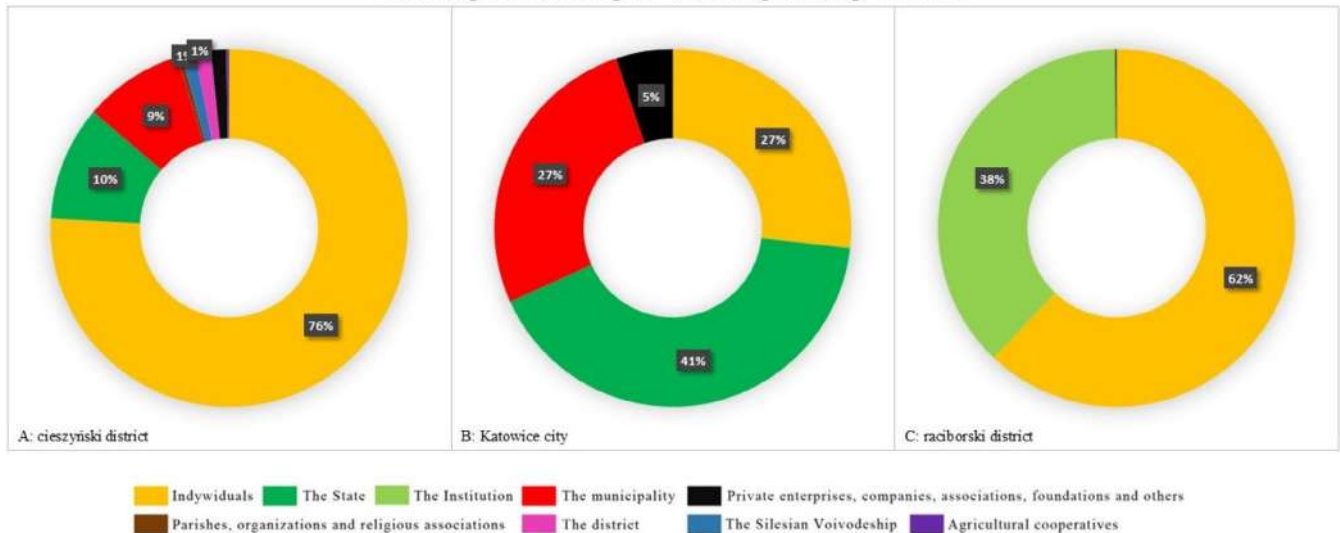


FIGURE 3 | Ownership structure of plots which, according to the cadastre, are covered with flowing waters (and should be owned by the State).

the Raciborski districts (the Vistula and the Oder), whose wide riverbed may cover several plots, and the reference layer of MPHP 10k was a linear layer (not reflecting the width of the river).

In the case of Katowice, in every basic field located under a stream, there is land with flowing water. In the Cieszyński district, land with flowing water is most often not indicated in the source areas of second-order streams (i.e., direct tributaries of rivers flowing into the Baltic Sea, i.e., the Oder and the Vistula, including streams such as the Brennica and the Bajerka) and entirely under lower-order watercourses (e.g., the Pruchnianka, the Bobrówka with its tributaries) (Figures S4 and S5). In Katowice, the largest number of plots crossed by a stream, with no indication of their use as flowing water, occurs in the source section of the Kłodnica River (the area of the “Źródła Kłodnica” nature and landscape complex). Some of these plots also occur in the central section of the Rawa (the mouth of the Leśny Stream and the downtown area) (Figure S5—on the right side of the northern part). In the Cieszyński district, plots with watercourses that are not indicated as land with flowing waters are scattered. It can be noticed that these discrepancies occur both in the areas where cadastre modernization was conducted a long time ago (2000–2011) and in the recently modernized areas (in the period 2018–2022) (Figure S4). The period of cadastre modernization is unrelated to plots in the north-western part of the Raciborski district, where most plots with a watercourse and no “Wp” utility are located within watercourses of the second and third order (Figure S6). It is also worth noting that in the Raciborski district, exactly half of the plots (713 plots) with a watercourse (according to MPHP 10k) have no “Wp” land use.

4.4 | Ownership Structure of Plots With a Watercourse

In the next stage, the ownership structure of plots with a watercourse (according to line layer of MPHP 10k) was examined.

The share of individual ownership is slightly lower than in the case of plots with “Wp” land use (according to the cadastre) (4% lower in the Cieszyński district, 5% smaller in the Raciborski district and 8% smaller in the case of Katowice). At the same time, the share of State ownership of plots covered with water according to the MPHP increased compared to plots covered with water according to the cadastre database (by 5% in the Raciborski district, 8% in the Cieszyński district and by 17% in the case of Katowice) (Figure 5). Such a relationship may indicate that the scope of land for which the “Wp” type of use has been determined is too wide or that the linear MPHP 10 database is more reliable and that the cadastre needs to be improved on its basis.

The spatial distribution of parcels with watercourses (according to MPHP 10) and not owned by the State is completely different from that of land covered by watercourses according to the cadastre. The highest density of such parcels is found in the north-western part of the Cieszyński district, where modernisation of the cadastre took place between 2018 and 2022 (Figure S7). In the case of Katowice, the density of all parcels with watercourses and parcels with watercourses but non-State-owned is clearly dependent on the course of the following watercourses: the Leśny Stream, Matownik, Mleczna, Kaskadnik, Bielawka, or Rów Śmiłkowski. According to MPHP 10, these are 3rd and lower order watercourses, while in other studies, the Matownik and the Kaskadnik are referred to as ditches. Ditches are legally the property of the landowner; hence, the error should be attributed to the MPHP base rather than to unregulated land ownership. Certainly, the flowing water is the Mleczna and the Kłodnica rivers. In the upper section of the Kłodnica, about 50% of the land under the riverbed is non-State-owned. On land covered by watercourses such as the Mleczna, Bolina, and Ślepotka, a significant proportion of the basal fields are recorded as being completely State-owned (Figure S8).

It is likely that Katowice is carrying out an intensified regulation of the legal status, manifested among other things by

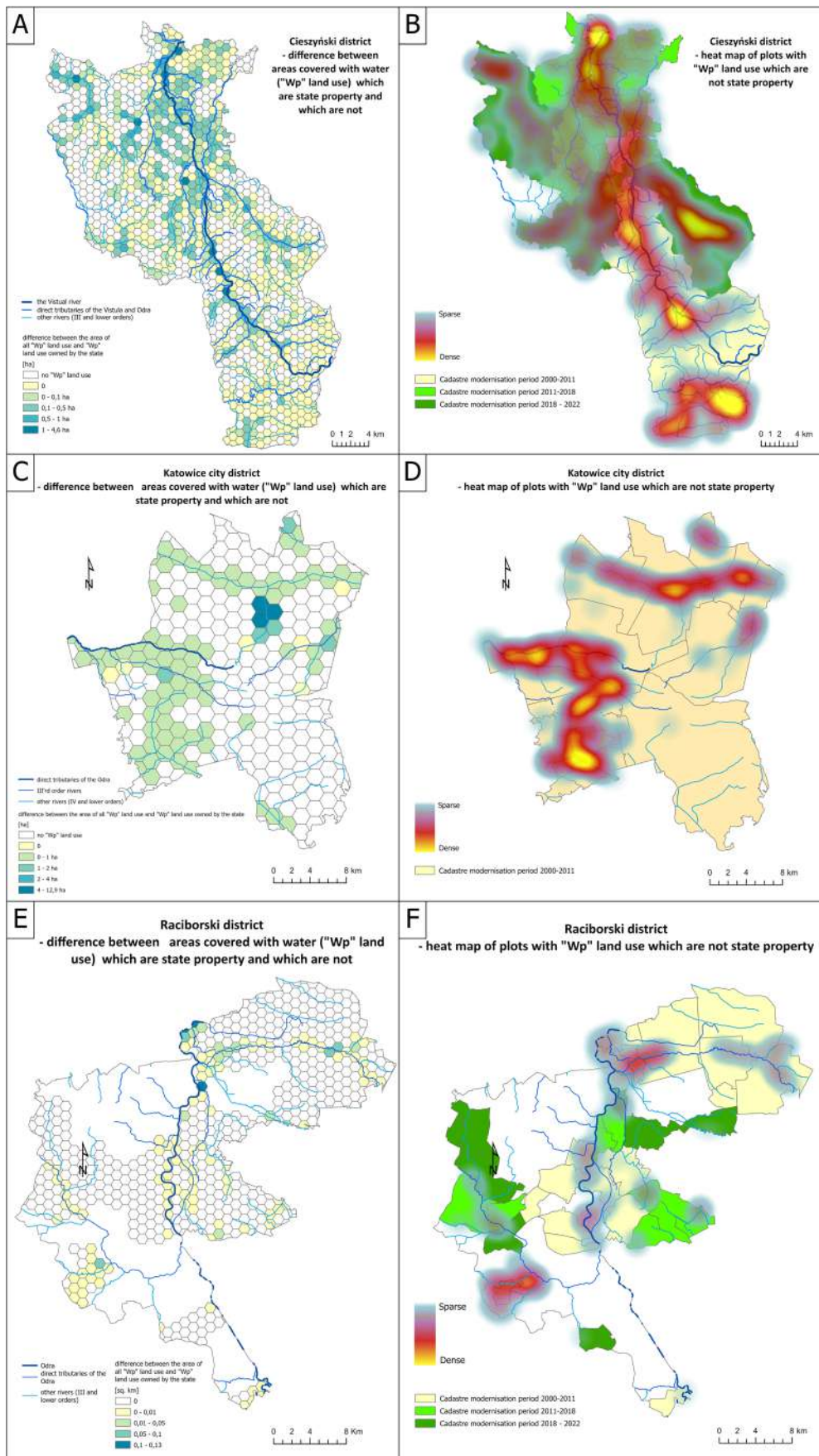


FIGURE 4 | Difference in the share of the base field of all water-covered land versus State-owned water-covered land (A, C, E) and heat cluster analysis of parcels with "Wp" land use but not State-owned (B, D, F).

Ownership structure of land parcels on which a watercourse occurs according to the MPHP

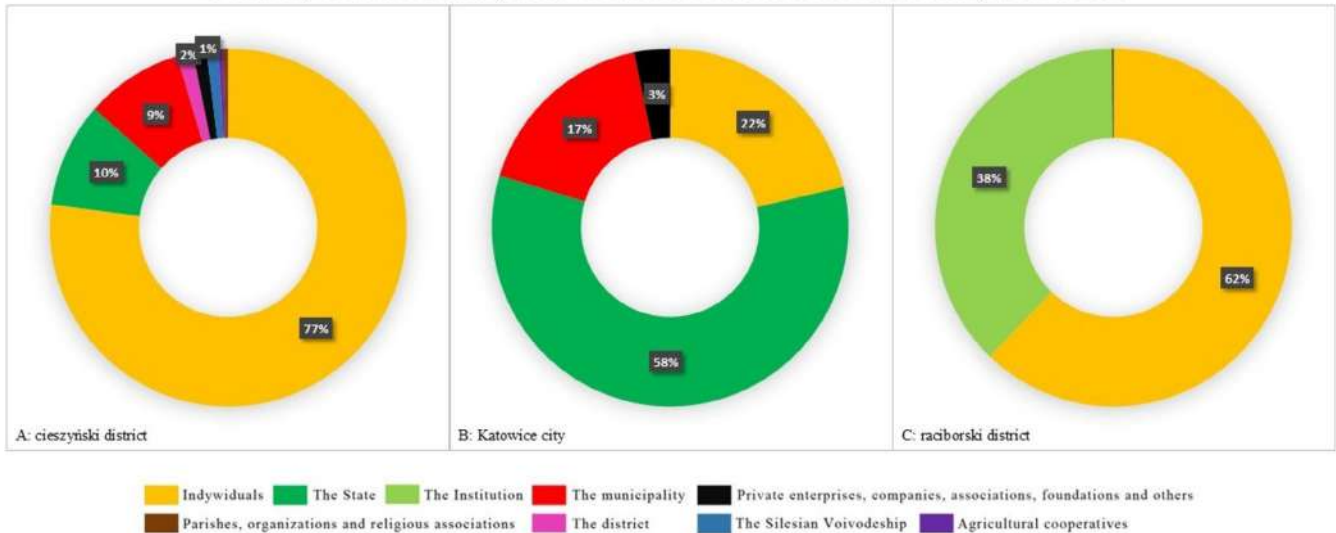


FIGURE 5 | Ownership structure of the parcels where the watercourse occurs according to MPHP 10k (and should be owned by the State).

proceedings to delimit the shoreline of the Klodnica in a section of several kilometers. In the Raciborski district, the parcels through which the Oder flows in the central part of the district, as well as the Ruda (in the north-eastern part of the district) or the Psina (in the western part), and even third- or fourth-order watercourses, are owned exclusively by the State Treasury. The highest percentage of parcels where there is a watercourse and that are not owned by the State is in the south-eastern part of the county, where cadastre modernisation was carried out between 2011 and 2018 (Figure S9).

According to the obtained results, in the Cieszyński district the number of plots constituting both land covered with flowing waters according to the cadastre, State-owned and with a watercourse is 1983 (only 10.4% of all plots covered with flowing waters according to the cadastre). In the case of Katowice, the number of plots with consistent information on the presence of flowing waters and correct legal status is 617 (20.5% of all plots with the “Wp” land use). In the Raciborski district, the number of such plots is 444 (9.8% of plots where, according to the cadastre, there are flowing waters).

The spatial distribution of plots indicated in the cadastre as flowing waters and not crossed by a watercourse (Figures S4–S6) is sometimes similar to the distribution of plots with “Wp” land use that are non-State-owned (Figure 4). This most likely results from the fact that the ground covered with flowing waters was indicated based on linear data about the streams’ courses.

4.5 | Hypothesis of Incorrectly Indicating Ditches

In each of the studied districts, there are areas which are not intersected by any stream but indicated in cadastre as land with flowing waters (Figures S10–S12). According to Polish law, ditches are defining as artificial channels carrying water continuously or periodically, with a bottom width of less than 1.5m at the mouth of the channel (Water Law—Journal of Laws of 2023, item 1478). Therefore, it was hypothesized that

TABLE 5 | Contingency table Wp (cadastre)/BDOT (ditches) – total for the three counties analyzed.

District		Ditch (BDOT) 1	Ditch (BDOT) 0
Cieszyński	Wp (cadastre) 1	2339	16,747
Katowice		288	2726
Raciborski		841	3681

some land under ditches could have been incorrectly classified as land under inland flowing waters. In the Polish cadastre, land under ditches constitutes a separate category of use (symbol “W”). The ditches do not carry flowing water and are the property of the land owner. For this reason, in order to verify the incorrect assignment of “Wp” use to plots with ditches, the BDOT 10k layer with the code SWRM_L (drainage ditches) was also compared. The adopted null hypothesis “all plots under the ditches were indicated as land covered with water” was refuted. However, some of the plots with “Wp” land use are also intersected by ditches, and the share of such plots in each of the analyzed districts was less than 20% (12% in Cieszyński, 10% in Katowice and 19% in Raciborski) (Table 5). In the case of statistical analysis, the distribution of observations was completely different in each of the analyzed districts (Figure 6A–C).

The ditches are located in the north-eastern part of the Cieszyński district (Figure S10), in the south of Katowice (Figure S11) and in the entire area of the Raciborski district (Figure S12). They occur mainly in places where the water areas (“Wp” land use) are small and there are no streams, or there are streams of order I, II, or III. In a large part of the basic fields where “Wp” exists but there is no stream, there is no ditch, especially in Katowice and in the southern part of the Cieszyński district (Figures S10 and S11). In the Raciborski district, within the basic fields where this discrepancy occurs, the network of ditches is not dense (Figure S12). Spatial relations confirm the random occurrence

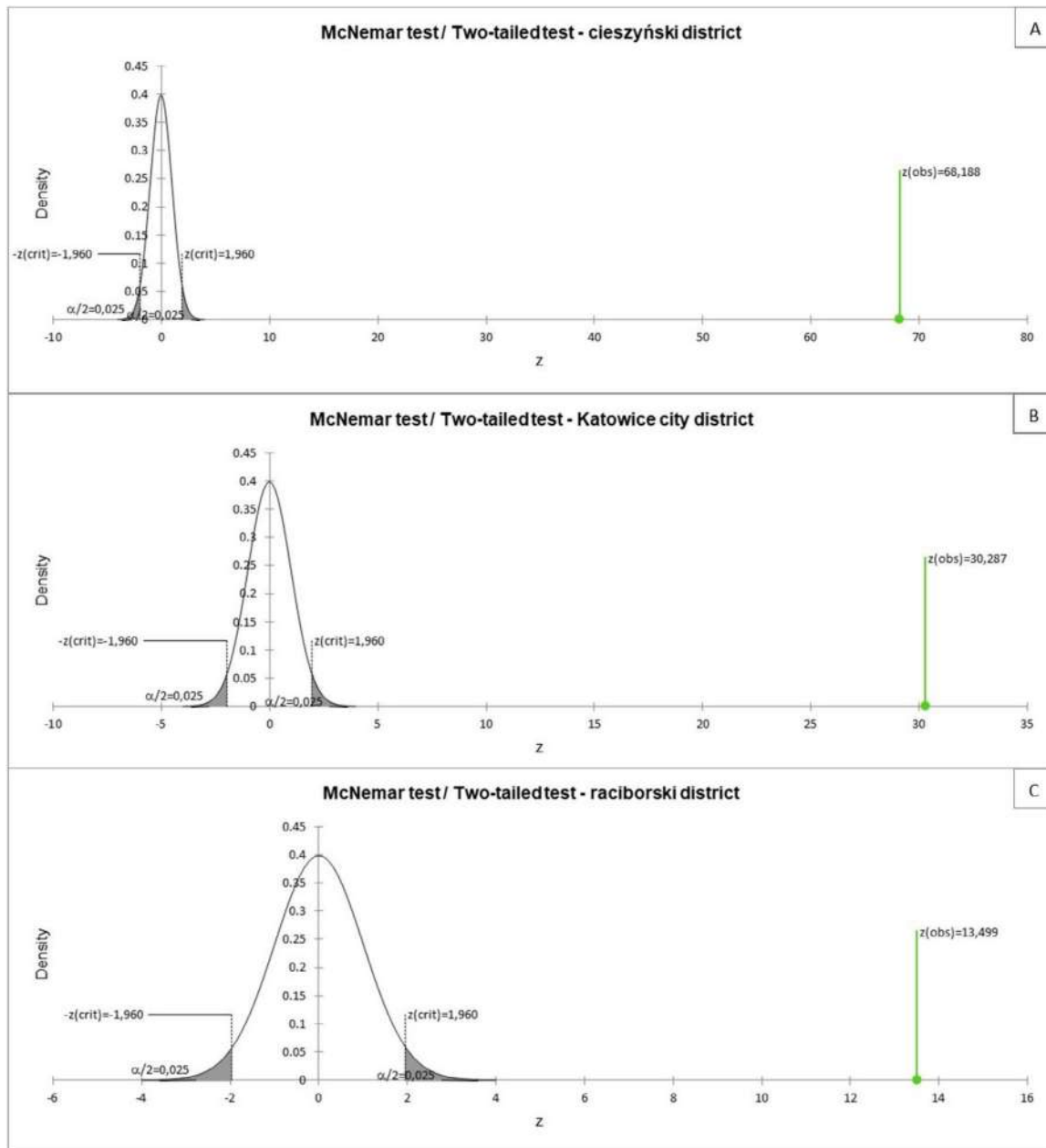


FIGURE 6 | Distribution of observations in the McNemar test in Cieszyński district (A), Katowice city (B) and Raciborski district (C).

of ditches in areas where there are no streams, and plots were indicated as land under flowing water.

5 | Discussion

The real estate cadastre is a universal register kept by the administration offices of various countries all around the world (Enemark 2006). The availability and referencing of cadastral data is a consequence of legislation at the supra-national level (Buško et al. 2022).

An aware user of spatial data knows that each data set is characterized by uncertainty, which is a derivative of errors generated during the entry of data (creation) and their transformation (Li et al. 2018). This regularity also applies to the real estate cadastre.

V. N. Klyushnichenko et al. (2023) emphasize that errors in the cadastre appear during the ongoing registration of changes (e.g., clerical errors), but the numerous existing errors are more problematic. These include, for example, errors related to the vectorisation process (registration in an incorrect coordinate system, topological errors). Another important issue is the resolution and timeliness of the source material based on which a given object is vectorised. The extent of the riverbed will be much more precisely mapped based on a high-resolution orthophoto map (ground pixel resolution (GSD) < 10 cm) than a satellite image, for example, of the Sentinel-2 mission (GSD = 10 m) (Lee et al. 2022). In the case of mapping a water range, the period in which the source material is registered is particularly important, because the water range is completely different during high water than during low water levels (Papa et al. 2009).

As research by the United Nations Economic Commission for Europe (2022) indicates, in as many as 20 countries, vectorization of plot boundaries was not based on geodetic coordinates but was the result of indicative spatial relationships in relation to the topographic map.

In the case of vectorisation based on materials obtained by aerial photogrammetry, a problematic issue is the vectorisation of areas under dense vegetation, for example, the riverbed going through the forest (Grimaldi et al. 2020).

One consequence of the above-described errors is an inconsistency reflected in the spatial range of “Wp” land use where there is no actual watercourse. Our research shows that in each of the analyzed districts, at least 1/5 of the land with watercourse was not classified as land with flowing water. The smallest discrepancies occurred in Katowice, where the share of forest areas was much smaller compared to the Raciborski and Cieszyński districts, while the largest discrepancies occurred in areas covered with dense vegetation.

The most precise mapping is therefore possible by adopting a uniform procedure based on a set of modern methods, such as automatic classification of high-resolution photogrammetric materials, based often on deep learning methods (Lynch et al. 2020).

It should be emphasized that there are numerous methods of remote detection of water extent that can be processed into vector information for the cadastre. This includes the processing of multispectral indices that detect water coverage from other land cover, which are based on aerial or satellite imagery. Examples of such indicators are: WI (Water Index), NDWI (Near Difference Water Index) or AWEI (Automated Water Extraction Index), the effectiveness of which is noted even for water detection based on open satellite data with spatial resolution > 10 m (Sentinel-2, Landsat, MODIS, ASTER platforms) (Janczewska et al. 2025; Albertini et al. 2022; Normandin et al. 2024).

Other ways to automatically acquire water extent information are to use ArcHydro Tools toolkit dedicated to acquiring information about the hydrographic network based on the Digital Terrain Model. Having a point cloud defining only ground points, it is possible to identify with complete precision the terrain depressions—riverbeds. In this case, the automatically generated contours drawing also proves to be helpful (Baye 2020; Crawford 2022; Vidal et al. 2020).

Still, it is important to clarify the water extent in some places (e.g., with dense vegetation) by geodetic measurements and Digital Terrain Models (created from a dense cloud of points obtained by laser scanning).

However, the presented research results confirm the regularity noted by the United Nations Economic Commission for Europe (2022) or Pirimov et al. (2023), that despite the recommendation of using geodetic field measurements to modernize the cadastre (Buško and Apollo 2023), surveyors carrying out this kind of modernization base their work on available digital materials, especially orthophoto maps. Nevertheless, an

interesting approach successfully applying modern tools in the form of the Cadastral triangular model to correctly and accurately indicate the boundaries of cadastral data was demonstrated by Grant et al. (2020).

Another consequence of imprecise vectorisation, failure to maintain topological relations, and incorrect interpretation is the discrepancy of property boundaries. While analyzing cadastral data at the global level, Adlington et al. (2021) on behalf of the English Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) pay attention to the commonness of problems related to updating plot boundaries because these boundaries change over time. The authors mention river erosion as one of the cases and emphasize that in many countries the ownership of real estate changes through adverse possession. In the case of land that should be owned by the State or the institution responsible for national water management, this procedure is not possible. This is also the case in Poland, where a long-term process of establishing the shoreline is required, which results in a very low percentage of plots whose boundaries reflect the course of the riverbed. District Offices have information on up to a dozen or so plots for which a shoreline has been designated (in the case of Katowice, it is 0.6% of all plots with “Wp” land use).

Issues related to the dynamics of changes in the shoreline in relation to the unchanged boundaries of plots within the riverbed have been the subject of research for over a decade (Bieda and Parzych 2012). Since then, the legislator has consistently indicated that the only possibility of regulating the legal status of land bordering riverbeds (establishing the appropriate plot and land use boundaries) is the process of designating the shoreline. The basic documentation is a map of the geodetic division, in which an authorized surveyor indicates where the riverbed boundary is. As Mączyńska and Kwartnik-Pruc (2016) emphasize, regulations in this area are very general, which causes various interpretations of the course of the riverbed. The assessment of the clear border of the shore or the line of permanent grass growth depends on the current state of the biosphere, hydrosphere, and atmosphere at a given time of year. Referring to Polish law, after determining the shoreline, a few administrative decisions need to be issued to complete the process of sorting out the legal status of the plot. The model procedure for regulating the legal status of plots within watercourses is long lasting and requires the cooperation of a wide range of specialists (Bieda et al. 2012).

The above-described phenomenon is confirmed by the low percentage (< 1%) of plots for which a shoreline has been designated, as well as by the research of Kwartnik-Pruc et al. (2022). Using the example of the Bielsko and Końskie districts, the authors proved that the plot boundaries do not completely correspond to the shorelines of, among others, the rivers: Czarna, Czysta, Jasionka, Piszczówka, and Domaczka. However, according to the Ministry Regulation, land with inland surface waters should constitute a separate plot of land.

Klyushnichenko et al. (2023) emphasize that errors made when registering data in the real estate cadastre have a negative impact on the rights of individuals and legal persons. An example is the exclusion from civil law transactions of land that was incorrectly indicated in the cadastre as covered with water. For this reason, ownership relations with respect to land covered by water were also examined.

In each of the analyzed districts, most of the plots with “Wp” land use are not owned by the State along the largest rivers of the first and second order. For these rivers, MPHP is usually consistent with land use. In turn, when analyzing clusters of plots with a non-State-owned watercourse, it can be noticed that these cases concern smaller watercourses (III and lower orders). This relationship proves that while plots clearly occupied by the riverbeds of wide streams are State property, it is difficult to regulate the legal status within the banks of wide riverbeds and in sections of narrow riverbeds. Erosion of banks, especially in the upper sections of streams, is a dynamic process that cannot keep up with both the regulations of property boundaries and changes in ownership status. The research shows that in each of the surveyed districts > 30% of plots covered by water are privately owned. Kwartnik-Pruc et al. (2022) explain this phenomenon by the lack of regulation of ownership issues when dividing or changing property boundaries.

Kitsakis et al. (2016), when analyzing the Swedish, Austrian, Brazilian, Polish, Croatian, and Greek cadastres, note that the owner of the land on the surface and the same land below the surface (where, e.g., water runs in a piped section) is different. Although according to the Polish regulations, the land through which inland flowing waters run should constitute a separate plot of land, in large urban centres, the land through which the piped section of a watercourse runs under its surface is often the property of the owner who uses the land on the surface (e.g., the owner of a building, field or industrial area).

Kocur-Bera and Frąszczak (2021) indicate that the process of updating (modernisation) of the cadastre requires both field measurements and long-term consultations. Our research shows that in 2022 in the Katowice, Cieszyński, and Raciborski districts, a significant part of the land covered by water was incorrectly classified. This appears to be the result of the lack of field verification with the participation of specialists in hydrology, geomorphology, and biology, instead of which small-scale work has been carried out based on available surface water databases (containing numerous errors).

Considering the issue of data sources for the real estate cadastre, Mika et al. (2016) state that the data contained in the water cadastre (currently in the water management information system) should be key data for it, although the data contained in these two databases are not correlated. In 2016, the authors developed a model for implementing water cadastre data into the real estate cadastre (Mika et al. 2016). The current legislator does not provide the data collected in the Water Management Information System as a source data for the real estate cadastre.

When mentioning the incorrect definition of land as land with flowing waters, the correct classification of flowing waters cannot be omitted. As the authors showed in their previous studies (Janczewska et al. 2022, 2023a), some facilities classified, for example, according to the MPHP 10k database, as watercourses are in fact water facilities and do not carry inland flowing waters. Kowalski (2011) points out that in the legal provisions there are differences in defining land covered by water. An example is the land in the north-eastern part of the Raciborski district,

which is actually not state property (or it is land owned by the State but controlled by the State Forests). It can be assumed that water facilities and not natural watercourses run in this place. However, the analysis did not show a clear spatial relationship between the occurrence of ditches (which are linear water devices) in relation to land covered with water where there is no watercourse.

Although the software and quality of data that can be used in the cadastre modernisation process, as well as measurement techniques and methodology, are constantly developing (Kocur-Bera and Frąszczak 2021), the research showed that large discrepancies in each of the districts also occurred in the areas where the modernisation was carried out relatively recently (in 2018–2022). A special case is the Raciborski district, where the real estate cadastre in some districts is based only on analogue maps (where plot boundaries have not been vectorised).

Finally, the considerations on the issue of incorrect designating of land covered by water should include the studies of Kotlarz (2017), Bydłosz and Parzych (2007), Bieda and Parzych (2012), and Mika et al. (2016). The above-mentioned authors deal with the mentioned errors in the real estate cadastre also in relation to other plots, for example, agricultural ones. Challenges related to correct data entry or updating the cadastre in North Macedonia are analyzed in their publication by Shabani and Zejneli (2020). In turn, Buzu et al. (2023) use the example of the real estate cadastre of Moldova to emphasize the importance of its validity and consistency in the context of creating a system compatible with other registers. Therefore, there is no doubt that the challenges related to the development (technical and substantive) of the real estate cadastre are widely studied in global literature. In this publication, the authors draw attention to the fundamental importance of its reliability in the context of land covered by water.

6 | Conclusions

It was found that the data collected in the real estate cadastre contain numerous errors. Each of the examined differences turned out to be statistically significant according to the McNemar test, which allows for the formulation of universal conclusions for each district:

- not every area indicated in the cadastre as land with inland flowing water (“Wp” land use) actually contains this water,
- not every area through which the watercourse actually flows has been indicated as land with inland flowing waters (“Wp” land use)
- not every plot of land with flowing inland waters (watercourse or “Wp” land use) is owned by the State, and over 30% of such plots are owned by individuals, which is inconsistent with the provisions of Polish law.

The spatial analysis showed that:

- irregularities regarding ownership issues and land use also occur in areas where cadastre modernization had been carried out recently (in 2018–2022),

- among the analyzed districts, the smallest discrepancies occurred in Katowice—in the area of dense development and the poorest hydrography, where cadastre modernization took place in the years 2001–2011. This is also the district with the smallest area among those studied, where a shoreline was designated at the largest number of plots. The key issue reducing discrepancies in cadastre is therefore the detection of plots and areas requiring regulation and ongoing legal and administrative actions.
- the State owns many more plots with watercourses (referring to the MPHP database) in relation to the number of plots with flowing water according to cadastre (“Wp” land use). Such a relationship proves the incorrect designation of areas where there are no inland flowing water (there is water in a ditch or other water facility).
- incorrect designation of land with the ditches as land with flowing water (“Wp” land use) is not the main cause of the discrepancies,
- on most plots requiring regulation of ownership issues, narrow riverbeds are located (third-order and lower-order streams); the plots inside the wide riverbeds (Oder, Vistula rivers) are mainly owned by the State.
- on large rivers, most plots with unregulated legal status and an incorrectly established range of flowing water occur within the external borders of the riverbed. Regulation of the legal status and updating of the cadastre is carried out inconsistently and does not keep up with dynamic changes in the range of riverbeds (which is typical for the upper sections of rivers),
- in each district, many lands occurring at the source sections of watercourses have not been indicated as land with inland flowing waters (in the river’s source areas, most plots are not state property).

The number and scope of detected irregularities allow us to conclude that real estate cadastre data cannot constitute the basis for creating other registers or databases, such as a spatial surface water database. The cadastre regarding land covered by water may therefore constitute supporting material in the process of updating surface water databases, but it cannot be a reference source of information.

Based on the obtained results, as well as on the literature review, the authors recommend that:

- the cadastre modernisation process should be followed by the models proposed in the literature (e.g., Lee et al. 2022; Buśko and Apollo 2023; Mika et al. 2016; Kocur-Bera and Frąszczak 2021; Buzu et al. 2023) – based on high-resolution and up-to-date photogrammetric materials and laser scanning products, based on verification and field measurements,
- the method of determining the shoreline should be clarified and the process of its determination should be automated (e.g., as part of modernisation works)
- field measurements should be used mainly during the determination of the extent of land covered by flowing water in source areas.

- solutions for the efficient management of the real estate cadastre operating in other countries (e.g., movable plot boundaries with changes in the river course) or a modification of the existing methodology should be considered, for example, through the designation of additional land use including floodplains and the assumption that the state property should also include plots running at a distance of 1.5 m from the riverbed (a value which limits the possibility of development in areas adjacent to the riverbed),
- legislative actions should be taken to accelerate the process of regulating the legal (ownership) status of plots with flowing inland waters.

The case study in this research covers areas with diverse topography, hydrographic situation, land cover, and land use. For this reason, both the methodology used and the results obtained can be transferred to other areas in the world where there are similar problems of real estate cadastre discrepancies. Regardless of the location and administrative organization, the data contained in the real estate cadastre contain so many inconsistencies that they cannot constitute the basis for related databases, for example, surface water database. As shown, the issue of correct determination of land covered by water (in accordance with the legal definition) and regulation of ownership issues in the cadastre requires the development of a uniform methodology and the indication of reference materials in the process of its modernization. For this purpose, it is necessary to undertake further research and implementation work.

Acknowledgments

The authors thank Racibórz, Cieszyn, and Katowice districts authorities and Marcin Jarzyński—Director of the Regional Water Management Authority in Gliwice for—help in collecting data. The authors thank also Thomas Riley (BA Hons English Literature, University of Central Lancashire) for improving the language quality of this manuscript.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Data Availability Statement

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

References

- Adlington, G., T. Lamb, R. McLaren, and R. Tonchovska. 2021. *Insights Into Real Estate Registration and Cadastre*. Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS).
- Afelt, A., J. Chormański, A. Bolibok, et al. 2017. *Podręcznik Dla Uczestników Szkolenia Wykorzystanie Kartograficznych Opracowań Tematycznych w Postaci Cyfrowych Map Hydrograficznych Opracowanych w Ramach Projektu enviDMS (En. Handbook for Participants of Training on the Use of Cartographic Thematic Materials in the Form of Digital Hydrographic Maps Developed as Part of the enviDMS Project)*, 182. Główny Urząd Geodezji i Kartografii.
- Albertini, C., A. Gioia, V. Iacobellis, and S. Manfreda. 2022. “Detection of Surface Water and Floods With Multispectral Satellites.” *Remote Sensing* 14, no. 23: 6005. <https://doi.org/10.3390/rs14236005>.

- Aleksic, I. R., O. R. Odalovic, and D. M. Blagojevic. 2010. "State Survey and Real Estate Cadastre in Serbia Development and Maintenance Strategy." *Survey Review* 42: 388–396. <https://doi.org/10.1179/003962610X12747001420663>.
- Barczyńska, M., J. Borzuchowski, D. Kubacka, et al. 2013. "Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w Skali 1:10 000 – Nowe Hydrograficzne Dane Referencyjne (En. Map of the Hydrographic Division of Poland in the Scale of 1:10,000 – New Hydrographic Reference Data)." *Roczniki Geomatyki* XI, 3, no. 60: 15–28.
- Barrat, G., and A. O. Otieno. 2015. "Validity and Errors in Water Quality Data — A Review." In *Research and Practices in Water Quality*, edited by T. S. Lee, 95–112. IntechOpen Limited. <https://doi.org/10.5772/59059>.
- Baye, M. 2020. "Watershed Delineation by Arc Hydro Tools." *International Journal of Scientific Research* 9, no. 5: 1105–1110. <https://doi.org/10.21275/SR20516144818>.
- Bieda, A., P. Hanus, and P. Parzych. 2012. "The Problems of Establishing Cadastral Boundaries in River Erosion and Accumulation Area, According to the Polish Law." Conference: FIG Working Week. Rome, Italy, 6–12 May 2012.
- Bieda, A., and P. Parzych. 2012. "Wpływ Zmian Linii Brzegowych na Konfigurację Granic Ewidencyjnych." *Studia i Materiały Towarzystwa Naukowego Nieruchomości* 20, no. 4: 67–76.
- Buško, M., and M. Apollo. 2023. "Public Administration and Landowners Facing Real Estate Cadastre Modernization: A Win-Lose or Win-Win Situation?" *Resources* 12, no. 6: 73. <https://doi.org/10.3390/resources12060073>.
- Buško, M., J. Zyga, L. Hudecová, P. Kyseľ, M. Balawejder, and M. Apollo. 2022. "Active Collection of Data in the Real Estate Cadastre in Systems With a Different Pedigree and a Different Way of Building Development: Learning From Poland and Slovakia." *Sustainability* 14: 15046. <https://doi.org/10.3390/su142215046>.
- Buzu, O., V. Gutu, and D. Gutu. 2023. "Real Estate Cadastre in the Republic of Moldova: Current Status and Prospects (An Interdisciplinary Study)." *Studii Juridice Universitare* 346: 197–237. <https://doi.org/10.54481/sju.2022.2.16>.
- Bydłoz, J., and P. Parzych. 2007. The Cadastral Data Exchange Standards in Poland FIG Working Week 2007: Strategic Integration of Surveying Services, 12–17 May 2007, Hong Kong SAR, China.
- Central Statistical Office. Accessed December 12, 2023. 2023. <https://stat.gov.pl/>.
- Crawford, C. 2022. *Hydro-Flattening of River Shorelines in LiDAR-Based DEM Production*. ESRI, ArcGISBlog. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/3d-gis/hydro-flattening-of-river-shorelines-in-lidar-based-dem-production/>.
- Downie, L. 2020. "Cadastral Mapping of Water as an Individualised Human Right 'Water, Water, Everywhere, nor Any Drop to Drink'." FIG Working Week, 2020 Smart surveyors for land and water Management Amsterdam, the Netherlands, 10–14 May 2020.
- Enemark, S. 2006. "A Cadastral Tale." *Análisis Geográficos* 30: 147–159.
- European Environment Agency. "CORINE Land Cover Nomenclature Illustrated Guide." Accessed April 2, 2024. 2024. <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/Nomenclature.pdf>.
- Folini, A., E. Lenzi, and C. A. Biraghi. 2022. "Cluster Analysis: A Comprehensive and Versatile Qgis Plugin for Pattern Recognition in Geospatial Data." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XLVIII-4/W1-2022: 151–157. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W1-2022-151-2022>.
- Główny Urząd Geodezji i Kartografii. 2014. "Baza Danych Obiektów Topograficznych. Zeszyt Ćwiczeń dla Służby Geodezyjnej i Kartograficznej. Kraków, SmallGIS Sp. z o.o."
- Gościński, J., and A. D. Kubacki. 2021. "Land Registration Concepts in Translation." *International Journal for the Semiotics of Law* 34: 1451–1482. <https://doi.org/10.1007/s11196-020-09800-y>.
- Grant, D., S. Enemark, J. Zevenbergen, D. Mitchell, and G. McCamley. 2020. "The Cadastral Triangular Model." *Land Use Policy* 97: 104758. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104758>.
- Grimaldi, S., J. Xu, Y. Li, V. R. N. Pauwels, and J. P. Walker. 2020. "Flood Mapping Under Vegetation Using Single SAR Acquisitions." *Remote Sensing of Environment* 237: 111582. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111582>.
- Haener, P. 2018. *The Handbook on Water Information Systems. Administration, Processing and Exploitation of Water-Related Data*, 116. International Network of Basin Organizations. UNESCO Water.
- Janczewska, N., D. Absalon, and M. Matysik. 2022. "Assessment of Discrepancies Between Spatial Databases of Surface Waters in the Context of Water Management in Poland." In *Współczesne Problemy Gospodarowania Zasobami Wodnymi. Monografie*, edited by B. Węzik, vol. 45, 85–96. Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk.
- Janczewska, N., M. Matysik, and D. Absalon. 2023a. "Verification of the Consistency of Surface Water Spatial Databases and Their Importance for Water Management in Poland." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 49: 101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>.
- Janczewska, N., M. Matysik, D. Absalon, M. Jarzyński, and Ł. Pieron. 2025. "Use of Spatial Water Database as an Essential Element of Water Management – A Methodological Overview." *Environmental & Socio-Economic Studies* 13, no. 1: 53–62. <https://doi.org/10.2478/envir-on-2025-0005>.
- Janczewska, N., M. Matysik, D. Absalon, and Ł. Pieron. 2023b. "Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study." *Remote Sensing* 15: 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356>.
- Kavzoglu, T. 2017. "Object-Oriented Random Forest for High Resolution Land Cover Mapping Using Quickbird-2 Imagery." In *Handbook of Neural Computation*, edited by P. Samui, S. S. Roy, and V. E. Balas. Elsevier.
- Ketels, C. 2017. *Cluster Mapping as a Tool for Development*. Vol. 52. Institute for Strategy and Competitiveness, Harvard Business School.
- Kitsakis, D., J. M. Paasch, J. Paulsson, et al. 2016. "3D Real Property Legal Concepts and Cadastre: A Comparative Study of Selected Countries to Propose a Way Forward." In *5th International Workshop on 3D Cadastres*, edited by P. Oosterom, E. Dimopoulou, and E. Fendel, 1–28. International Federation of Surveyors.
- Klyushnichenko, V. N., A. V. Dubrovsky, and I. N. Evsyukova. 2023. "Register Errors and Their Impact on Cadastral System Efficiency." *Vestnik SSUGT* 28, no. 1: 116–124. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-1-116-124>.
- Kocur-Bera, K., and H. Frąszczak. 2021. "Coherence of Cadastral Data in Land Management—A Case Study of Rural Areas in Poland." *Land* 10, no. 4: 399. <https://doi.org/10.3390/land10040399>.
- Kotlarz, P. 2017. "Analysis of the Influence of the Quality of Cadastral Data on the Process of Surveying Works in Poland." Geographic Information Systems Conference and Exhibition "GIS ODYSSEY 2017", 4th to 8th of September 2017, Trento – Vattaro, Italy. Conference proceedings. 196–202.
- Kowalski, K. 2011. *Grunty Pokryte Wodami Płynącymi w Ewidencji Gruntów*. Grunt i Woda.pl.
- Kwartnik-Pruc, A., A. Mączyńska, and B. Gabryś. 2022. "The Problem of the Undetermined Legal Status of Land Under Flowing. Poland – A Case Study." *Geomatics and Environmental Engineering* 16, no. 2: 177–196. <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.2.177>.
- Laituri, M., and F. Sternlieb. 2014. "Water Data Systems: Science, Practice, and Policy." *Journal of Contemporary Water Research & Education* 153: 1–3. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2014.03174.x>.

- Lee, Y., J. Son, and T. Kim. 2022. "Determination of Optimal Ground Sampling Distance for Matching GCP and Satellite Images." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XLIII-B1-2022: 287–292. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-287-2022>.
- Li, L., H. Ban, S. P. Wechsler, and B. Xu. 2018. "Spatial Data Uncertainty." In *Comprehensive Geographic Information Systems*, edited by B. Huang. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09610-X>.
- Lynch, P., L. Blesius, and E. Hines. 2020. "Classification of Urban Area Using Multispectral Indices for Urban Planning." *Remote Sensing* 12, no. 15: 2503. <https://doi.org/10.3390/rs12152503>.
- Mączyńska, A., and A. Kwartnik-Pruc. 2016. "The Problem of Diversification of Administrative Proceedings to Determine a Shoreline." *Infrastructure and Ecology of Rural Areas* II, no. 1: 233–245.
- Marcouiller, D. 1999. "Water as a Public Good: Property Rights." *Water Issues in Winsconsin* 3: 1–3.
- Matuk, O. 2021. "A Comparison of Land Use Classifications in Urbanized Areas in Selected European Countries." *Geomatics and Environmental Engineering* 15, no. 2: 59–66. <https://doi.org/10.7494/geom.2021.15.2.59>.
- Matuk, O. 2022. "Quantitative Analysis of Land Use Classification in Agricultural and Forest Areas." *Geomatics and Environmental Engineering* 16, no. 4: 59–77. <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.4.59>.
- McGregor, G. I. 2020. *Boundaries in Massachusetts Property, Land Use, and Environmental Law, Where They Are, and How They Change*, 32. Real Estate Bar Association for the Massachusetts.
- Mika, M., M. Siejka, P. Leń, and Ż. Król. 2016. "The Concept of Using the Water Cadastre Databases Components for the Construction of Multi-Dimensional Cadastre in Poland." *Survey Review* 50, no. 360: 201–211. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1263180>.
- Moore, D. S., W. I. Notz, and M. A. Flinger. 2013. *The Basic Practice of Statistics* (6th ed). W. H. Freeman and Company.
- Normandin, C., F. Frappart, L. Bourrel, et al. 2024. "Quantification of Surface Water Extent and Volume in the Inner Niger Delta (IND) Over 2000–2022 Using Multispectral Imagery and Radar Altimetry." *Geocarto International* 39, no. 1: 2311203. <https://doi.org/10.1080/10106049.2024.2311203>.
- Papa, F., A. Güntner, F. Frappart, C. Prigent, and W. B. Rossow. 2009. "Variations of Surface Water Extent and Water Storage in Large River Basins: A Comparison of Different Global Data Sources." *Geophysical Research Letters* 35, no. 11. <https://doi.org/10.1029/2008GL033857>.
- Pieron, Ł., D. Absalon, and M. Matysik. 2024. "Multi-Criteria Assessment of Factors Affecting the Reduction of Retention Capacity of Dam Reservoirs." *Elementa: Science of the Anthropocene* 12, no. 1: 69. <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00069>.
- Piorkowski, P., T. Walczykiewicz, M. Barszczyńska, M. Olszar, and J. Borzuchowski. 2013. Mapa Podziału Hydrograficznego Polski w Skali 1:10,000 (en. Map of the Hydrographic Division of Poland in the Scale of 1:10,000) Krakowskie Spotkania z INSPIRE, Kraków, 16-17 maja 2013 r. https://www.isok.gov.pl/dane/web_articles_files/2168/mapa-podzialu-hydrograficznego-polski-mphp10-piotr-piorkowski.pdf.
- Pirimov, J., E. Safarov, I. Abdullaev, and N. Abdullaeva. 2023. "Application of Orthophotomaps in Land Cadastre." *E3S Web of Conferences* 386: 5008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338605008>.
- Przygodzki, P. 2020. "Zakres Opracowania Map Zagrożenia Powodziowego (MZP) i Map Rzyzka Powodziowego (MRP) w Ramach II Cyklu Planistycznego (en. The Scope of Developing Flood Hazard Maps (MZP) and Flood Risk Maps (MRP) as Part of the 2nd Planning Cycle)." In *Współczesne Problemy Gospodarki Wodnej w Kontekście Zagospodarowania Przestrzennego* (en. *Contemporary Problems of Water Management in the Context of Spatial Development*), edited by T. Walczykiewicz, 89–100. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej.
- Regulation of the Minister of Development, Labour and Technology of 27 July 2021 on Land and Building Registration. "Journal of Laws 2021, Item 1390, as Amended."
- Regulation of the Minister of Maritime Economy and Inland Navigation of September 10, 2020 on the Scope of Information from the Water Management Information System Subject to Disclosure Under the Conditions specified in Art. 333 Section 1 of the Act of July 20, 2017 – Water Law, the Method of Making them Available and Re-Using them and the Amount of Fees for their Preparation and Making them Available. "Journal of Laws 2020, Item 1657."
- Roić, M., J. Križanović, and D. Pivac. 2021. "An Approach to Resolve Inconsistencies of Data in the Cadastre." *Land* 10, no. 1: 70. <https://doi.org/10.3390/land10010070>.
- Sabekti, W. S. 2010. *A Conversion Strategy to Improve the Quality of Cadastral Map and to Support the Registration Process: Indonesian Case*, 71. Faculty of Geo-information Science and Earth Observation, University of Twente.
- Shabani, F., and J. Zejneli. 2020. "Challenges and Trends of the Republic of North Macedonia for Efficient and Effective Cadastral System of Real Estate." *JUSTICIA – International Journal of Legal Sciences* 13-14: 76–83.
- Sinenko, V. A., A. N. Volnova, M. V. Pichuzhkina, and T. I. Shiyapov. 2018. "Analysis of Errors Identified in the Implementation and Management of the Real Estate Cadastre." *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries* 13, no. 2: 121–130. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-2-121-130>.
- The Act of 17 May 1989 on Geodetic and Cartographic Law. "Journal of Laws 2023, Item 1752, as Amended."
- The Act of 20 July 2017 Water Law. "Journal of Laws 2023, Item 1478, as Amended."
- The Ordinance of the Minister of Development of 18 August 2020 on the Technical Standards for Performing Geodetic Situational and Altimetric Measurements, as Well as Developing and Transferring the Results of Such Measurements to the State Geodetic and Cartographic Resource. "Journal of Laws 2022, Item 1670."
- The Real Estate Management Act of 21 August 1997. "Journal of Laws 2024, Item 344, as Amended."
- The Water Management Plans legal Acts. Accessed April 2, 2024. <https://apgw.gov.pl/pl/III-cykl-informacje-ogolne>.
- United Nations Economic Commission for Europe Committee on Human Settlements Working Party on Land Administration. 2022. "Study on Key Aspects of Land Registration and Cadastral Legislation. HM Land Registry." <https://unece.org/>.
- Vidal, M., L. Díaz-Vilariño, P. Arias, and J. Balado. 2020. "Barrier and Guardrail Extraction and Classification From Point Clouds." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XLIII-B5-2020: 157–162. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B5-2020-157-2020>.
- Wilkinson, L., and M. Friendly. 2009. "The History of the Cluster Heat Map." *American Statistician* 63, no. 2: 179–184. <https://doi.org/10.1198/tas.2009.0033>.
- Williamson, I. 2007. *Global Challenges for Land Administration and Sustainable Development*. Lincoln Institute of Land Policy.

Supporting Information

Additional supporting information can be found online in the Supporting Information section.



A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features

Natalia Janczewska^{1,2,3,4} · Magdalena Matysik^{1,3} · Damian Absalon^{1,3} · Andrzej Woźnica^{3,5} · Marcin Lipowczan^{3,5} · Łukasz Pieron^{6,10} · Barbara Kalinowska-Wójcik⁷ · Wanda Jarosz⁸ · Witold Mandrysz⁹ · Magdalena Biela^{2,5} · Edyta Sierka^{3,5}

Received: 31 December 2024 / Accepted: 15 July 2025
© The Author(s) 2025

Abstract

In the digital age, spatial databases are the main source of information on the hydrographic network. However, the main challenge remains the need for frequent updates alongside the accurate presentation of current and potential coverage. Modern geo-information tools based on the processing of remotely sensed materials allow precise modeling of places where reservoirs historically occurred or are predisposed to form. The restoration of reservoirs is significant in the context of flood protection, the improvement of retention conditions, and the development of blue-green infrastructure. It is also much more economically viable than preparing sites for new construction. The missing element in the systematic use of the aforementioned materials and tools for these purposes is methodology. For this reason, in this article, based on images and a point cloud acquired during a photogrammetric aerial flight, five methods are tested, and the most effective method is identified, depending on the intended application.

Keywords Lakes · Rivers · Remote sensing · LiDAR · NDWI · Pixel classification

1 Introduction

The ranges of hydrographic networks are changing dynamically. Particularly rapid changes are observed in the extent and/or course of natural linear objects (Stachowicz et al. 2024). In addition to erosive processes (especially lateral erosion), the exit of mountain riverbeds during periods of high flow could be another cause (Hajdukiewicz et al. 2024). Surface facilities (mainly reservoirs) also experience shoreline change due to bank erosion, but the process is much slower compared to linear facilities (Sheng et al. 2016). Artificial water facilities, such as canals and ponds, are the most stable in extent. Such facilities are often modified or completely removed by human decision (Black 2022). The main objective of

Extended author information available on the last page of the article

the presented research is to identify the optimal method for presenting the accurate extent of all inland waters, including natural watercourses, lakes and water facilities.

Nowadays, brand new challenges in water management are emerging. Water is a key element of blue-green infrastructure (abbrev. BGI) (Szostak 2020). The importance of the natural hydrographic network in shaping microclimatic conditions is undeniable, as is the ecosystem role of rivers and lakes (Wang and He 2022). However, water facilities play a no less important role for water management. Water reservoirs, for example, can be crucial elements in flood protection and enhancing water retention (Pieron et al. 2021, 2024). Under conditions of a changing climate, there is a growing need to take measures to improve retention - both small and especially large reservoir retention (Ehsani et al. 2017; Sun et al. 2023). The design (including finding suitable land and adjusting it by e.g. displacement) as well as the construction of the reservoir itself is much more costly than its restoration (Wita et al. 2024). It is impossible to carry out effective water management and meet the above challenges without accurate knowledge of the extent of the hydrographic network (Janczewska et al. 2023).

Keeping information on the extent of the hydrographic network up-to-date is a major challenge, which can be met using modern methods of remote water detection, mainly multispectral and radar imaging, the product of which can be a Digital Terrain Model or a Digital Elevation Model (Özelkan 2020; Mandlbürger 2022; Mărgărint et al. 2021). Nowadays, in place of manual drawing of hydrographic data, remote sensing opens up the possibility for a fast and near-real time detection. The biggest advantage of remote sensing methods is the rapid and automatic detection of objects characterized by a given reflective property, such as water, which are best detected in the near-infrared (NIR) band 700–900 nm (Ahn and Young-Je 2020). This relationship was used by Valjarević (2024), who generated information about the hydrographic network in Serbia based on raster remote sensing data processed by geosciences methods using the Stahler method. However, the key aspect is not so much the acquisition of photogrammetric data, but the proper preparation for this process and then the selection of methods (Pargieła 2023). Preparation for the aerial survey consists of: choosing the right vessel and installing at the right angle, stabilizing and calibrating registers and survey equipment (including, among others, GPS) (Hanuš et al. 2023; Yao et al. 2019). The survey flight should take place under noise-reducing conditions (constant lighting, no shading, haze, dust, etc.) (Bobkowska et al. 2021; Pasternak et al. 2024). When working with remote sensing materials, it is important to keep in mind the numerous noises through which artifacts like the one described above arise. These are mainly: cloud cover, aerosols, and organic or inorganic matter accumulated on the water surface with varying absorption properties — and, most problematically, shading caused by taller vegetation (Janczewska et al. 2023). In addition, when aligning imagery that captures only water surfaces, the algorithm encounters difficulties in matching pixel sequences from scenes with very similar brightness.

Multispectral imaging, radar remote sensing, and laser scanning are conducted at ground-based, aerial (both low and high altitude), and satellite levels (Meyer et al. 2024; Panda et al. 2015). The choice of both data acquisition technique and altitude determines the precision and efficiency — in terms of time and cost — of the final hydrographic study. Given the need for frequent updates while maintaining high precision, the authors emphasize the importance of identifying the most effective method for generating water extent data.

Neither the literature nor the reviewed documentation provides recommendations — based on previous studies — for the use of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) techniques to create unified hydrographic information. The aim of the study is to compare methods of remote water detection (including materials that serve this purpose) and to identify the most optimal methodology for detecting and continuously updating information about the hydrographic network and locations convenient for the establishment (or restoration) of potential water facilities to counteract the effects of flooding and drought under currently changing climatic conditions (i.e., improving retention and enhancing BGI potential). The main outcome of the presented research is a methodology that outlines the workflow for creating or updating information about the surface hydrographic network based on the aerial remote sensing data.

2 Materials and methods

2.1 Study Area

The selected study area is the catchment of the Imielinka River, which flows near the Dzieńkowice Reservoir in Chełm Śląski. This is an upland area, physically and geographically belonging to the Chełm mesoregion (341.11), the macroregion of the Silesian Upland, the subprovince of the Silesian-Cracow Upland, the province of the Polish Uplands (Solon et al. 2018). This is an area located in a transitional temperate climate zone, for which the characteristic vegetation is mixed forest. Administratively, the catchment area of the Imielinka River is located in the municipalities of Łędziny and Chełm Śląski, located in southern Poland, in the eastern part of the Silesian Voivodeship (Fig. 1).

The catchment area of the Imielinka River was analyzed due to dynamic changes in the morphology of the area (seismic activity caused by active underground coal mining) and a high index of lake-forming potential compared to other areas of the Upper Silesia-Zagłębie Metropolis, as well as the need to determine the correct course of the Imielinka river. Vectorization errors are readily identifiable through visual analysis. They occur in the computerized Hydrographic Division Map of Poland at a scale of 1:10,000, which serves as the official digital spatial database of surface waters in Poland (Janczewska et al. 2022) (Fig. 1). According to this source, the Imielinka River originates in the forested area at the center of Imielin and is approximately 8.1 km long. The Imielinka is a third-order water-course and a right-bank tributary of the Przemsza River. The width of the riverbed at the mouth is about 2.5 m. The catchment area is 77,7 km². The riverbed is largely regulated and includes numerous culverts. Fragments flow through piped sections (https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/).

2.2 Source Materials

The source material for the study consisted of aerial imagery and an elevation point cloud collected during a photogrammetric flight carried out on June 15, 2024, from 4:35 to 7:45 a.m. using an SP-OPK Diamond DA62 aircraft. Atmospheric conditions on the day of the flight were: air temperature +2 °C and pressure 101.4 hPa. The Ground Sampling Distance (GSD) was less than 0.1 m, transverse coverage (q) of 30% and

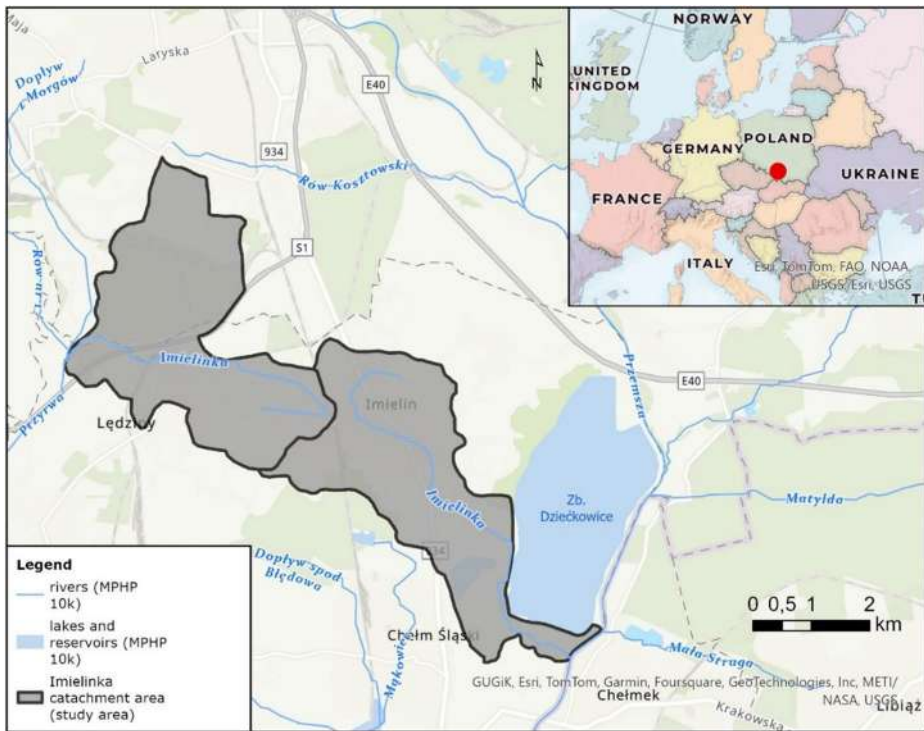


Fig. 1 Study area

longitudinal coverage (p) of 80%. The flight direction was east-west. Photogrammetric images were captured in four spectral bands: Red, Green, Blue, and Near-Infrared (NIR). A CityMapper-2 camera equipped with a D69.146/4.8 146 mm lens and a Light Detection and Ranging (LiDAR) scanner was used. The point cloud density was 7 points per square meter.

The resulting aerial imagery was aligned and processed into four orthophotomosaics using Agisoft Metashape software. In turn, point clouds in LAS format were grouped into LAS datasets and processed into a Digital Elevation Model (DEM) and a Digital Terrain Model (DTM) in ArcGIS Pro 3.2 software.

The following methods were used (Table 1):

Due to the methodological nature of the research, the assumptions of each method are presented in the results chapter. Data processing was carried out using Spatial Analyst Tools, Arc Hydro Tools Pro, Image Analyst Tools, Conversion Tools, 3D Analyst Tools toolkits.

Field measurement of the service points defining the extent of water in the field was carried out on August 29, 2024, using a Carlson BRx7 precision GPS receiver.

Table 1 List of methods used

Method	Explanation
Normalized Differenced Water Index (NDWI) analysis	Based on pixel algebra applied to orthophotos acquired in the Near-Infrared (NIR) and Green spectral bands, followed by vectorization of areas where $NDWI > 0$
Supervised classification based on NIR pixel values	Classification based on pixel brightness in the NIR band, followed by vectorization of areas within the value range characteristic of water.
Point cloud analysis for terrain depressions	Creation of a point cloud representing only depressions in the terrain, followed by extraction of lines along the lowest areas (e.g. riverbeds).
Contour extraction from elevation models (DEM/DTM)	DEMs and DTMs are generated and converted into contour levels. The level corresponding to reservoir boundaries and, where applicable, river channel extents is identified and selected.
Hydrological modelling using flow direction and accumulation tools	Based on DEM and DTM data, flow direction and flow accumulation tools are used to model potential river courses (determined by slope) and to delineate the extent of the catchment area.

3 Results

3.1 Methods of Detecting Water from Multispectral Imagery

3.1.1 Use of NDWI Indicator

The Normalized Difference Water Index (NDWI) is used to detect the presence of flowing water based on the specific reflectance value of the water surface relative to the rest of the environment. The index was calculated by performing pixel algebra in the Raster Calculator tool, i.e., by inter-channel division of images acquired in the green (GREEN) and near-infrared (NIR) bands according to the following formula (McFeeters, 1996):

$$(GREEN - NIR) / (GREEN + NIR)$$

The index takes values between -1 and 1 , where values > 0 correspond to water-covered areas (McFeeters 2013). In the next step, the resulting raster (NDWI) was reclassified according to the equal interval function for 20 variables (Table A1 in the appendix). In the final step, the classified raster was vectorized (Fig. A1 in the appendix).

After processing the raster image with NDWI index into vector data, classes from 15 to 20 indicating NDWI values > 0.5 were extracted, which means areas clearly covered by water. According to the data thus obtained, there are 6.75 square kilometers of water-covered areas in the study area (6.9% of the total photogrammetric flight area). Numerous artifacts are clearly visible (e.g., point facades of buildings with similar light absorption properties to water are distinguished as water areas) (Fig. A1 C.2.). In the case of water reservoirs, their boundaries are clearly distinguished while the entire area of the reservoir cannot be calcu-

lated - in some cases, NDWI index values are much lower than those determined for water areas over the entire area (Fig. A1 C.1.).

Thus, using the method based on the NDWI index, it is possible to determine the course of a wide watercourse and the extent of the reservoir. It is not possible to determine the location of potential reservoirs and the exact area of existing reservoirs or the area occupied by the river surface. The most precise information can be obtained by subjective reclassification.

3.1.2 Machine learning-based Classification Algorithms

ArcGIS Pro 3.2 software offers a broad suite of artificial intelligence algorithms, particularly in the area of machine learning. A key feature is deep learning, which involves creating a classification model based on training samples (ESRI 2024). While creating the model for the water-covered area, a critical error occurred (causing the application to crash) in the version of the program used. As a result, it was not possible to apply this method, and supervised classification was chosen instead.

Supervised classification is a classical machine learning method in which representative pixel brightness values are assigned to selected land use types. The software then classifies the raster image based on the defined pixel value ranges for each class (Nunzio and Sordoni 2014). Supervised classification was performed based on orthophotomosaics derived from images acquired in the near-infrared (NIR) spectrum, as this spectral range is most sensitive to the presence of water (Ailavajhala et al. 2020). In the first step, the image was segmented (grouping pixels with similar brightness levels), after which test fields were identified (located in the centre of water bodies or the Przemsza riverbed, where water coverage is clearly visible). The raster was then classified into two classes: water and other. The 'other' class was implicitly labelled as vegetation (planted/cultivated). Finally, the raster data was converted into vector format (Fig. A2).

According to the information obtained from the vectorized classes, there are 20.75 km² of water-covered areas in the study area (24.9% of the total photogrammetric flight area). Thus, reservoir areas were included in their entirety, but pixels with brightness=0 (e.g., the edges of the flight area) were also classified as water areas.

3.2 Methods for Detecting Water and Potential Water Sites from LiDAR Data

In the following tests, an airborne laser scanning point cloud was used to detect water areas. The point cloud was not classified by default and its density varied but was not less than 7 pts/m².

3.2.1 Classification of the Point Cloud Based on Generated Ground

In the first step, LAS datasets were created and an algorithm was run to distinguish points representing terrain rather than its coverage (Classify LAS ground tool) (Fig. A3 - A). As a result, the beds of both a wide and narrow river were clearly distinguished. When distinguishing a watercourse using this method, however, it should be verified on the RGB image whether the depression actually represents a watercourse. Also clearly visible are the dam of an existing reservoir (Fig. A3 - B) as well as areas of depressions - places that can be naturally transformed into water bodies (Fig. A3 - C), as well as fragments of old dykes.

Conversion Using Contours Another attempt to isolate water-covered sites and potential reservoir sites involved converting the point cloud to a Digital Elevation Model (DEM) - a single raster image - and then converting it into contour lines (Fig. A4 - A) with an interval of 0.2 m. This method allowed precise delineation of existing reservoir boundaries (Fig. A4 - C) as well as locations where water bodies could potentially form (Fig. A4 - B). For riverbeds, this method is effective mainly in determining the extent of wider sections only (Fig. A4 - D and - E).

3.2.2 Use of Arc Hydro Tools Pro Toolkit

In the final step, the Arc Hydro Tools Pro toolkit was used to generate information about the linear hydrographic network. First, a DEM was generated from the LAS dataset and sinks were filled. Next, flow directions were analyzed and flow accumulation areas identified. Finally, a raster with the estimated hydrographic network course was generated and stream orders were assigned using the Strahler method. The resulting layer is a vector linear layer of watercourses, each assigned a stream order (Fig. A5 - A). This method accurately determined the course of larger watercourses, while some depressions were incorrectly classified as watercourses (Fig. A5 - B).

3.3 Methods Summary

3.3.1 Comparison of time and Efficiency

It is a time-consuming to process imagery taken in a particular range (Red, Green, Blue or NIR) into orthophotos. Using high-performance computer hardware for an area of 82 km², processing a single band took about 9 h. The creation of a point cloud data set took about 30 min for one set with 7 data sets created during the scan. The photogrammetric flight including laser scanning took 3 h 10 min. Table A2 in the appendix shows the total time required to highlight the current and/or potential hydrographic network over the entire study area. In turn, the color green indicates what element of the hydrographic network could have been distinguished using the method, and the color red indicates that this was not possible. The color orange indicates that there was such a possibility but that precise acquisition of information required manual intervention by the operator.

3.3.2 Comparison of Precision Based on GPS Data

To verify the accuracy of the tested methods, the areas of selected sites measured in the field using a precision GPS receiver were compared with areas derived from raster imagery or point cloud processing. The results are presented in Table 2, from which it can be seen that in the case of the narrow river, the most similar value to the field measurement was obtained using point cloud classification by the generate ground method (and after DTM processing). In the case of the wide river and the currently existing reservoir, the conversion to levels of the previously generated DTM was the most effective.

Table 2 Comparison of surface measurement of selected objects using the tested methods with field measurement

Method	Area of the polygon created from GPS data (ha) - color is a reference value	Use of the NDWI indicator	Supervised classification (pixel-based in the NIR range)	Point cloud classification based on generated ground	Conversion to contours
Narrow river on a section of 100 m (Imielinka)	0.036	No possibility of distinction	0.17	0.028	No possibility of distinction
River wide at a section of 500 m (Przemsza)	1.11	0.59	0.87	0.96	1.01
Reservoir currently in existence (lake after sandpit)	26.03	19.36	26.9	27.6	26.02

3.3.3 Potential Locations of Water Reservoirs

Based on both the terrain model derived from the groundclassified point cloud and the contour map, terrain depressions with distinct edges were identified. In this way, six locations were identified where the landform is suitable for the presence of a water reservoir or where one existed in the past (Fig. A6 in the appendix). The areas of the isolated depressions range from 0.2 to 1.4 hectares, and their genesis is the subject of separate historical-geomorphological studies.

4 Discussion

Advanced remote sensing and geoinformation tools have completely changed the previous approach to mapping the hydrographic network (Mashala et al. 2023). Imaging the land surface and performing laser scanning takes as little as 3 h and provides information on the entire catchment area of a single river (the catchment area of the Imielinka is 77.7 km²).

As demonstrated in this study, the main challenge is not so much the preparation and acquisition of materials and software capabilities themselves, but such a selection of image and point cloud processing methods that will optimize hardware requirements and data processing timeframes, as well as produce output information of high resolution (Wang et al. 2020). It should be remembered that a key aspect in the successful remote acquisition of hydrographic information is scientific knowledge and human resources (remote sensing and GIS specialists). The time required to obtain such information depends not only on the availability and resources of hardware and software, but also on the operators. Only people familiar with the basics of remote sensing and GIS techniques will be able to correctly acquire data (adjust sensors, avoid noise, conduct the aerial survey under appropriate lighting conditions and orthogonally) and then process it (uniformly, avoiding artifacts) (Lillesand et al. 2015; Lin and Chen 2023).

Using multispectral indices - pixel values derived from mathematical operations on different spectral bands) is a common method for extracting information about large-scale areas (Potic and Šimunić 2019). An example is the study of the condition of mangroves around the world using the NDVI index (mainly the coasts of the Asian continent and South America (Ruan et al.

2022), or the authors' study of the water quality of the Oder River throughout its longitudinal profile (about 700 km) (Absalon et al. 2023). In turn, Oliveira et al. (2023) demonstrated how indexes such as NDRE, MSAVI, among others, can be used to manage wildfires. Emre Özelkan (2019) showed that the NDWI index based on Green and NIR channels is effective for analyzing the extent (and area) of Atikhisar Dam Lake. The same NDWI index calculation scheme for the Imielinka River catchment proved to be effective for detecting only waters in the channel of the wide river. While the boundaries of the existing reservoir were clearly marked, the entire surface of the reservoir was not highlighted (NDWI values < 0 in the center of the reservoir).

Not only the reflectance difference but also machine learning (deep learning) methods or neural networks are used to acquire information about large-scale phenomena and their classification (Hu 2022; Lynch et al. 2020; Hawamdeh et al. 2025). Advanced fusion and acquisition of multispectral remote sensing data is most often done using GIS techniques, as exemplified by the search for hydrothermal sources based on Sentinel-2, Landsat 8 and ASTER satellite images (Alarifi et al. 2022). For this reason, among other things, supervised classification based on machine learning algorithms was tested in the next steps. In this case, the entire surface of the reservoir was classified accordingly, as was the area occupied by the waters of a wide river. Even though supervised classification has proven to be an effective method for reservoirs and wide rivers remote detection of water extent in narrow channels is still not satisfactory and requires more extensive learning and an increase in the number of available models.

Although detection of water-covered areas based on aerial imagery in the literature proves effective for smaller watercourses or reservoirs (Legleiter 2013; Huang et al. 2018), the use of aerial imagery with a final pixel size of 1 m proved to be time-consuming, software demanding and effective only for larger water-covered areas (reservoirs, wide watercourses). However, using the aforementioned methods, it was not possible to distinguish places where reservoirs historically occurred or could potentially occur.

In an orthogonal projection, it is much easier to indicate the outline of a water body. For this reason, detecting and determining the boundaries of reservoirs according to the contours obtained based on the DTM is much more efficient than its determination even during field measurements (Pipitone et al. 2018). In addition, as mentioned above, this method has proven effective in detecting the locations of potentially occurring water bodies. Such a measure is desirable, on the one hand, for improving flood safety (there is development in some of the basins) but especially in planning retention infrastructure (Woś et al. 2022). This infrastructure is particularly desirable in the currently changing climatic conditions, where, especially in areas such as the Imielinka basin located near a 1st order watershed, drought is exacerbated (Pieron et al. 2024; Absalon et al. 2022). Both in planning, environmental and economic terms, it is much more efficient to restore reservoirs than to designate land to be adapted for the operation of such a reservoir (Wita et al. 2024). For this reason, the study shows that using a method based on point cloud classification and contour mapping on the basis of DTM is effective for identifying places where reservoirs historically existed or where the terrain is suitable for their creation. Given the complexity of the reservoir restoration investment process, it is more important to identify the best site to verify in the field than to find a large number of potential locations. For this purpose, the proposed method appears to be the most effective.

Although Crawford (2022) recommends the contour method for automatically determining the limits of riverbed extent, this has proven ineffective, especially for narrow riverbeds. Similarly, even with precise elevation data, the use of the ArcHydro Tools Pro toolkit has

proven ineffective for rivers with narrow beds. However, the tool can be used successfully in determining the current or potential course of wide rivers (Baye 2020). Using this tool, the course of the Przemsza River, among others, was accurately determined.

No method is without drawback. The main limitation of the NDWI-based method lies in the correct selection of lighting conditions during the aerial survey. The supervised classification algorithms are not refined enough to accurately delineate the extent of narrow watercourses, such as the Imielinka. Likewise, conversion to contour levels results in false data due to artifacts. In turn, generating DEM-based hydrographic network routing data using the ArcHydroTools package is associated with errors in determining flow direction. The method based on information from the ground-classified point cloud, although proven to be the most accurate, requires highly specialized knowledge.

5 Conclusions

This article presents methods for remote water detection based on aerial photographs. Although it does not present remote sensing tools and techniques themselves, its novelty lies in developing a methodology that will be crucial for creating future unified water datasets. It was found that the existing vector hydrographic data for Poland misrepresent the course of the hydrographic network. For this reason, it is reasonable to use aerial imagery and laser scanning products to verify, create and update hydrographic data. The choice of the most effective method depends on the input data and the desired effect (the element of the hydrographic network that is to become the final vector layer). Below, as a summary, we present a scheme for selecting the appropriate algorithm (Fig. 2):

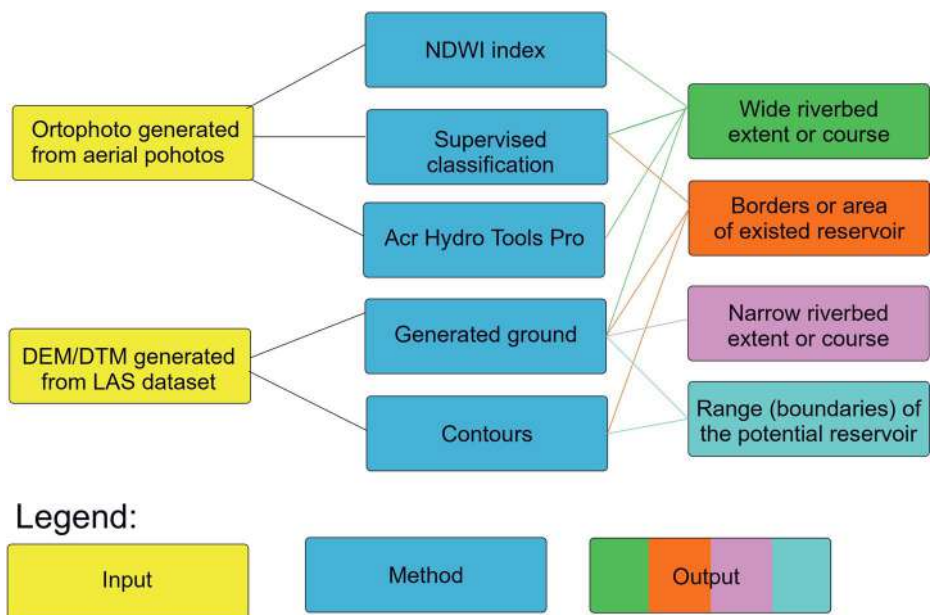


Fig. 2 Diagram for selecting the optimal method depending on the input data and the hydrographic network element to be automatically generated

In addition, the study demonstrates that using a method based on point cloud classification and automatically generated contour maps derived from the DTM is a reasonable approach for detecting locations where reservoirs have historically existed or where the terrain is suitable for their formation. However, the issue of automatically selecting the contour interval and delineating the extent of the reservoir—whether potential or existing—should be the subject of further research. The question of optimizing the method of acquiring photogrammetric and laser data—specifically, determining the appropriate altitude and resolution based on the desired scope of hydrographic output—also requires further research.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04324-1>.

Author Contributions All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by Natalia Janczewska, Magdalena Matysik, Damian Absalon, Andrzej Woźnica, Marcin Lipowczan, Łukasz Pieron, Barbara Kalinowska-Wójcik, Wanda Jarosz, Witold Mandrysz, Magdalena Biela and Edyta Sierka. The first draft of the manuscript was written by Natalia Janczewska, Magdalena Matysik, and Damian Absalon. All authors read and approved the final manuscript.

Funding This research is based on work undertaken as part of the “Identification and evaluation of the possibilities of restoring the network of water reservoirs to increase retention and strengthen the development of blue-green infrastructure in the southern part of Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (the Upper Silesian-Zagłębie Metropolis), based on the analysis of historical sources and modern photogrammetric tools” project, funded by Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (the Upper Silesian and Zagłębie Metropolis) (grant number IN-2452-201-1-01). The authors are grateful for the support from Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (the Upper Silesian and Zagłębie Metropolis).

Data Availability The data that support the findings of this study are available from the corresponding author (magdalena.matysik@us.edu.pl) upon reasonable request.

Declarations

Ethical Approval All researchers are demonstrating that they have adhered to the accepted ethical standards of a genuine research study.

Consent To Participate The authors confirm that this manuscript does not contain any person’s data in any form (including any individual details, images, or videos), therefore no consent for publication of such data was required.

Consent To Publish All authors have reviewed and approved the final version of this manuscript and give their consent for its publication.

Competing Interests The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose. The funding institution had no role in the design of the study, in the samples collection, analyses, interpretation of data, in the writing of the manuscript, and in the decision to publish the results.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, which permits any non-commercial use, sharing, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if you modified the licensed material. You do not have permission under this licence to share adapted material derived from this article or parts of it. The images or other third party material in this article are included in the article’s Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article’s Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

References

- Absalon D, Pieron Ł, Matysik M, Habel M (2022) Loss of the capacity of key dam reservoirs in Poland. In: Więzik B (ed) *Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Zeszyt 45, Warsaw, pp 122–134
- Absalon D, Matysik M, Woźnica A, Janczewska N (2023) Detection of changes in the hydrobiological parameters of the Oder river during the ecological disaster in July 2022 based on multi-parameter probe tests and remote sensing methods. *Ecol Indic* 148:110103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110103>
- Ahn J-H, Young-Je P (2020) Estimating water reflectance at Near-Infrared wavelengths for turbid water atmospheric correction: A preliminary study for GOCI-II. *Remote Sens* 12(22):3791. <https://doi.org/10.3390/rs12223791>
- Ailavajhala R, Querido W, Rajapakse CS, Pleshko N (2020) Near infrared spectroscopic assessment of loosely and tightly bound cortical bone water. *Analyst* 145(10):3713–3724. <https://doi.org/10.1039/c9an02491c>
- Alarifi SS, Abdelkareem M, Abdalla F, Abdelsadek IS, Gahlan H, Al-Saleh AM, Alotaibi M (2022) Fusion of multispectral remote-sensing data through GIS-based overlay method for revealing potential areas of hydrothermal mineral resources. *Minerals* 12(12):1577. <https://doi.org/10.3390/min12121577>
- Baye M (2020) Watershed delineation by arc hydro tools. *Int J Sci Res* 9(5):1105–1110. <https://doi.org/10.21275/SR20516144818>
- Black JA, Black JA (2022) Canals, rivers and lakes. A short history of transport in Japan from ancient times to the present. Open Book, Cambridge, UK, pp 99–120. <https://doi.org/10.11647/OBP.0281.04>
- Bobkowska K, Burdziakowski P, Szulwic J, Zielinska-Dabkowska KM (2021) Seven different lighting conditions in photogrammetric studies of a 3D urban mock-up. *Energies* 14(23):8002. <https://doi.org/10.3390/en14238002>
- Crawford C (2022) Hydro-flattening of river shorelines in LiDAR-based DEM production. ESRI, ArcGIS-Blog. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/3d-gis/hydro-flattening-of-river-shorelines-in-lidar-based-dem-production/> Accessed 1 December 2024
- Di Nunzio GM, Sordoni A (2014) Picturing Bayesian classifiers: A visual data mining approach to parameters optimization. In: Zhao Y, Cen Y (ed) *Data Mining Applications with R*. Academic Press, pp. 35–61. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411511-8.00002-5>
- Ehsani N, Vörösmarty CJ, Fekete BM, Stakhiv EZ (2017) Reservoir operations under climate change: storage capacity options to mitigate risk. *J Hydrol* 555:435–446. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.09.008>
- ESRI (2024) Deep learning in ArcGIS Pro. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/deep-learning/deep-learning-in-arcgis-pro.htm> Accessed 13 November 2024
- Hajdukiewicz H, Hajdukiewicz M, Ruiz-Villanueva V, Radecki-Pawlik A, Zawiejska J (2024) Exploring historical changes in mountain river hydrodynamics induced by human impact. *Sci Total Environ* 948:174742. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174742>
- Hanuš J, Slezák L, Fabiánek T, Fajmon L, Hanousek T, Janoutová R, Kopkáně D, Novotný J, Pavelka K, Píkl M, Zemek F, Homolová L (2023) Flying laboratory of imaging systems: fusion of airborne hyperspectral and laser scanning for ecosystem research. *Remote Sens* 15(12):3130. <https://doi.org/10.3390/rs15123130>
- Hawamdeh A, Tarawneh A, Sharrab Y et al (2025) Deep neural networks hydrologic and hydraulic modeling in flood hazard analysis. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-04243-1>. *Water Resour Manage*
- Hu X (2022) Large-scale multi-source satellite data for wildfire detection and assessment using deep learning. PhD dissertation, KTH Royal Institute of Technology
- Huang C, Chen Y, Zhang S, Wu J (2018) Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Rev Geophys* 56:333–360. <https://doi.org/10.1029/2018RG000598>
- Janczewska N, Absalon D, Matysik M (2022) Assessment of discrepancies between spatial databases of surface waters in the context of water management in Poland. In: Więzik B. (ed.) *Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Zeszyt 45, Warsaw, pp. 85–96
- Janczewska N, Matysik M, Absalon D (2023) Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. *J Hydrol Reg Stud* 49:101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>
- Legleiter CJ (2013) Mapping river depth from publicly available aerial images. *River Res Appl* 29:760–780. <https://doi.org/10.1002/rra.2560>
- Li Y, Dang B, Zhang Y, Du Z (2022) Water body classification from high-resolution optical remote sensing imagery: achievements and perspectives. *ISPRS J Photogramm Remote Sens* 187:306–327. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.03.013>
- Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J (2015) *Remote sensing and image interpretation*. Wiley, New York

- Lin CH, Chen WH (2023) A technology-organization-environment (TOE) framework based on scientometry for understanding the risk factors in sustainable water resources management. *Water Resour Manage* 37:5849–5869. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03634-6>
- Lynch P, Blesius L, Hines E (2020) Classification of urban area using multispectral indices for urban planning. *Remote Sens* 12(15):2503. <https://doi.org/10.3390/rs12152503>
- Mandlbürger G (2022) A review of active and passive optical methods in hydrography. *Int Hydrogr Rev* 28:8–52. <https://doi.org/10.58440/ihr-28-a15>
- Mărgărint MC, Niculiță M, Németh A, Cristea AI, Doru SC (2021) The reconstruction of an abandoned historical reservoir network in a continental temperate climate region using a multi-method approach. *Appl Geogr* 130:102447. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102447>
- Mashala MJ, Dube T, Mudereri BT, Ayisi KK, Ramudzuli MR (2023) A systematic review on advancements in remote sensing for assessing and monitoring land use and land cover changes impacts on surface water resources in semi-arid tropical environments. *Remote Sens* 15(16):3926. <https://doi.org/10.3390/rs15163926>
- McFeeters SK (1996) The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int J Remote Sens* 17(7):1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- McFeeters S (2013) Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach. *Remote Sens* 5(7):3544–3561. <https://doi.org/10.3390/rs5073544>
- Meyer MF, Gonçalves JA, Bio AMF (2024) Using remote sensing multispectral imagery for invasive species quantification: the effect of image resolution on area and biomass Estimation. *Remote Sens* 16(4):652. <https://doi.org/10.3390/rs16040652>
- Oliveira A, Matos-Carvalho JP, Moutinho F, Fachada N (2023) Multispectral indices for wildfire management. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.01751>. arXiv:2309.01751
- Özelkan E (2020) Water body detection analysis using NDWI indices derived from Landsat-8 OLI. *Pol J Environ Stud* 29(2):1759–1769. <https://doi.org/10.15244/pjoes/110447>
- Panda SS, Rao MN, Thenkabail PS, Fitzgerald JE (2015) Remote sensing systems – Platforms and sensors: aerial, satellites, uavs, optical, radar, and lidar. In: Thenkabail PS (ed) (Remotely sensed data characterization, classification, and accuracies. Western Geographic Science Center, Boca Raton, FL: CRC Press, pp 3–57
- Pargiela K (2023) Optimising UAV data acquisition and processing for photogrammetry: A review. *Geomatics Environ Eng* 17(3):29–59. <https://doi.org/10.7494/geom.2023.17.3.29>
- Pasternak G, Pasternak K, Koda E, Ogródnik P (2024) Unmanned aerial vehicle photogrammetry for monitoring the geometric changes of reclaimed landfills. *Sensors (Basel)* 24(22):7247. <https://doi.org/10.3390/s24227247>
- Pieron Ł, Absalon D, Habel M, Matysik M (2021) Inventory of reservoirs of key significance for water management in Poland—evaluation of changes in their capacity. *Energies* 14(23):7951. <https://doi.org/10.3390/en14237951>
- Pieron Ł, Absalon D, Matysik M (2024) Multi-criteria assessment of factors affecting the reduction of retention capacity of dam reservoirs. *Elem Sci Anth* 12(1):00069. <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00069>
- Pipitone C, Maltese A, Dardanelli G, Lo Brutto M, La Loggia G (2018) Monitoring water surface and level of a reservoir using different remote sensing approaches and comparison with dam displacements evaluated via GNSS. *Remote Sens* 10(1):71. <https://doi.org/10.3390/rs10010071>
- Potić I, Šimunić V (2019) Mapping of the environment using multispectral satellite imagery. *Univ Thought - Publ Nat Sci* 9(2):38–42. <https://doi.org/10.5937/univtho9-24474>
- Ruan L, Yan M, Zhang L, Fan X, Yang H (2022) Spatial-temporal NDVI pattern of global mangroves: a growing trend during 2000–2018. *Sci Total Environ* 844:157075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157075>
- Sheng Y, Song C, Wang J, Lyons EA, Knox BR, Cox JS, Gao F (2016) Representative lake water extent mapping at continental scales using multi-temporal Landsat-8 imagery. *Remote Sens Environ* 185:129–141. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.041>
- Solon J, Borzyszkowski J, Bidlasik et al (2018) Physico-geographical mesoregions of Poland: verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary Spatial data. *Geogr Pol* 91(2):143–170. <https://doi.org/10.7163/GPol.0115>
- Stachowicz M, Venegas-Cordero N, Ghezelayagh P (2024) Two centuries of changes - revision of the hydrography of the Biebrza valley, its transformation and probable ecohydrological challenges. *Ecohydrol Hydrobiol* 24(4):738–748. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.08.008>
- Sun J, Chen W, Hu B, Xu YJ, Zhang G, Wu Y, Hu B, Song Z (2023) Roles of reservoirs in regulating basin flood and droughts risks under climate change: historical assessment and future projection. *J Hydrol Reg Stud* 48:101453. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101453>

- Szostak J (2020) Błękitno-zielona infrastruktura Jako Narzędzie Adaptacji miast do Zmian Klimatu i Zagospodarowania Wód Opadowych. *Zesz Nauk Politech Pozn Archit Urban Archit Wnętrz* 3:37–74
- Valjarević A (2024) Gis-based methods for identifying river networks types and changing river basins. *Water Resour Manage* 38:5323–5341. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03916-7>
- Wang H, He G (2022) Rivers: linking nature, life, and civilization. *River* 1:25–36. <https://doi.org/10.1002/rvr2.7>
- Wang Q, Tan Y, Mei Z (2020) Computational methods of acquisition and processing of 3D point cloud data for construction applications. *Arch Computat Methods Eng* 27:479–499. <https://doi.org/10.1007/s11831-019-09320-4>
- Wang L, Xiao Y, Zhang B, Liu R, Zhao B (2023) Water surface targets detection based on the fusion of vision and lidar. *Sensors (Basel)* 23(4):1768. <https://doi.org/10.3390/s23041768>
- Wita P, Szafranec JE, Absalon D, Woźnica A (2024) Lake bottom relief reconstruction and water volume estimation based on the subsidence rate of the post-mining area (Bytom, Southern Poland). *Sci Rep* 14:5230. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55963-0>
- Woś K, Radoń R, Tekielak T, Wrzosek K, Pieron Ł, Piórecki M (2022) Role of multifunctional water reservoirs in the upper Vistula basin in reducing flood risk. *Water* 14(24):4025. <https://doi.org/10.3390/w14244025>
- Yao H, Qin R, Chen X (2019) Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications—A review. *Remote Sens* 11(12):1443. <https://doi.org/10.3390/rs11121443>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Authors and Affiliations

Natalia Janczewska^{1,2,3,4}  · **Magdalena Matysik**^{1,3}  · **Damian Absalon**^{1,3}  · **Andrzej Woźnica**^{3,5}  · **Marcin Lipowczan**^{3,5}  · **Łukasz Pieron**^{6,10}  · **Barbara Kalinowska-Wójcik**⁷  · **Wanda Jarosz**⁸  · **Witold Mandrysz**⁹  · **Magdalena Biela**^{2,5}  · **Edyta Sierka**^{3,5} 

✉ Magdalena Matysik
magdalena.matysik@us.edu.pl

- ¹ Faculty of Natural Science, Institute of Earth Science, University of Silesia, Będzińska 60, Sosnowiec 41- 200, Poland
- ² Doctoral School, University of Silesia in Katowice, Bankowa 14, Katowice 40-007, Poland
- ³ Silesian Water Centre, Faculty of Natural Sciences, University of Silesia in Katowice, Bankowa 5, Katowice 40-007, Poland
- ⁴ Regional Water Management Authority in Gliwice, State Water Holding Polish Waters, Sienkiewicza 2, 44–100, Gliwice, Poland
- ⁵ Faculty of Natural Science Institute of Biotechnology and Environmental Biology, University of Silesia, Jagiellońska 28, Katowice 40-032, Poland
- ⁶ National Water Management Authority, State Water Holding Polish Waters, Żelazna 59A, 00- 848 Warszawa, Poland
- ⁷ Faculty of Humanities, Institute of History, University of Silesia, Bankowa 11, Katowice 40-007, Poland
- ⁸ Institute for Ecology of Industrial Areas, Kossutha 6, Katowice 40-844, Poland
- ⁹ Institute of Sociology, Faculty of Social Sciences, University of Silesia, Bankowa 11, Katowice 40-007, Poland
- ¹⁰ Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, J.K. Chodkiewicza 30, Bydgoszcz 85-064, Poland

Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing

Keywords

aerial imagery, GIS, hydrography, UAV, water database

Abstract

Although it seems obvious in today's era of digitization to have an electronic surface water database, as proven in earlier studies, there are still many shortcomings, errors, and a lack of updating spatial information about the hydrographic network despite its dynamic nature (frequent changes in water coverage due to flooding, erosion of banks or caused by seismic activity in areas of underground exploitation). The answer to the need for an up-to-date spatial water database combines GIS and remote sensing tools, e.g. by using orthophotomosaics created from imagery obtained during photogram-metric flights in various spectral ranges and converting them into vector information on the extent of water. Using the example of the Polish administration, the aim of the article is to synthesize the structure of the surface water database. The paper develops a scheme for using geoinformation tools to automatically obtain information about the hydrographic network's course. The study also analyzed the optimization of remote sensing input images of medium and low aerial ceiling. Such automation enables the rapid production of hydrographic information, which in turn allows for the acquisition of uniform data on a supra-regional scale.

Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing

HIGHLIGHTS

- The GIS and remote sensing tools are excellent for processing the hydrographic data.
- Attribute data is essential for the spatial database of the hydrographic network.
- UAV-captured images provide more precise hydrographic data.
- Images can also deliver this information with similar levels of accuracy.

Abstract:

Although it seems obvious in today's era of digitization to have an electronic surface water database, as proven in earlier studies, there are still many shortcomings, errors, and a lack of updating spatial information about the hydrographic network despite its dynamic nature (frequent changes in water coverage due to flooding, erosion of banks or caused by seismic activity in areas of underground exploitation). The answer to the need for an up-to-date spatial water database combines GIS and remote sensing tools, e.g. by using orthophotomosaics created from imagery obtained during photogram-metric flights in various spectral ranges and converting them into vector information on the extent of water. Using the example of the Polish administration, the aim of the article is to synthesize the structure of the surface water database. The paper develops a scheme for using geoinformation tools to automatically obtain information about the hydrographic network's course. The study also analyzed the optimization of remote sensing input images of medium and low aerial ceiling. Such automation enables the rapid production of hydrographic information, which in turn allows for the acquisition of uniform data on a supra-regional scale.

Keywords: aerial imagery, GIS, hydrography, UAV, water database

INTRODUCTION

Geographic Information Systems (GIS) are widely used in water management, and modern hydrological analysis would not be as advanced were it not for the development of GIS. Although analytical algorithms are based mainly on vector data, large-scale data production is

possible based on raster photogrammetric materials. Acquisition of data whose reliability and precision allow its final use for analytical purposes is possible thanks to today's developed remote sensing tools. This coupling of GIS and remote sensing tools was used, among others, by S.M. Taher (2020) studying the degree of irrigation of agricultural areas, or B. Rahmani (2021) designed a catchment management model for flood and drought management. Another widespread application of GIS and remote sensing tools in water management is the remote study of water quality, as demonstrated by the authors in their study on the use of multispectral indicators for remote detection of changes in the amount of chlorophyll or salinity in flowing waters (Absalon et al., 2023; Matysik et al., 2025).

As repeatedly emphasized in previous studies, despite the extensive resources of algorithms enabling precise representation of the hydrographic network in geographic space, existing surface water databases exhibit numerous discrepancies with the actual state. As the aforementioned studies have shown, there are discrepancies of over 50% in the use of different names for the same watercourse or in the description of its length in relation to its actual length. In addition, there are significant discrepancies in the course of the riverbed and the mileage in various spatial databases (the discrepancies examined in over 30% of cases exceeded 100 m, and in some cases reached over 2 km). The main reasons for this state of affairs are a separate vectorization technique, lack of updating and unification on a supra-regional scale (Janczewska et al., 2022; Janczewska et al., 2023). At this point, it is important to distinguish between the concepts of surface water database and the inventory. An inventory is a register - a catalog quantifying phenomena (Wojciechowski, 2013; Oleński, 2005). A spatial database, on the other hand, combines information about the location of the objects in question with descriptive attributes (Samson et al., 2017). Search or filtering algorithms allow cataloging the data collected in the database so that the concept can access the database. Thus, in the hydrographic network, an inventory is a catalog of data of hydrographic objects (e.g., natural watercourses, lakes, artificial reservoirs). A water registry assigning the issue of maintenance of water data to a selected entity should therefore exist legally. A spatial database can be the tool in which such an inventory is created, or it can be a separate entity that spatially or attribute-wise organizes the information collected in the inventory (Mihaylenko et al., 2021). While the creation of a database is a technical activity, the issue of inventory, especially merged with other regions, remains a substantive difficulty for every administrative level in Poland and around the world (Janczewska et al., 2025).

The input material is a key factor in obtaining the final product, such as a data-base. In the

case of remote sensing data acquired within the context of a hydrographic network, the choice of data acquisition altitude is particularly important. Satellite images have low spatial resolution but allow for imaging a large area at a single moment (provided there is no cloud cover). Aerial photos (especially low-altitude ones acquired using an unmanned surface vehicle) allow for the acquisition of high-resolution images, but for large areas, this is a time-consuming process and requires working with BIG DATA. In the case of aerial remote sensing, it is impossible to acquire data for the same hydrological state (images are taken on consecutive days when the water level – the area occupied by water – may change) (Kubišta and Surový, 2021; Messina et al., 2020; Alvarez-Vanhard et al., 2021). The issue of terrain relief also re-mains an important consideration - a photogrammetric raid should be planned for a uniform surface, eliminating the problem of terrain leveling (imaging scale change issues) and exposure (shading). When processing images acquired from a raid crossing different geographic landscapes, there may be disturbances in the measurement and generation of vector information (artifacts) (Pervolarakis et al., 2023).

Although the most common way of transferring hydrographic data to geo-information space has been the digitization of analog hydrographic maps or manual vectorization based on orthophotos (Drwal et al., 2005; Doskocz, 2015) there are a number of tools that allow automatic generation of information about the course of the hydrographic network.

Among the methods of remote detection of water, the following can be distinguished:

- use of multispectral indicators,
- supervised classification,
- detection of objects based on deep learning algorithms,
- detection of subsidence based on the Digital Terrain Model (point cloud classification),
- use of the ArcHydro toolkit to generate a hydrographic network based on the Digital Terrain Model (DTM),
- contour map generated based on DTM (for water bodies).

The application of a particular method depends, on the one hand, on the availability of data, the technical possibilities in terms of the amount of data processed (hardware performance), as well as the target needs (the precision of processing and the type of output data - for example, linear data or polygons).

With images collected in several spectral ranges, especially in the near infrared, it is possible to perform a pixel algebra that allows for the isolation of pixels whose brightness is

characteristic only for water (Rad et al., 2021). This relationship forms the basis for indices such as the Near Differenced Water Index (NDWI), the Water Index (WI), and the Automated Water Extraction Index (AWEI) (McFeeters, 1996; Danaher & Collett, 2006; Feyisa et al., 2014).

On the other hand, supervised classification is one of the pioneering machine learning methods of classifying pixels based on distance and brightness similarity. Thus, with the help of supervised classification, it is easy to automatically distinguish pixels representative of waters from pixels corresponding to the riverbank's zones (Sun et al., 2024). Advanced and contemporary machine learning algorithms have made it possible to detect objects based on models generated from training fields indicating the brightness of pixels corresponding to a given land cover type. However, the use of deep learning for water detection is not limited to vast areas due to, among other things, the large size of the data required to generate and apply the model (Nasir et al., 2023).

Taking advantage of the relationship that water always accumulates in depressions, its remote detection is effective using Digital Terrain Models. Due to the overlying land cover, extracting from the point cloud those points that correspond exclusively to the ground is necessary. If such classification is not already done at the raid stage, it can also be done using algorithms available in GIS software (e.g., Ground classification tool) (ESRI, 2025; Łacka, 2021). For remote detection of water extent in a GIS environment, it may be helpful to create a contour drawing in which a given level delineates the extent of damming of a given reservoir (Stateczny et al., 2023).

Another useful tool for generating comprehensive hydrographic network information based on DEMs is ESRI's ArcHydro Tools. Using the toolkit, hydrographic information is generated in vector format based on analysis of runoff direction, flow accumulation, and catchment area (Baye, 2020).

Although the range of methods for remote sensing of waters is wide, each has limitations, while the key element of any hydrographic inventory is a reliable attribute description.

In addition, the range of remote water detection methods developed is very extensive, and these methods are based on advanced deep learning techniques that generate high-quality (reliable) products. However, as indicated in their review (article in press), there is no methodology that combines attribute, geometric and administrative issues. Attempting to develop such a comprehensive methodology is a challenge that the authors of this paper are

trying to meet.

When analyzing current achievements in geoinformation and geodesy in the field of remote and automatic object detection, the authors noticed a lack of uniform methodology. For this reason, the aim of this paper is to develop an optimal methodology for water inventory (database), from the acquisition of material to obtaining vector information about the extent of water bodies. For this reason, the final result of this work will be a proposal for a unified spatial structure of the hydrographic database, together with an optimized method of its acquisition (based on remote sensing and GIS) in order to create a consistent water inventory at the supra-regional level.

STUDY MATERIALS AND METHODS

STUDY AREA

The research was carried out on the example of Poland, with particular attention paid to the Imielinka River basin. The Imielinka River is a third-order stream within the Vistula River basin. The Imielinka River's sources are in a forested area in the center of Imielin, and the stream's length is approximately 8.1 km. At its mouth, the riverbed width is about 2.5 meters, and the catchment area covers 77.7 km². The river bed is largely regulated and equipped with numerous culverts; some sections are conduct-ed in piped segments (Hydroportal, 2025).

The Imielinka flows as a right tributary into the Przemsza River near the Dzieńkowice reservoir, in the Chełm Śląski area. This region is situated on a highland, within the Chełm mezonegion (341.11), which is part of the Silesian Upland macroregion, in the subprovince of the Silesian-Kraków Upland, and within the Polish Uplands (Solon et al., 2018). This area is located in a temperate transitional climate zone, where deciduous and mixed forests prevail. The area lies within a transitional temperate climate zone, characterized by mixed forests. Administratively, the Imielinka River catchment is located within the municipalities of Łędziny and Chełm Śląski, in southern Poland, in the eastern part of the Silesian Voivodeship (Fig. 1).



Fig. 1: Study area. Source: own study.

ATTRIBUTE STRUCTURE

To identify key attribute data for the hydrographic network database, a nation-wide survey was conducted online in 2024 among water management specialists – employees of the entity responsible for water management in Poland, the State Water Management Authority (PWD) Polish Waters, of whom 93 responded. Since the re-search was conducted among employees throughout Poland (not only in the southern region), opinions regarding the structure of the surface water database are not significantly influenced by local hydrographic or historical conditions. The structure of the respondents is presented in Figure 2.

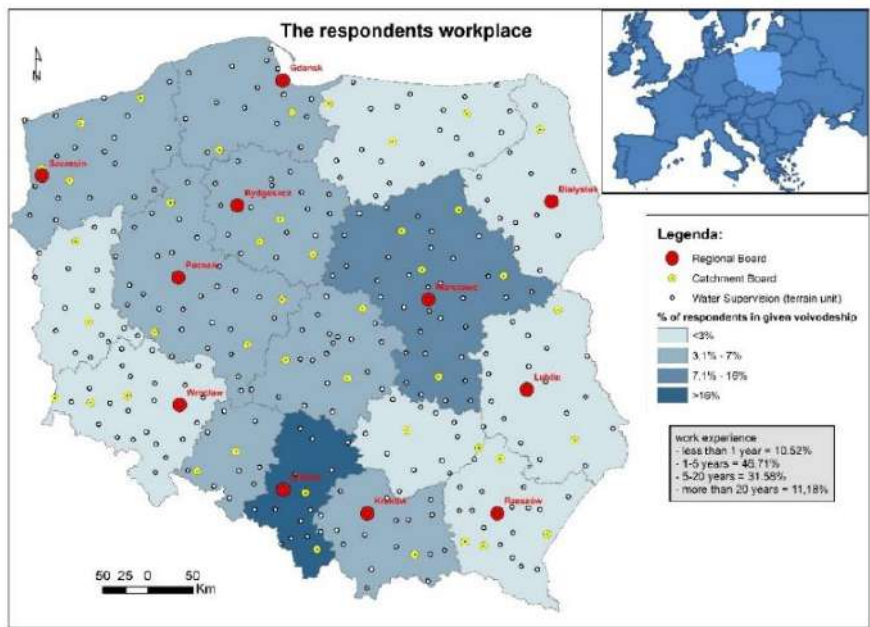


Fig. 2: Structure of respondents. Source: own study.

In response to the question "Which information is most important for describing a specific

watercourse and should be mandatory in the developing database?" (Scale: 0 – unnecessary; 6 – very necessary), the following options were presented:

- Official name of the watercourse (accurate and recognized),
- Alternative names (used colloquially or in other registers),
- Stream order,
- River basin (name of the receiving waterbody),
- Nature/characteristics (surface water + type and number of relevant documents, uncertain, river or other),
- Responsible entity for maintenance,
- Date of the last update,
- Comments (current issues or problems related to the waterbody).

MATERIALS

A key aspect of the research involved generating information about the hydro-graphic network based on imagery processed from photogrammetric flights. In order to optimize the methodology, two data acquisition levels (low and medium) were compared.

Aerial imagery and the elevation point cloud data were collected during a photogrammetric flight conducted on June 15, 2024, between 4:35 and 7:45 AM by the SP-OPK Diamond DA62 aircraft. Weather conditions on the flight day included an air temperature of +2°C and a pressure of 101.4 hPa. The ground sampling distance (GSD) was less than 0.1 meters, with a cross-track coverage of $q=30\%$ and an along-track coverage of $p=80\%$. The flight direction was east-west. Photogrammetric images were captured in four spectral bands: red, green, blue, and near-infrared (NIR). A CityMapper-2 camera equipped with a D69.146/4.8 146 mm lens and a LiDAR (Light Detection and Ranging) scanner was used. The point cloud density was 7 points per square meter. The pixel size (GSD) was 1.5 meters.

Low-altitude images (flight altitude of 108 meters) were obtained using an Un-manned Aerial Vehicle (UAV) DJI Mavic 3 Multispectral, equipped with an RTK module. The flight took place on June 28, 2025. Images were captured in the following spectral ranges: visible (Red, Green, Blue), Red Edge, and Near Infrared (NIR). The pixel size was 5 centimeters.

The acquired images were aligned and processed into orthophotomaps using Agisoft Metashape software in both cases. The point clouds in LAS format were grouped into datasets and processed into a digital elevation model (DEM) and a digital terrain model (DTM) using ArcGIS Pro 3.2.

GIS ANALYSIS

The process initially involved using orthophotomaps derived from images captured in the Green and NIR bands to generate information about the extent of the hydrographic network automatically. The Near Difference Water Index (NDWI) was calculated using a raster calculator (the tool in ArcGIS Pro 3.2.0). The NDWI is used to identify the presence of flowing water by analyzing the specific reflectance of the water surface relative to its surroundings. The index was computed through pixel algebra by dividing the green (GREEN) and near-infrared (NIR) bands according to the formula:

$$(GREEN - NIR) / (GREEN + NIR) \text{ (McFeeters, 1996)}$$

NDWI values range from -1 to 1, with values greater than 0 indicating water-covered areas (McFeeters, 2013). The resulting NDWI raster was reclassified in the next step using the equal interval method and then converted into a vector layer.

Point clouds were converted into LAS datasets for further analysis and subsequently transformed into a Digital Elevation Model (DEM). By adjusting the symbology, the lowest points representing the riverbed were identified.

All the abovementioned analyses were performed using ArcGIS Pro 3.2 software.

FIELD AND STATISTICAL RESEARCH

To verify the accuracy of remote detection of the river's course relative to its actual path in the field, measurements were conducted on August 29, 2024, using a GPS receiver Carlson BRx7. A total of 53 points were measured in the PUWG 1992 coordinate system at accessible locations within different parts of the riverbed (see Fig. 1).

Subsequently, the distance between the automatically generated line representing the river's course and each measured point within the riverbed was measured using Near Distance. Then, the Pearson correlation coefficient was used to assess the correlation between the distances obtained for the line generated based on aerial images taken at medium and low altitudes.

The Pearson correlation coefficient is defined as the ratio of the covariance between two variables to the product of their standard deviations, and it is calculated using the following formula:

$$\rho = \text{cov}(X, Y) / (\sigma_x * \sigma_y) \text{ (Cohen, 1988)}$$

In this context, cov represents the covariance, while σ_x and σ_y denote the standard deviations

of variables X and Y, respectively. The coefficient's values are confined within the closed interval $[-1, 1]$. A higher coefficient value indicates a stronger correlation.

RESULTS AND DISCUSSION

DATABASE STRUCTURE

Firstly, survey research was conducted. All respondents (i.e., 93 individuals) indicated the necessity of specifying the official name of the watercourse. Additionally, attributes such as the name of the water body's unit, information about the owner, and the character of the water were considered important. Conversely, the flow direction of the watercourse and the comments field were regarded as less significant. The greatest discrepancies in responses concerned the need to include alternative (other existing) names of the watercourse and the date of data updates (Fig. 3). In response to the question about additional necessary attributes, there were frequent suggestions emphasizing the need to determine the mileage of the watercourse, which is only possible once the vector layer depicting the course of the river is accurately defined.

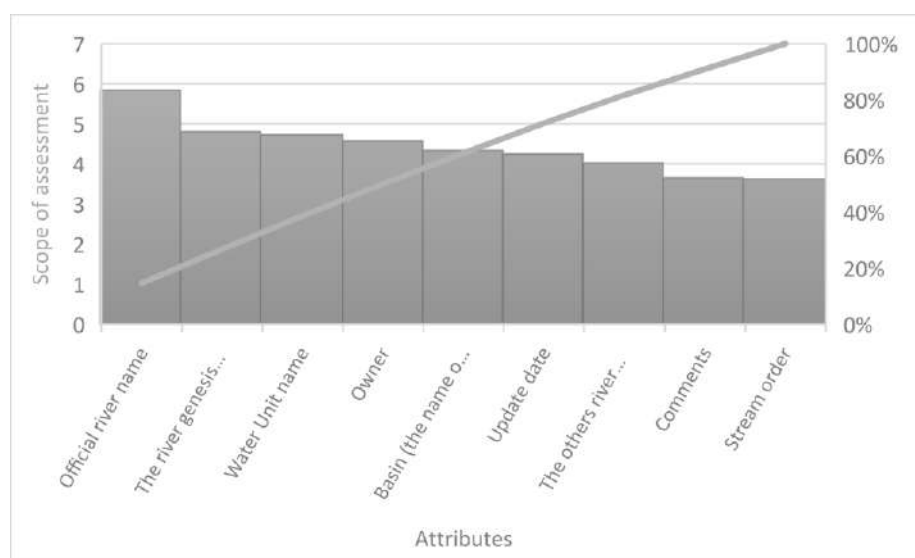


Fig. 3: Results of the survey regarding important attributes of the surface water database. Source: Own study.

Based on the survey results, the authors in Fig. 4 propose a scheme for a surface water database that can act as an inventory. It should be noted that the length field should include the length according to the field information in kilometers (in the for-mat of 0.00), as it will be different from the length of the polyline representing the watercourse (due to the transformations associated with the relief when converting the length using the algorithm).

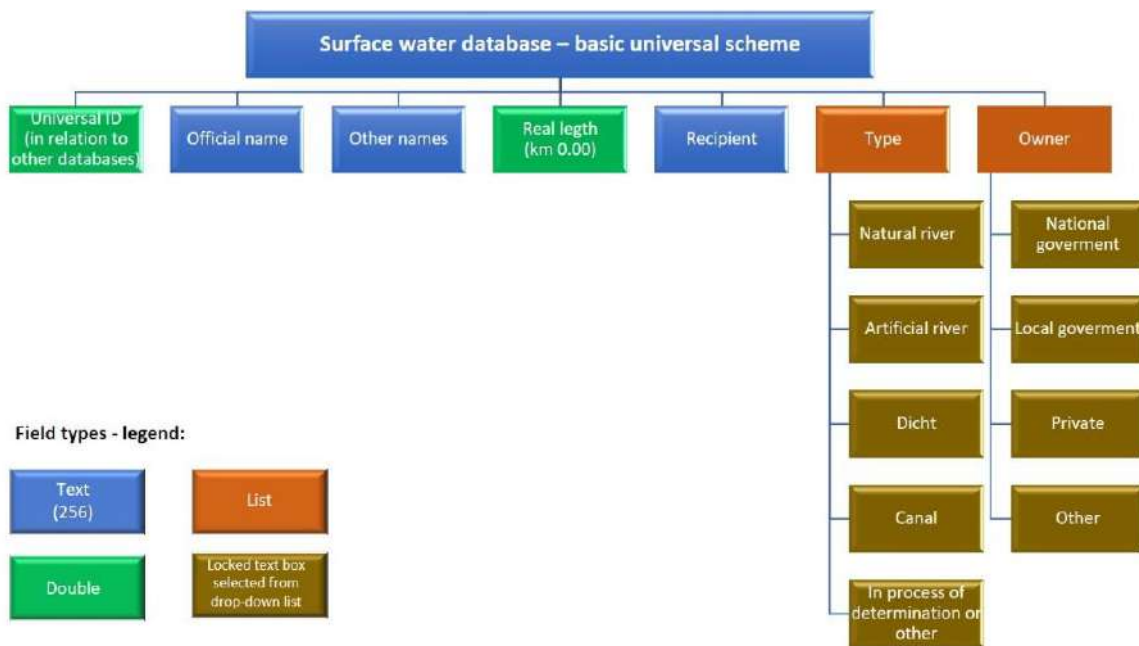


Fig. 4: Proposed attribute scheme of the watercourse layer. Source: own study.

THE CURRENT COURSE OF THE HYDROGRAPHIC NETWORK – WORKFLOW

Once the attribute structure has been created, the next step is to properly drawing in the objects. Based on previous research (under publication), the following scheme for processing photogrammetric images into vector data about the hydrographic network was adopted (Fig. 5):

1. Creation of an orthophotomosaic from images acquired in the Green spectrum and the NIR spectrum.
2. Processing of orthophotomosaics based on the NDWI index.
3. Reclassification of NDWI orthophotomosaics (equal intervals at 0.1 intervals).
4. Raster to polygon transformation (classes representing NDWI values > 0).
5. Simplifying the polygon representing the river reach and converting it into a line.
6. Verification with DEM at 0.5 m interval of the lowest points of the terrain (riverbed) - from the mouth downstream.

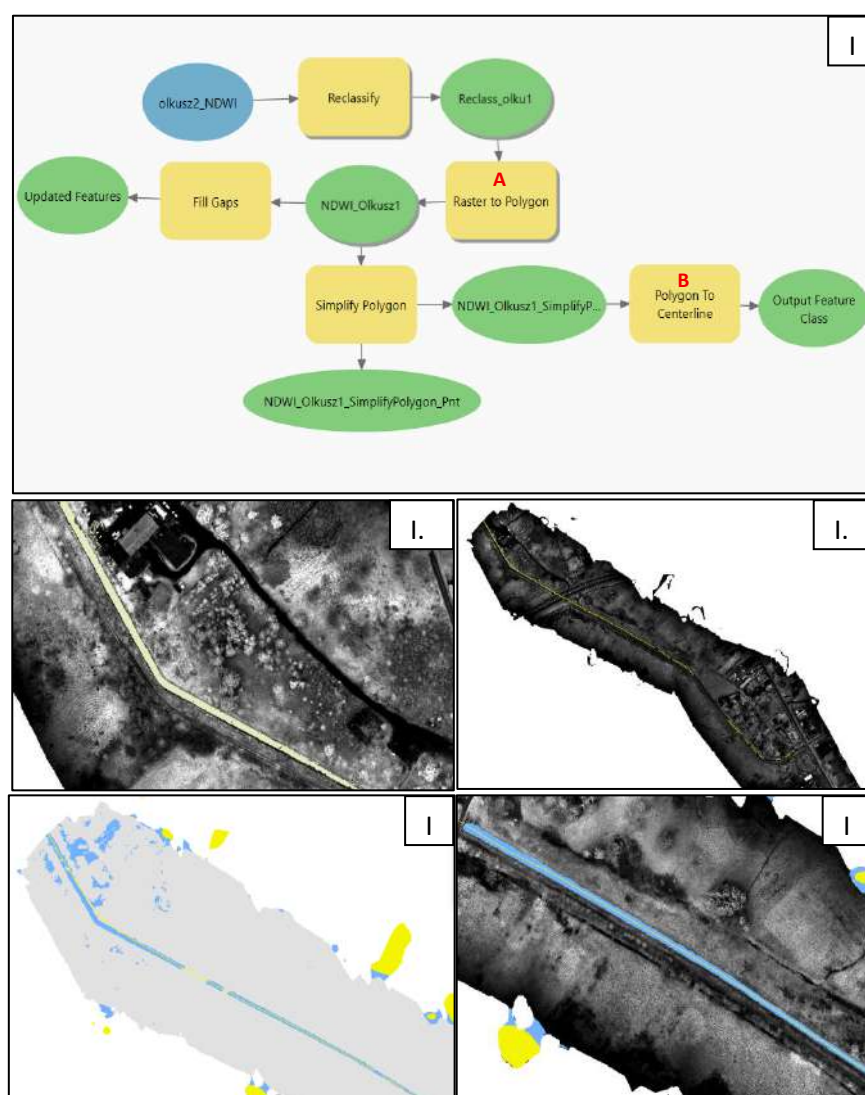


Fig. 5: I - workflow of processing NDWI imagery to produce hydrographic network information automatically. I.A - the effect of using the raster to polygon tool - the extent of the river in the form of a vector polygon. I.B - the effect of using the Polygon to centerline tool - producing a line depicting the course of a watercourse based on the generated polygon representing the river reach. II - changing the symbolization of the DEM so that only areas representing the elevation of 348 m above sea level are visible. III - symbolization of the DEM so that only areas representing the elevation of 348.5 m above sea level are visible. Source: own study.

Verification of the course of a watercourse based on DTM/DEM is ineffective in an area densely covered with vegetation (numerous artifacts - elevations or inability to extract points representing the ground). In general, however, using the appropriate symbolization, it is easy to extract the lowest points in relation to the environment, i.e. those representing the course of the riverbed. NDWI, on the other hand, does an excellent job of penetrating through vegetation and detecting water between plants.

Using both methods complementarily, it is possible to indicate the actual course of the hydrographic network with high accuracy. A DEM or DTM gives a general terrain picture, while NDWI helps isolate water even among dense vegetation.

COMPARISON OF ACCURACY WITH FIELD MEASUREMENTS

To investigate whether the information obtained from aerial imagery captured at medium altitude (aerial photogrammetric flight) is consistent with the data derived from low-altitude remote sensing (collected using UAV), the polylines generated based on these data were compared against ground survey measurements.

The measurements were performed using a precise GPS receiver at locations where it was possible to mark a point in the center of the watercourse. It should be noted that there was no possibility to delineate the full course of the river in the field for safety reasons, such as steeply terraced banks, dense vegetation, or unfavorable terrain. Table 1 in the appendix presents the distances from the measured points, obtained using the GPS receiver, to the line determined from aerial imagery and UAV images.

The width of the riverbed at the mouth is 2 m, while the maximum distance of automatically drawn polylines (based on NDWI and DTM/DEM) is more than 6 m for aerial photos, and more than 4 m for drone photos. For the distance of GPS points from the polylines drawn automatically from low-altitude photos, the other basic statistics (mean or median) are also lower (Table 1).

The line drawn from the aerial photo is located more than 2 m from the point measured in the field in the center of the trough in 18.5% (10 points out of 54). In the case of the line drawn from photos taken with a UAV, 14 points out of 54, i.e. 26%, are located more than 2 m from the point measured in the field.

The line drawn from aerial photography is located more than 1 m from the point measured in the field in the center of the trough in 52% (28 points out of 54). As for the line drawn from photos taken with a UAV, 25 points out of 54 i.e. 46% are located more than 1 m from the point measured in the field.

Table 1. Basic statistical quantities about the distances from the measured points, obtained using the GPS receiver, to the line determined from aerial imagery and UAV images

	Distance of the GPS point from the line determined from the aerial imagery	Distance of the GPS point from the line determined from the UAV imagery
MAX	6.36562417398	4.84815567378
MIN	0.07921604258	0.04516403421
AVERAGE	1.40603674223	1.27317336645
MEDIAN	1.08062597602	0.78263403733

Therefore, a general trend indicates that the river's course was delineated with greater accuracy based on photogrammetric data collected through low-altitude re-mote sensing.

Additionally, a Pearson correlation test was conducted to examine whether there is a correlation between the distances of the lines drawn from aerial images and low-altitude images relative to points marked with GPS in the Imielinka watercourse. The correlation coefficient was 0.836, which is statistically significant (Fig. 6). To confirm the high agreement, a non-parametric Sign test was also performed, yielding a p-value of 0.892. Since $p\text{-value} > 0.05$, the null hypothesis H_0 : The two samples follow the same distribution can be accepted. Statistical analyses thus demonstrated a high similarity between the course of the watercourse delineated based on aerial imagery at medium and low altitudes.

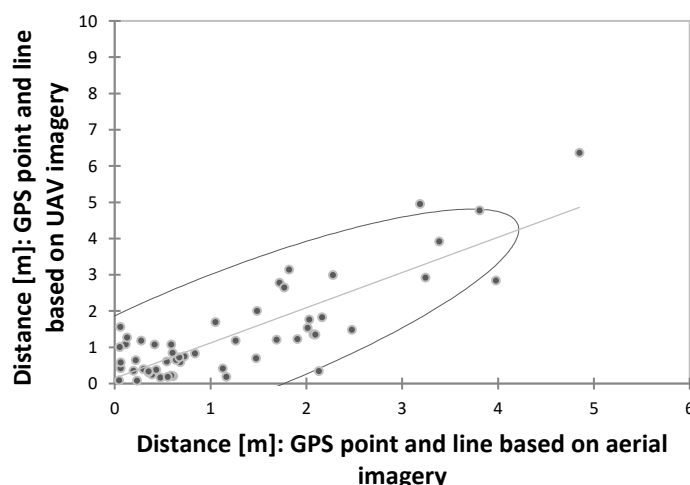


Fig. 6: The result of Pearson's correlation between the distances of the lines drawn based on medium- and low-altitude aerial photos from points in the Imielinka watercourse bed. Source: own study.

DISCUSSION

The foundation of any spatial database is attribute data. These data determine the ability to generate queries for definition or selection and produce a spatial image according to specified criteria (Bernardo et al., 2024). The desired scope of such data often results from the empirical experience of operators who input and process the data (Żywiołek & Nedeliaková, 2019). Therefore, the universal range of attribute data for water records presented in this work is based on survey data among water management employees. However, it should be noted that the survey was conducted exclusively in Poland, and the level of technological advancement and needs, including geographic information systems and remote sensing systems, vary across different regions of Europe and the world (Dritsas & Trigka, 2025). For this reason, survey results, although conducted in various geographic regions, may exhibit subjectivity,

undermining the universality of the proposed database.

The surveys often indicated that there was a lack of information on the length of the watercourse. Creating a layer with the kilometer markers requires a few simple steps (dividing the line representing the watercourse into equal segments and determining points at the beginning and end of each segment) (Janczewska et al., 2023). However, determining the river's length properly depends on accurate spatial databases, publicly available as official, unified, and geometrically correct data sources (which helps avoid discrepancies in data sets, etc.) (Cadieux et al., 2020; Xiangyong et al., 2021; Janczewska et al., 2025).

It should be noted here that data consistency (including hydrographic data) is desirable and enshrined in international documentation. Examples include the INSPIRE Directive (EU) and the USGS National Hydrography Dataset (NHD), as the authors emphasize in their earlier research (Janczewska et al., 2025). The INSPIRE Directive (EU) highlights the importance of harmonized spatial data infrastructures among member countries, promoting the use of standardized data frameworks and quality requirements to ensure data reliability and interoperability (Directive 2007/2/EC). Taking a step further, the USGS National Hydrography Dataset (NHD) in the United States provides a comprehensive and geometrically consistent hydrographic database, which is updated and validated regularly due to quality control procedures (USGS, 2025).

Every method of verifying or delineating a linear object's course has limitations. Although it might seem that marking the watercourse in the field would allow for the most precise indication of its course, it should be noted that it was impossible to obtain the coordinates of a point located within the watercourse in many cases. The reasons included a lack of access to the watercourse (e.g., steep banks with an inclination $>80^\circ$) or obstructions such as trees overhanging the watercourse that disturb positioning.

Dense vegetation both within the watercourse and along the banks is the most common cause of noise in remote sensing imagery (Mehmood et al., 2022; Zhou et al., 2021). Other noise sources include variability in lighting conditions during data acquisition (e.g., local cloud cover) and incorrect interpretation of the reflected wave spectrum (Gawlikowski et al., 2022). Consequently, there are issues with pixel classification based on similarity in radiometric resolution (Dai et al., 2025). The information obtained about the course of the Imielinka River based on the NDWI index calculated from aerial images was significantly less precise (in many places, the watercourse was not visible or asphalt/concrete surfaces had similar values

to water) compared to the results obtained using this index on drone-acquired images.

The inverse relationship, on the other hand, was noted in the case of digital models. In the case of aerial imagery, it was a DTM based on a point cloud, from which it was possible to select only those points that represent the ground (tool: generate ground). In the case of imaging obtained from a drone, only a DEM with a lower spatial resolution was created. In areas where the riverbed was covered, the DEM was completely unhelpful in determining the course of the watercourse. Despite this, M. Łacka (2021), based on the DEM created from photos acquired with the UAV, analyzed the shoreline zone.

Nevertheless, high-density point elevation data from airborne laser scanning is commonly used to detect aquatic objects. This is due to the high sampling density, including between vegetation and other objects covering the watercourse. Increasingly, models based on neural networks are being used to classify a given terrain layer automatically (Jussila et al., 2024). Thus, in the case of laser scanning, it is not the data acquisition ceiling that matters, but the density of points per square meter. For this reason, in the presented research, the manual symbolization of a DEM produced based on a point cloud made it possible to indicate the river's course in its entirety. Another way is to generate contour drawings or modified terrain profiles (Stateczny et al., 2023).

Considering the basic statistical quantities, the line based on low-altitude imagery was closer to the points measured in the field than the line determined based on aerial imagery. On average, however, this magnitude did not exceed 1.4 m, so both lines ran correctly within the riverbed, because the width of the riverbed at the mouth was 2 m (which is wider than the magnitude). However, the selection of the data acquisition ceiling is an individual parameter depending on the purpose of the study. The higher the ceiling, the lower the accuracy, but the greater the range of imaging done under uniform atmospheric conditions (Cha et al., 2024). Statistical studies, however, have shown a high convergence between lines drawn based on aerial photographs of both medium and low ceilings.

It should also be emphasized that the research was motivated by discrepancies in domestic databases. These discrepancies, as well as differences in the timeliness and quality of data (or simply the lack thereof), are even more pronounced at the international level. The proposed methodology is universally applicable (applicable at the international level) and complies with current standards, as well as meeting the requirements of strategic documents calling for data interoperability.

Importantly, it is essential to include relevant attribute data on data acquisition parameters, which is a requirement of the ISO 19115 standard. This international standard for geographic information metadata advocates for detailed documentation of data quality, positional accuracy, and lineage, facilitating data sharing and integration across different systems (ISO 19115-1, 2014). Also another ISO norm no. 19157 should be considered – the norm for data quality assessment, which is particularly important when using neural networks for terrain classification. What is more, there are international best practices, such as the USGS LIDAR Base Specification, which emphasize the importance of point density for accurate terrain modeling and feature extraction (USGS, 2025). There are therefore many guidelines and standards whose application will also ensure the interoperability of hydrographic data on both a national and international scale.

CONCLUSIONS

The aim of the research was to identify a comprehensive and optimal methodology for creating water inventory, from the acquisition of hydrographic data, through its processing, to the creation of vector information on the extent of watercourses. Based on existing knowledge and conducted analyses, the presented research proposed an optimal attribute structure and workflow for the automated acquisition and processing of photogrammetric imagery into vector information of the hydrographic network (Fig. 4). In addition, in order to achieve the optimization objective, we investigated which remote water detection threshold is more effective. It was found that although images acquired using UAVs offer higher precision (compared to points measured within the watercourse using a precise GPS receiver), aerial images can also provide this information with comparable accuracy.

The application of the proposed methodology may primarily have administrative significance in terms of optimal water management. By using a uniform method of data collection, processing and updating, it is possible to immediately determine the location of events on surface waters (e.g. oil spills, fish kills), model flood risk or respond to emergency situations (forecasting and decision-making regarding the current extent of water). In addition, it enables the regulation of legal status (extent and ownership of registered plots) and verification of the cumulative impact of pollution.

The best input materials to accurately map the hydrographic network in space are a DTM (generated from a dense LAS point cloud with a symbolization interval of approximately 0.5 meters) and multispectral images processed using the NDWI index. In this way, the automatically delineated line representing the watercourse falls within the riverbed

boundaries. Even field measurements of the watercourse course using a GPS receiver are not feasible for capturing the entire course. Therefore, it is impossible to find a perfect and universal method; the key lies in optimally selecting input materials and methods, considering cost and time efficiency.

The choice of data acquisition altitude depends on the scope of the project and the desired accuracy. A significant ongoing challenge is the raster or scanning data size and the required storage capacity. Further research is necessary to optimize this process and explore the use of machine learning tools or neural networks (like a U-Net or CNN) to reduce the memory needed for processing.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Thomas Riley (BA Hons English Literature, University of Central Lancashire) for improving the language quality of this manuscript.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare that they have no conflict of interest.

INSTITUTIONAL REVIEW BOARD STATEMENT

None

REFERENCES

1. Absalon, D., Matysik, M.H., Woźnica, A. and Janczewska, N.A. (2023) “Detection of changes in the hydrobiological parameters of the Oder River during the ecological disaster in July 2022 based on multi-parameter probe tests and remote sensing methods,” *Ecological Indicators*, 148, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110103>.
2. Alvarez-Vanhard, E., Corpetti, T. and Houet, T. (2021) “UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review,” *Scientific Remote Sensing*, 3, pp. 100019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100019>.
3. Baye, M. (2020) “Watershed delineation by Arc Hydro tools,” *International Journal of Scientific Research*, 9, pp. 956–961. Available at: <https://doi.org/10.21275/SR20516144818>.
4. Bernardo, B.M.V., Mamede, H.S., Barroso, J.M.P. and Santos, V.M.P.D. (2024) “Data governance & quality management—Innovation and breakthroughs across different

fields,” *Journal of Innovation & Knowledge*, 9, pp. 100598. Available at:

<https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100598>.

5. Cadieux, N., Kalacska, M., Coomes, O.T., Tanaka, M. and Takasaki, Y. (2020) “A Python Algorithm for Shortest-Path River Network Distance Calculations Considering River Flow Direction,” *Data*, 5, pp. 8. Available at:
<https://doi.org/10.3390/data5010008>.
6. Cha, Y.-J., Ali, R., Lewis, J. and BüyüközTürk, O. (2024) “Deep learning-based structural health monitoring,” *Automation in Construction*, 161, pp. 105328. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105328>.
7. Cohen, J. (1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed., Routledge, London, UK. Available at: <https://doi.org/10.4324/9780203771587>.
8. Dai, J., Ding, L., Zhang, T. and Wang, J. (2025) “RCFC: Radiometric resolution compression of remote sensing images considering feature reconstruction and color consistency,” *Digital Signal Processing*, 164, pp. 105255. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.dsp.2025.105255>.
9. Danaher, T. and Collett, L. (2006) “Development, optimisation and multi-temporal application of a simple Landsat based water index,” *Proceedings of the 13th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference*, Canberra, Australia, 20–24 November,
10. European Parliament and Council (2007) Directive 2007/2/EC of 14 March 2007 establishing an infrastructure for spatial information in the European community (INSPIRE).
11. Doskocz, A. (2015) “Zakres możliwych błędów w bazach danych map wielkoskalowych,” *Acta Scientiarum Polonorum, Geodesia et Descriptio Terrarum*, 14(1-2), pp. 19–34.
12. Dritsas, E. and Trigka, M. (2025) “Remote sensing and geospatial analysis in the big data era: a survey,” *Remote Sensing*, 17, pp. 550. Available at:
<https://doi.org/10.3390/rs17030550>
13. Drwal, J., Jankowski, A.T., Kaniecki, A., Michalczyk, Z., Berus, T., Jasiński, R., Kokociński, P., Ostrowski, W., Pawlak, W., Gutry-Korycka, M., Pawlak, W., Krazue-Tomczyk, I., and Sikorska, K. (2005) *Wytyczne techniczne GIS - 3 Mapa*

hydrograficzna Polski skala 1:50 000 w formie analogowej i numerycznej. Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

14. ESRI (n.d.) Classify LAS Ground. Available at: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/classify-las-ground.htm> (Accessed: April 15, 2025).
15. Feyisa, L.G., Meilby, H., Fensholt, R., and Proud, S.R. (2014) “Automated water extraction index: a new technique for surface water mapping using Landsat imagery,” *Remote Sensing of Environment*, 140, pp. 23–35. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
16. Gawlikowski, J., Ebel, P., Schmitt, M., and Zhu, X.X. (2022) “Explaining the effects of clouds on remote sensing scene classification,” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, pp. 9976–9986. Available at: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3221788>
17. Hydroportal. (n.d.) Available online: https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/ (Accessed: 17 June 2025).
18. ISO 19115-1:2014. (n.d.) Available online: <https://www.iso.org/standard/53798.html> (Accessed: 18 August 2025).
19. Janczewska, N., Absalon, D., and Matysik, M. (2022) “Assessment of discrepancies between spatial databases of surface waters in the context of water management in Poland,” in Więzik, B. (Ed.) *Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk*, Zeszyt 45, pp. 85–96.
20. Janczewska, N., Matysik, M., and Absalon, D. (2023) “Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland,” *Journal of Hydrology and Regional Studies*, 49, 101486. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>.
21. Janczewska, N., Matysik, M., Absalon, D., Jarzyński, M., and Pieron, Ł. (2025) “Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview,” *Environmental Socio-Economic Studies*, 13(1), pp. 53–62. Available at: <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005>.
22. Janczewska, N., Matysik, M., Absalon, D., Bieda, A. (2025) “Surface flowing waters

covered areas from the cadastre database as a source for the national spatial water database—case study,” *Transactions in GIS*, 29, e70055. Available at: <https://doi.org/10.1111/tgis.70055>.

23. Jussila, A., Koski, C., and Kettunen, P. (2024) “Vectorization of watercourse detection from neural network,” *Abstracts of the International Cartographic Association*, 7, 65. Available at: <https://doi.org/10.5194/ica-abs-7-65-2024>.

24. Kubišta, J. and Surový, P. (2021) “Spatial resolution of unmanned aerial vehicles acquired imagery as a result of different processing conditions,” *Central European Forest Journal*, 67, pp. 148–154. Available at: <https://doi.org/10.2478/forj-2021-0011>.

25. Łacka, M. (2021) “Analysis of algorithms for automatic classification of photogrammetric point clouds to build a digital terrain model in a shoreline area,” *Sci. J. Marit. Univ. Szczecin*, 68, 108–118.

26. Matysik, M., Absalon, D., Janczewska, N., and Woźnica, A. (2025) “Detection of changes in water salinity based on patrol monitoring and remote sensing methods,” *Desalination and Water Treatment*, 321, pp. 100930. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100930>.

27. McFeeters, S.K. (1996) “The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features,” *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), pp. 1425–1432. Available at: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.

28. McFeeters, S. (2013) “Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach,” *Remote Sensing*, 5(7), pp. 3544–3561. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs5073544>.

29. Mehmood, M., Shahzad, A., Zafar, B., Shabbir, A., and Ali, N. (2022) “Remote Sensing Image Classification: A Comprehensive Review and Applications,” *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 5880959. Available at: <https://doi.org/10.1155/2022/5880959>.

30. Messina, G., Peña, J.M., Vizzari, M., and Modica, G. (2020) “A Comparison of UAV and Satellites Multispectral Imagery in Monitoring Onion Crop,” *Remote Sensing*, 12, 3424. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs12203424>.

31. Mihaylenko, V., Honcharenko, T., Chupryna, K., and Liazschenko, T. (2021)

“Integrated Processing of Spatial Information based on Multidimensional Data Models for General Planning Tasks,” *International Journal of Computing*, 20, 55–62. Available at: <https://doi.org/10.47839/ijc.20.1.2092>.

32. Nasir, A.N., Kansal, A., Alshaltone, O., Barneih, F., Shanableh, A., Al-Shabi, M., and Shammaa, A. (2023) “Deep Learning Detection of Types of Water-Bodies Using Optical Variables and Ensembling,” *Intelligent Systems and Applications*, 18, 200222. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200222>.

33. Oleński, J. (2005) *Rejestry administracyjne i systemy katastralne w infrastrukturze informacyjnej państwa*. Warszawa: Uniwersytet Warszawski. Available at: <https://wodgik.katowice.pl/www/pobierz/wydarzenia/2005/Olenski.pdf> (Accessed: April 15, 2025).

34. Pervolarakis, Z., Zidianakis, E., Katzourakis, A., Evdaimon, T., Partarakis, N., Zabulis, X., and Stephanidis, C. (2023) “Three-Dimensional Digitization of Archaeological Sites—The Use Case of the Palace of Knossos,” *Heritage*, 6, 904–927. Available at: <https://doi.org/10.3390/heritage6020050>.

35. Rad, A.M., Kreitler, J., and Sadegh, M. (2021) “Augmented Normalized Difference Water Index for Improved Surface Water Monitoring,” *Environmental Modeling & Software*, 140, 105030. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105030>.

36. Rahmani, B. (2021) “GIS and Remote Sensing in Water Resource Engineering,” *Kardan Journal of Engineering and Technology*, 3, 42–61. Available at: <https://doi.org/10.31841/KJET.2021.19>.

37. Samson, G.L., Lu, J., and Xu, Q. (2017) “Spatial Databases: An Overview,” in *Ontologies and Big Data Considerations for Effective Intelligence*. Hershey, PA: IGI Global, pp. 111–149. Available at: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2058-0.ch003>.

38. Solon, J., Borzyszkowski, J., Bidłasik, et al. (2018) “Physico-Geographical Mesoregions of Poland: Verification and Adjustment of Boundaries on the Basis of Contemporary Spatial Data,” *Geographia Polonica*, 91(2), 143–170. Available at: <https://doi.org/10.7163/GPol.0115>.

39. Stateczny, A., Halicki, A., Specht, M., Specht, C., and Lewicka, O. (2023) “Review of Shoreline Extraction Methods from Aerial Laser Scanning,” *Sensors*, 23, 5331. Available at: <https://doi.org/10.3390/s23115331>.

40. Sun, S., Xue, Q., Xing, X., Zhao, H., and Zhang, F. (2024) “Remote Sensing Image Interpretation for Coastal Zones: A Review,” *Remote Sensing*, 16, 4701. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs16244701>.
41. Taher, S.M. (2020) “GIS and Remote Sensing Application in Water Management in Agriculture Field,” *ScienceOpen*
42. United States Geological Survey (USGS) (2025) Available at: <https://www.usgs.gov> (Accessed: 18 August 2025).
43. Wojciechowski, R.A. (2013) Model administracji rejestrów publicznych. Wybrane zagadnienia. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Seria: Administracja i Zarządzanie.
44. Xiangyong, M. and Yindi, Z. (2021) “IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.” 820, 012021.
45. Zhou, T., Fu, H., Sun, C., and Wang, S. (2021) “Shadow Detection and Compensation from Remote Sensing Images under Complex Urban Conditions,” *Remote Sens.*, 13, 699. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs13040699>.
46. Żywiołek, J. and Nedeliaková, E. (2019) “Identification of Attributes of Information as an Element of Management Security of Information in the Company,” in *Proceedings of the Quality Production Improvement – CQPI*, Sciendo, 1(1), 170–177. Available at: <https://doi.org/10.2478/cqpi-2019-0023>.

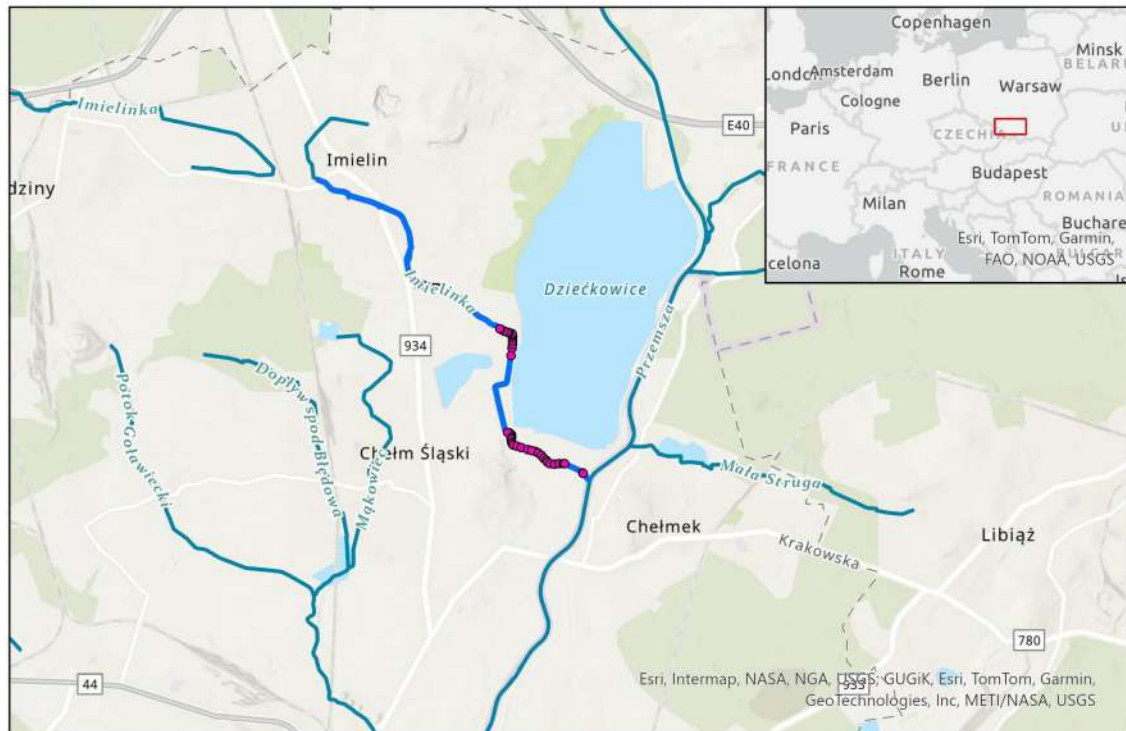
Table 1. Basic statistical quantities about the distances from the measured points, obtained using the GPS receiver, to the line determined from aerial imagery and UAV images

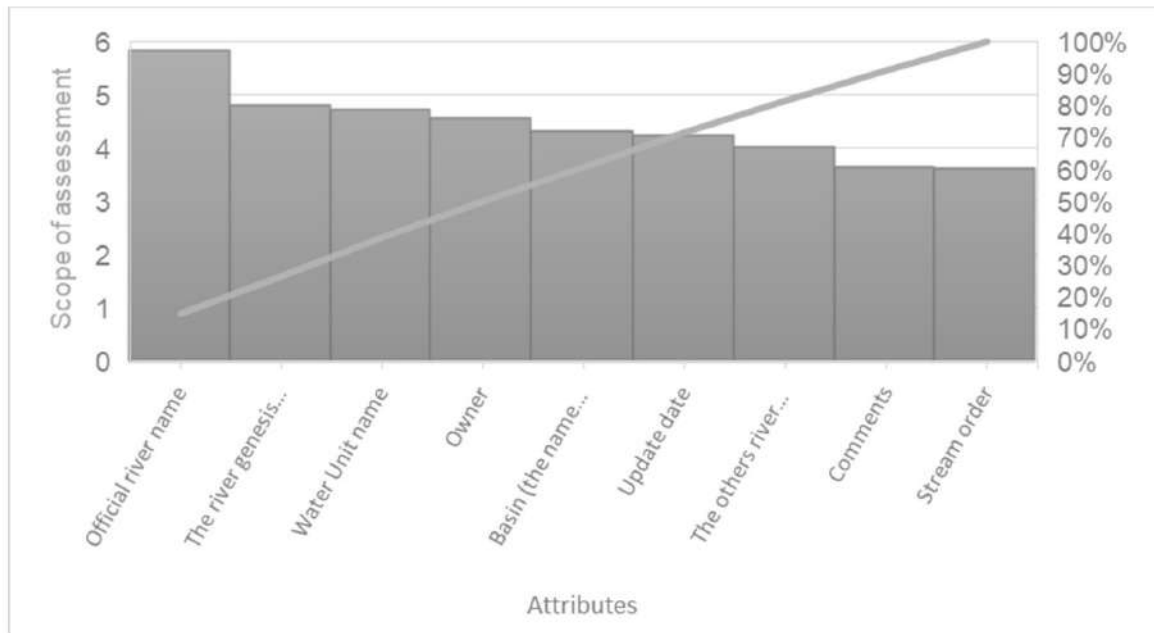
	Distance of the GPS point from the line determined from the aerial imagery	Distance of the GPS point from the line determined from the UAV imagery
MAX	6.36562417398	4.84815567378
MIN	0.07921604258	0.04516403421
AVERAGE	1.40603674223	1.27317336645
MEDIAN	1.08062597602	0.78263403733

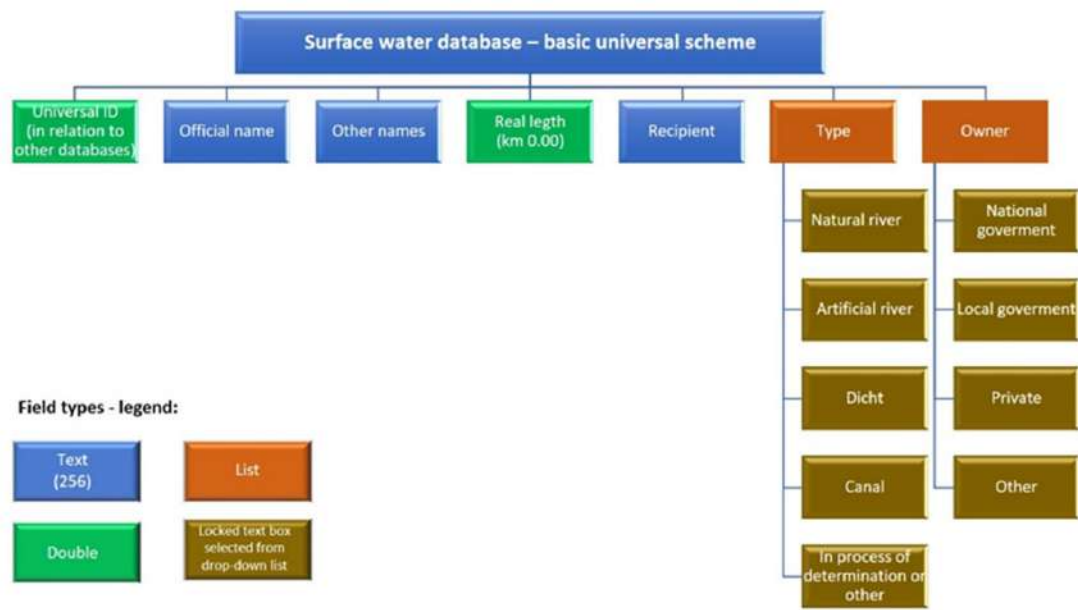
Table 2. The distances from the measured points, obtained using the GPS receiver, to the line determined from aerial imagery and UAV images

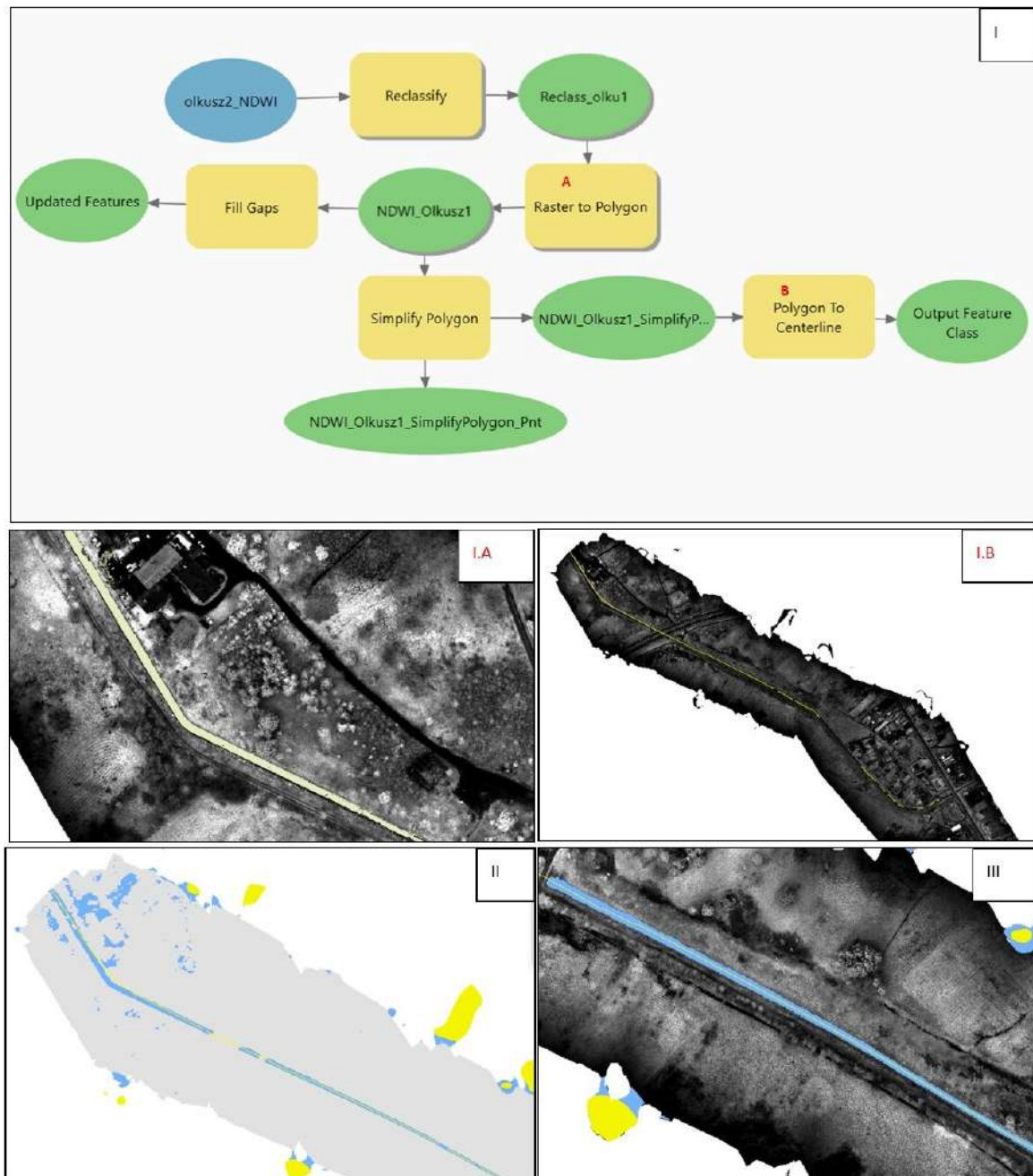
Lp.	X	Y	Distance of the GPS point from the line determined from the aerial imagery	Distance of the GPS point from the line determined from the UAV imagery
1	5553662.3240	6587091.9930	0.20123473581	0.61120941410
2	5553662.3270	6587091.9710	0.22340259726	0.58918978673
3	5553686.1510	6587094.2920	1.35950727815	2.07412499404
4	5553713.1050	6587067.2010	2.92393379020	3.24197553216
5	5553721.9260	6587044.2420	2.84521831154	3.97735801300
6	5553653.0730	6587091.7100	0.24468030310	0.39026633416
7	5554854.3470	6587100.8930	0.35596994974	0.19725880052
8	5554755.5080	6587085.6840	0.37687069952	0.43301925788
9	5554912.2290	6587108.4610	0.08891688128	0.04516403421
10	5554955.8490	6587106.4790	1.48677535474	2.47426261953
11	5555727.5200	6585817.5230	2.77874144754	1.71913735639
12	5555711.9850	6585831.1430	6.36562417398	4.84815567378
13	5555711.2750	6585890.7730	0.69380229373	1.47682472104
14	5555697.5570	6585935.5130	4.94803593652	3.18517533876
15	5555678.6000	6585977.7690	0.39531537535	0.30010402643
16	5555680.9010	6585986.4630	0.18469115902	1.16614456089
17	5555687.3960	6585998.6640	3.91787638830	3.38646075770
18	5555755.0850	6585797.8010	4.77991842586	3.80750225173
19	5553631.0354	6587091.0778	0.16705608049	0.47832405239
20	5553597.6801	6587094.1407	0.82979868294	0.83749625632
21	5553565.6094	6587099.7812	0.84969382634	0.60206937165
22	5553549.1327	6587120.8339	1.08993086869	0.11473010311
23	5553533.5209	6587164.4437	1.21307440569	1.69010130833
24	5553515.0806	6587228.2676	2.00632118934	1.48428215329
25	5553490.7273	6587313.5387	1.69091614127	1.05099721187
26	5553460.9580	6587419.8051	1.18033018455	0.27592336952
27	5553477.3579	6587362.1554	1.08074277965	0.41587973953
28	5553444.4476	6587458.6399	1.08050917238	0.58891686599
29	5553409.7457	6587495.5614	1.27261485667	0.12798261565
30	5553373.3508	6587530.0708	1.01081128972	0.05102895381
31	5553342.2554	6587560.4140	0.41149089872	1.12897692129
32	5553316.0771	6587581.5558	3.14377384887	1.82133974934
33	5553300.4576	6587616.8566	2.65135737292	1.76841489041
34	5553295.8684	6587670.9995	1.53467329132	2.01262285992
35	5553297.0140	6587733.1934	0.64178147057	0.21846785248
36	5553296.2717	6587794.4748	0.75140323050	0.72777181835
37	5553296.8354	6587813.2238	0.30973076970	0.35170007331
38	5553176.3561	6588051.7690	0.18380912995	0.55485449285
39	5553170.9389	6588058.2142	1.22971799893	1.90816198374
40	5554994.3451	6587106.4858	0.61276807592	0.54403990244

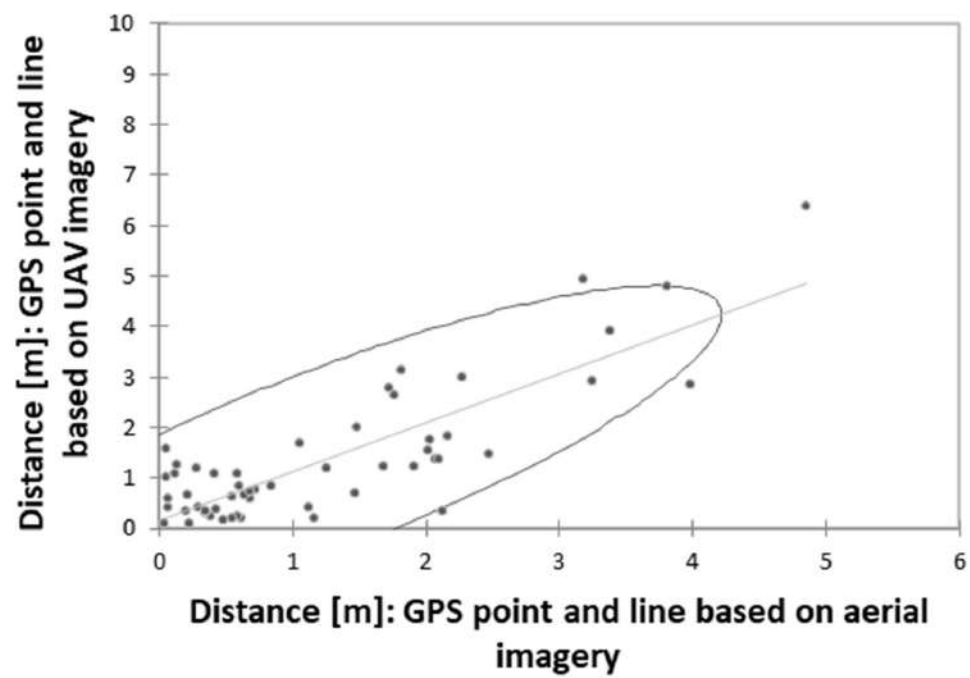
41	5555028.7390	6587105.3119	0.58972287695	0.68233765549
42	5555045.3585	6587103.6421	0.65729132994	0.64137737006
43	5555053.2452	6587098.2304	1.56409946928	0.06006766963
44	5555067.4833	6587062.8263	0.42401330593	0.06154681054
45	5555075.8673	6587040.5248	0.58260147118	0.06338715582
46	5555089.5262	6586997.8929	1.35501815801	2.09386247506
47	5555115.4572	6586952.9630	2.99398821416	2.27722926894
48	5555121.9778	6586938.5733	0.72520992772	0.67550889887
49	5555680.6777	6586026.3729	1.76458335455	2.03021234630
50	5555673.2435	6586060.9894	1.82312584075	2.16272172264
51	5555668.7313	6586084.4511	0.34458405986	2.13136738382
52	5555669.6648	6586107.1519	0.07921604258	0.23351891460
53	5555671.3579	6586129.5683	0.33592788335	0.35176127483
54	5555673.0572	6586152.4489	1.18634532812	1.26309929097











Manuscript body

[Download source file \(4.07 MB\)](#)

Tables

Table 1 - [Download source file \(14.84 kB\)](#)

Table 1 text

Table 2 - [Download source file \(20.12 kB\)](#)

Supplementary - table

Figures

Figure 1 - [Download source file \(377.03 kB\)](#)

Figure 2 - [Download source file \(88.77 kB\)](#)

Figure 3 - [Download source file \(134.49 kB\)](#)

Figure 4 - [Download source file \(295.37 kB\)](#)

Figure 5 - [Download source file \(96.44 kB\)](#)

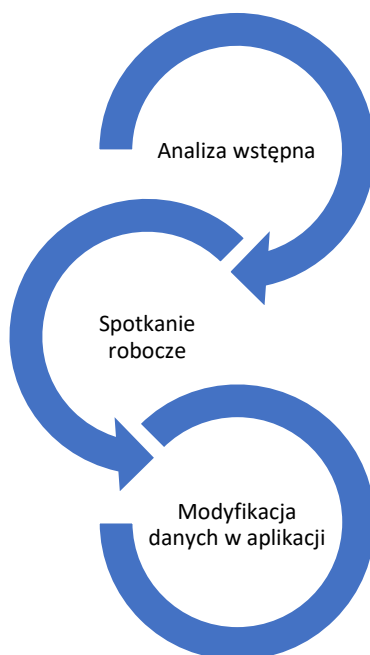
Załącznik nr 1
do Zarządzenia Dyrektora Regionalnego
Zarządu Gospodarki Wodnej
w Gliwicach nr/2025 z dnia
w sprawie wewnętrznej ewidencji wód

.....PROJEKT.....

INSTRUKCJA

ewidencjonowania śródlądowych wód powierzchniowych stanowiących własność Skarbu Państwa we władaniu Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach

1. Ewidencja wód dla potrzeb wewnętrznych Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach (dalej: RZGW w Gliwicach) została oparta na warstwach komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000 oraz udostępniona w formie warstwy przestrzennej z ustaloną na podstawie badań ankietowych strukturą atrybutową.
2. Wewnętrzna ewidencja wód prowadzona jest w postaci aplikacji wielodostępnej pod linkiem: <https://us-wnp.maps.arcgis.com/apps/instant/webeditor/index.html?appid=e8a0f013f97445d4bbec4f0cc1814578>.
3. Komórką wiodącą w zakresie wewnętrznej ewidencji wód jest Wydział
4. Każdy z pracowników RZGW w Gliwicach rozpatrując sprawy związane z charakterem wód, przebiegiem cieku, kwestiami własnościowymi, utrzymaniem i innymi zadaniami statutowymi związanymi z obiektem hydrograficznym zobligowany jest do weryfikacji oraz aktualizacji jego statusu w wewnętrznej ewidencji wód.
5. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości lub jakiegokolwiek wątpliwości aktualizacja statusu obiektu hydrograficznego powinna następować według następującego schematu:



Założenia analizy wstępnej

6. Analiza wstępna powinna opierać się co najmniej na poniższych źródłach:
 - a. Warstwa odcinków cieków komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:10 000) (*cieki_o*);
 - b. Ewidencja wód i urządzeń wodnych będących w utrzymaniu PGW WP RZGW w Gliwicach (prowadzona tabelarycznie przez Wydział RPU lub Działy ZPU);
 - c. Rejestr pozwoleń wodnoprawnych wydanych w miejscu przebiegu analizowanego obiektu (prowadzony przez Wydział SIGW);
 - d. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie śródlądowych wód powierzchniowych lub części stanowiących własność publiczną (Dz.U. 2003 nr 16 poz. 149 – uchylone);
 - e. Audyt nieruchomości prowadzony przez Wydział RUM/informacje zawarte w Bazie Grunty;
 - f. Warstwy przestrzenne urządzeń wodnych (zgromadzonych w systemie GeoMelio) oraz warstwy archiwalnej ewidencji melioracji;
 - g. Warstwa cieków (kod: SWRS_L) w Bazie Danych Topograficznych (dostęp w serwisie geoportal.gov.pl);
 - h. Numeryczny Model Terenu (Warstwy cieniowania i hipsometrii dostępne w serwisie geoportal.gov.pl).
7. W przypadku, gdy analiza wstępna wykaże rozbieżności oraz będzie wiązała się z wątpliwościami, należy mailowo poinformować bezpośredniego przełożonego wraz ze szczegółowym wyjaśnieniem – wynikami analizy wstępnej. Bezpośredni przełożony przekazuje wyniki analizy regionalnemu koordynatorowi ds. ewidencji wód, informując (przez przekazanie „do wiadomości”) wszystkich swoich bezpośrednich przełożonych oraz Zastępcę Dyrektora RZGW w Gliwicach ds. Usług Wodnych i Zarządzania Środowiskiem Wodnym.
8. Wyznacza się regionalnego koordynatora ds. ewidencji wód w osobie Pana/Pani.....
9. Regionalny koordynator ds. ewidencji wód weryfikuje czy w przedmiotowym temacie była prowadzona korespondencja z podmiotami zewnętrznymi oraz czy został złożony wniosek o ustalenie charakteru wód, a następnie udziela wiążącej informacji lub zwołuje spotkanie zespołu roboczego.

Spotkanie zespołu roboczego

10. W skład zespołu roboczego, który spotyka się jednorazowo dla każdego przypadku za pośrednictwem platformy MS Teams, wchodzi przedstawiciele:
 - a. Wydziału Koordynacji Eksploatacji,
 - b. Wydziału Gospodarowania Mieniem Skarbu Państwa i Współpracy z Użytkownikami Wód,
 - c. Wydziału Zgód Wodnoprawnych,
 - d. Wydziału Systemu Informacyjnego Gospodarowania Wodami,
 - e. Działu Zgód Wodnoprawnych właściwego miejscowo Zarządu Zlewni,
 - f. Działu Utrzymania właściwego miejscowo Zarządu Zlewni,
 - g. Działu Współpracy z Użytkownikami Wód właściwego miejscowo Zarządu Zlewni,
 - h. Właściwego miejscowo Nadzoru Wodnego.

11. W każdym spotkaniu roboczym udział biorą również zastępcy dyrektora RZGW w Gliwicach ds. Ochrony przed Powodzią i Suszą oraz ds. Usług Wodnych i Zarządzania Środowiskiem Wodnym, a także Dyrektor lub Zastępca Dyrektora właściwego miejscowo Zarządu Zlewni, którzy podejmują wiążące decyzje w trakcie spotkania. Koordynator regionalny ds. ewidencji wód moderuje spotkanie oraz sporządza z niego protokół.
12. Koordynator regionalny ds. ewidencji wód po zakończonym spotkaniu wprowadza informacje o ustaleniach do tabeli atrybutów prowadzonej przez siebie warstwy przestrzennej.

Modyfikacja danych w aplikacji

13. Modyfikacji danych w aplikacji dokonuje koordynator regionalny ds. ewidencji wód posiadający uprawnienia kreatora w ramach ArcGIS Enterprise w oparciu o informacje pozyskane w terenie przekazane przez osobę zgłaszającą, a także na podstawie ustaleń zespołu roboczego.
14. Struktura aplikacji została uprzednio opracowana. Dokonanie podstawowych zmian możliwe jest w trybie wyświetlania pod linkiem:

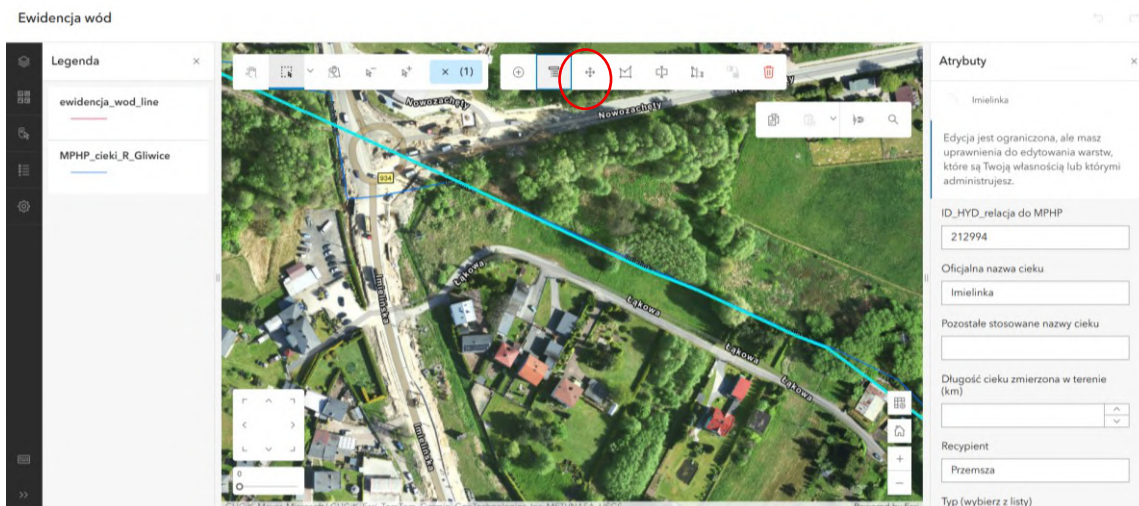
<https://us-wnp.maps.arcgis.com/apps/instant/webeditor/index.html?appid=e8a0f013f97445d4bbec4f0cc1814578>.

W tym celu należy:

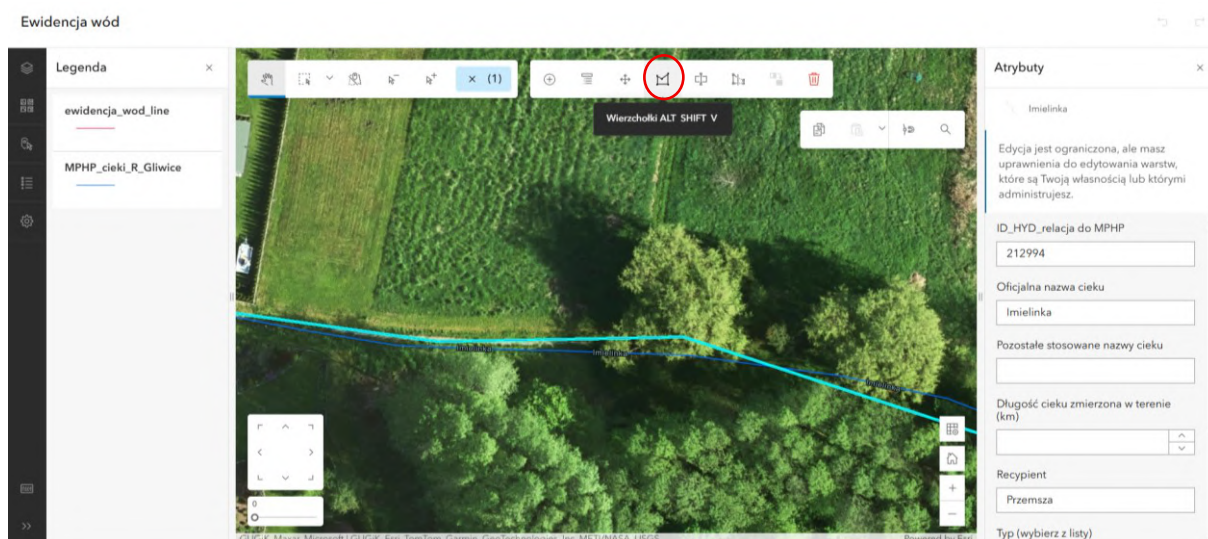
- a. W górnym menu należy wybrać obiekt z warstwy *ewidencja_wod_line*



- b. W przypadku zmiany atrybutów z górnego menu należy wybrać warstwę atrybutów i w wyskakującym menu po prawej stronie wprowadzić zmiany i wybrać „Zapisz”.



- c. W przypadku konieczności zmiany geometrii z górnego menu należy wybrać „Wierzchołki” i przesunąć we właściwe miejsce lub dodać nowe wierzchołki. UWAGA: każda zmiana zapisuje się automatycznie.



- d. W lewym menu (ukrytym) istnieje możliwość zmiany mapy bazowej. Dodanie własnych warstw jest jednak możliwe wyłącznie z pozycji konfiguratora.



15. Jeżeli dokonanie zmiany wymaga interwencji w terenie Zastępca Dyrektora RZGW w Gliwicach ds. Ochrony przed Powodzią i Suszą lub Zastępca Dyrektora RZGW w Gliwicach ds. Usług Wodnych i Zarządzania Środowiskiem Wodnym wyznacza pracowników odpowiedzialnych za wykonanie pomiarów przy pomocy odbiornika GPS lub poprzez wykonanie nalogu fotogrametrycznego, a także pracowników odpowiedzialnych za przetworzenie danych na informację o sieci hydrograficznej oraz określa termin zakończenia prac.

Ustalenie charakteru wód

16. Jeżeli zespół roboczy stwierdzi konieczność złożenia wniosku do ministra właściwego ds. gospodarki wodnej o ustalenie charakteru wód (zgodnie z art. 219 ustawy Prawo wodne), ustala się następujący podział kompetencji:

Właściwa komórka organizacyjna	Zakres czynności	Czas
Właściwy terenowo Nadzór Wodny	- Wykonanie wizji terenowej wraz ze sporządzeniem notatki (w tym wywiad z właścicielami nieruchomości, przez które przebiega analizowany obiekt lub z którymi graniczy) - Przygotowanie opisu elementów hydromorfologicznych wód, w tym: - reżimu hydrologicznego, - ciągłości wód, - warunków morfologicznych	1 miesiąc od dnia otrzymania polecenia
Dział Współpracy z Użytkownikami Wód właściwego miejscowo Zarządu Zlewni	Dokonanie analizy historycznej przynależności wód do publicznych śródlądowych wód powierzchniowych.	1 miesiąc od dnia otrzymania polecenia
Wydział RUM	- Przygotowanie wykazu właścicieli nieruchomości przyległych do wód oraz znajdujących się pod wodami. - Wystąpienie z wnioskami o wypisy z ewidencji gruntów i budynków oraz o mapę sytuacyjno-wysokościową.	Wystąpienie z wnioskami: do 1 tygodnia od dnia otrzymania polecenia. Przygotowanie materiałów: do 2 miesięcy od dnia otrzymania polecenia
Wydział RPU	Wystąpienie do gmin lub innych JST o posiadane informacje w zakresie obiektu oraz związane z jego utrzymaniem (np. dotyczące wykonanych umocnień)	Wystąpienie z pismami: do 1 tygodnia od dnia otrzymania polecenia. Przygotowanie materiałów: do 2 miesięcy od dnia otrzymania polecenia

17. Koordynator regionalny ds. ewidencji wód zarówno inicjuje zbieranie ww. informacji oraz jest odpowiedzialny za ich scalenie i przygotowanie finalnej wersji wniosku o ustalenie charakteru wód.

Przygotowanie własnych danych fotogrametrycznych

- Koordynator regionalny ds. ewidencji wód wspomaga każdy etap przetwarzania i aktualizacji ewidencji oraz prowadzi regularne szkolenia w tym zakresie.
- Zarówno na potrzeby modyfikacji wewnętrznej ewidencji wód, jak i jako materiał do wniosku o ustalenie ich charakteru, zaleca się opracowanie własnych danych fotogrametrycznych. Poniżej zaprezentowano schemat procesu ich przetwarzania.

1

Nalot fotogrametryczny

- Możliwy do wykonania wyłącznie przez osobę posiadającą odpowiednie uprawnienia oraz ubezpieczoną przez PGW WP. W celu wykonania nalogu należy zgłosić się do Wydziału ROA, który przekaze informacje o dostępności sprzętu oraz posiadanym ubezpieczeniu.
- Należy wykonać w zakresach conajmniej: NIR oraz Green, GSD < 5 cm (wysokość nalogu ok. 100 m lub mniej), pokrycie poprzeczne i podłużne conajmniej 30% (rekomendowane >50%).

2

Przetworzenie na ortofotomozaiki oraz Numeryczny Model Terenu

- Proponowane oprogramowanie: Agisoft Metashape
- 1. Scalenie zdjęć (photos alignment)
- 2. Zbudowanie gęstej chmury punktów (building dense cloud)
- 3. Zbudowanie siatki (build mesh)
- 4. zbudowanie tekstury (build texture)
- 5. zbudowanie modelu terenu (build DEM)
- 6. zbudowanie ortofotomozaiki (build orthomosaic)

3

Obliczenie wskaźnika wodnego (NDWI)

- Proponowane oprogramowanie: ArcGIS Pro
- Przeniesienie ortofotomozaik w zakresach NIR oraz Green do programu
- Użycie kalkulatora rastrów do następującego dzielenia międzykanałowego: $(\text{Green}-\text{NIR})/(\text{Green}+\text{NIR})$
- Użycie rekasyfikatora do podziału na dwie klasy (od -1 do 0 oraz od 0 do +1)
- Przekształcenie na warstwę wektorową klasy odpowiadającej wielkością wskaźnika NDWI od 0 do +1

4

Analiza i korekcja przebiegu

- Koordynator regionalny ds. ewidencji wód przesyła z poziomu administratora utworzone dane i udostępnia aplikację do edycji.
- Należy ustawić przezroczystość warstwy NDWI na 50%, zaś wyświetlanie warstwy z NMT ustawić dla poziomu bazowego wysokości odpowiadającej kilometrowi 0+000 (odcinek ujściowy), a następnie zwiększać interwał o maksymalnie 0,5 m stopniowo korygując przebieg cieku.

RAPORT 1/2022

dot. aktualnego stanu ewidencji wód powierzchniowych na obszarze
administracyjnym Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach

Gliwice, wrzesień 2022 r.

Raport został opracowany w ramach projektu: ***Opracowanie metodyki ewidencjonowania śródlądowych wód powierzchniowych z wykorzystaniem narzędzi GIS oraz teledetekcji niskiego pułapu.*** Projekt realizowany jest w ramach **V edycji programu Doktorat Wdrożeniowy.**

Opracowanie: **Natalia Janczewska**

Opiekun naukowy projektu: **dr hab. Magdalena Matysik**

Opiekun pomocniczy: **mgr inż. Marcin Jarzyński**

Instytucje współpracujące:

- Uniwersytet Śląski w Katowicach
- Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gliwicach
- Ministerstwo Edukacji i Nauki

Spis treści

1. Ewidencje przestrzenne wód powierzchniowych wykorzystywane przez pracowników PGW WP RZGW w Gliwicach i podległych terenowo Zarządów Zlewni oraz Nadzorów Wodnych	4
2. Obiekty, w których wykryto występujące w ewidencjach błędy	5
2.1. Obiekty „problematyczne” na terenie Zarządu Zlewni w Opolu	5
2.2. Obiekty „problematyczne” na terenie Zarządu Zlewni w Katowicach	15
2.3. Obiekty „problematyczne” na terenie Zarządu Zlewni w Gliwicach	18
2.4. Mapa zbiorcza	19
3. Źródła problemów	20
4. Podsumowanie	21
4.1 Rekomendacje	21
4.2. Dalsze kroki	22

1. Ewidencje przestrzenne wód powierzchniowych wykorzystywane przez pracowników PGW WP RZGW w Gliwicach i podległych terenowo Zarządów Zlewni oraz Nadzorów Wodnych

Na podstawie przeprowadzonych rozmów, wywiadów oraz codziennej praktyki stwierdzono, że do wykonywania czynności służbowych wykorzystywane są następujące ewidencje wód powierzchniowych, o charakterze przestrzennym:

- 1) **Ewidencję melioracji**, utworzoną przez Marszałków województw na podstawie art. 70 ustawy z dn. 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz.U. 2001 nr 115 poz. 1229 – uchylona) i aktualizowaną na podstawie art. 196 ustawy z dn. 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. 2021 poz. 2233 t.j.) przez Wody Polskie. Składową ewidencji do czasu zmiany przepisów legislacyjnych tj. do dn. 1 stycznia 2018 r. była ewidencja wód przedstawiona za pomocą warstwy wektorowej pn. *CiekiNaturalne*, która to zawierała cieki wodne (a więc takie obiekty prowadzące wodę o minimalnej szerokości koryta 1,5 m – zgodnie z przepisami ustawy) pozostające w utrzymaniu Marszałka danego województwa – Zarządu Melioracji i Urzędów Wodnych (Majewski, 2011). Z uwagi na zmianę struktury ewidencji melioracji oraz struktury własnościowej wód powierzchniowych przez ustawę Prawo wodne z dn. 20 lipca 2017 r. ewidencja ta została przekazana do PGW WP Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej i scalona. Od dn. 1 stycznia 2018 r. ewidencja ta nie jest aktualizowana oraz publicznie udostępniana lecz niejednokrotnie jest referencyjną dla podejmowanych decyzji przez pracowników PGW WP. Należy jednak pamiętać, że ewidencja ta nie obejmuje rzek, które nie znajdowały się w administracji innych jednostek i były ujęte w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie śródlądowych wód powierzchniowych lub ich części stanowiących własność publiczną (Dz. U. z 2003 r. Nr 16, poz. 149).
- 2) **Mapę Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP)**, tworzoną w wersji analogowej od lat 50. XX wieku przez Instytut Geografii Polskiej Akademii Nauk, a następnie Główny Urząd Geodezji i Kartografii, a od 1994 roku w wersji numerycznej przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej. Pierwotny cel opracowania został określony następująco: „poznanie obiegu wody na tle i w powiązaniu ze wszystkimi elementami środowiska geograficznego”. Współcześnie Mapa Podziału Hydrograficznego Polski rozwijana i aktualizowana jest przez PGW Wody Polskie w ramach projektu ISOK (Informatyczny System Ochrony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami), realizując przy tym założenia Dyrektywy 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. – tzw. Dyrektywy INSPIRE (Afelt i in., 2017; Piórkowski i in., 2013; Barczyńska i in., 2013).
- 3) **baza danych obiektów topograficznych (BDOT)**, tworzona i aktualizowana przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii, na podstawie Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. (Dz.U. 2011 nr 279 poz. 1642 – uchylone) oraz Rozporządzenia Ministra Rozwoju, Pracy i Technologii z dnia 27 lipca

2021 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych (Dz.U. 2021 poz. 1412).

Należy zaznaczyć, że wyżej opisane bazy danych są obsługiwane z wykorzystaniem narzędzi Geograficznych Systemów Informacyjnych (GIS). W Państwowym Gospodarstwie Wodnym Wody Polskie wykorzystywane jest opensource'owe oprogramowanie Quantum GIS (w kilku wersjach zależnych od daty instalacji) oraz komercyjne oprogramowanie ArcGIS (program ArcMap w wersji 10.4). Jednocześnie działy utrzymania prowadzą odrębne ewidencje opisowe, które nie stanowią przedmiotu niniejszego raportu.

2. Obiekty, w których wykryto występujące w ewidencjach błędy

W okresie lipiec-sierpień br. zwrócono się do Zarządów Zlewni o wskazanie problematycznych obiektów w aspekcie braku lub błędnego ich zewidencjonowania. Należy wziąć pod uwagę, że tabela ma charakter subiektywny i jest oparta na doświadczeniu pracowników Nadzorów Wodnych. W tabeli ujęto wszystkie cieki (lub obiekty o nieokreślonym charakterze), które nie są zewidencjonowane lub są zewidencjonowane niepoprawnie, a także te które generują inne istotne problemy w gospodarowaniu wodami. Uzyskane dane prezentują poniższe tabele w podziale na zlewnie w administracji Zarządów Zlewni w Opolu, Gliwicach i Katowicach.

2.1. Obiekty „problemowe” na terenie Zarządu Zlewni w Opolu

Lp.	Nazwa/nazwy cieku (obiektu)	Recypient	Nadzór Wodny	Przybliżona lokalizacja (nazwa obszaru/gminy/powiatu)
1	Stobrawa	Odra	Kluczbork	Popielów, Świerczów, Pokój, Wołczyn, Kluczbork, Lasowice Wielkie, Olesno
2	Budkowiczanka	Stobrawa	Kluczbork	Popielów, Świerczów, Pokój, Wołczyn, Kluczbork, Lasowice Wielkie, Olesno
3	Bogacica	Stobrawa	Kluczbork	Pokój, Murów, Kluczbork, Lasowice Wielkie
4	Baryczka	Stobrawa	Kluczbork	Kluczbork
5	Młynówka Karłowicka	Stobrawa	Kluczbork	Popielów
6	Stara Popielówka	Stobrawa	Kluczbork	Popielów
7	Smolnica	Stobrawa	Kluczbork	Popielów, Pokój
8	Młynówka Chocianowicka	Stobrawa	Kluczbork	Lasowice Wielkie
9	Kanał Za Stacją	Stobrawa	Kluczbork	Kluczbork
10	Kanał Krężel	Stobrawa	Kluczbork	Wołczyn, Kluczbork
11	Kanał Szum	Stobrawa	Kluczbork	Wołczyn
12	Kluczborska Struga	Stobrawa	Kluczbork	Wołczyn, Pokój, Świerczów
13	Stara Stobrawa	Stobrawa	Kluczbork	Kluczbork
14	Stobrówka	Stobrawa	Kluczbork	Wołczyn
15	Szerzyna	Stobrawa	Kluczbork	Świerczów, Domaszowice
16	Szyrobanca Woda	Stobrawa	Kluczbork	Wołczyn, Pokój

17	Wilcza Woda	Stobrawa	Kluczbork	Kluczbork
18	Miejski	Stara Stobrawa	Kluczbork	Kluczbork
19	Brynica	Budkowiczanka	Kluczbork	Popielów, Dobrzeń Wielki, Łubniany, Turawa
20	Dobra	Budkowiczanka	Kluczbork	Lasowice Wielkie, Olesno
21	Brojcka	Budkowiczanka	Kluczbork	Murów
22	Młynówka Budkowiczanki	Budkowiczanka	Kluczbork	Murów
23	Wiśniówka	Budkowiczanka	Kluczbork	Murów
24	Wierzchowinka	Budkowiczanka	Kluczbork	Murów
25	Wołczynka	Kluczborska Struga	Kluczbork	Wołczyn
26	F-3	Kluczborska Struga	Kluczbork	Świerczów
27	Oziombel	Kluczborska Struga	Kluczbork	Świerczów, Domaszowice
28	Pod Lasem	Wołczynka	Kluczbork	Wołczyn
29	Jakubowska Woda	Wołczynka	Kluczbork	Wołczyn
30	Kujakowicki	Baryczka	Kluczbork	Kluczbork
31	Rakowy	Baryczka	Kluczbork	Kluczbork
32	Struga	Baryczka	Kluczbork	Wołczyn
33	Opusta	Bogacica	Kluczbork	Murów
34	Borkówka	Bogacica	Kluczbork	Kluczbork, Lasowice Wielkie
35	Paryski	Bogacica	Kluczbork	Pokój
36	Promna	Bogacica	Kluczbork	Pokój
37	Grabiczanka	Bogacica	Kluczbork	Murów
38	Leśny	Borkówka	Kluczbork	Kluczbork, Lasowice Wielkie
39	Kamionka	Brynica	Kluczbork	Popielów
40	Żydówka	Brynica	Kluczbork	Popielów, Dobrzeń Wielki
41	Prądzelnica	Brynica	Kluczbork	Łubniany, Dobrzeń Wielki
42	Jaźwinka	Brynica	Kluczbork	Łubniany, Turawa
43	Brzeziczanka	Żydówka	Kluczbork	Opole
44	Fiszerka	Kamionka	Kluczbork	Popielów
45	Wilczy	Smolnica	Kluczbork	Pokój
46	Czarna Woda	Stawy Krystyny	Kluczbork	Wołczyn
47	Kuźnicki	Szerzyna	Kluczbork	Świerczów
48	Babieniczka	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Kalety, pow. tarnogórski; gm. Woźniki, pow. lubliniecki
49	Boronowski	Leśnica	Tarnowskie Góry	gm. Koszęcin, gm. Boronów, pow. lubliniecki
50	Brzeźnica	Stoła	Tarnowskie Góry	gm. Zbrosławice, gm. Tworóg, pow. tarnogórski
51	A-I	Babieniczka	Tarnowskie Góry	gm. Woźniki, pow. lubliniecki
52	B-II (Bartosie)	Boronowski	Tarnowskie Góry	gm. Koszęcin, pow. lubliniecki
53	K-II	Lublinica	Tarnowskie Góry	gm. Pawonków, pow. lubliniecki
54	K-III	Lublinica	Tarnowskie Góry	gm. Lubliniec, pow. lubliniecki
55	L-II (Podlasie)	Łana	Tarnowskie Góry	gm. Woźniki, pow. lubliniecki
56	Dębienica	Stoła	Tarnowskie Góry	gm. Tworóg, gm. Krupski Młyn, pow. tarnogórski
57	Graniczna Woda (Błaszynówka)	Stoła	Tarnowskie Góry	gm. Tworóg, gm. Tarnowskie Góry, gm. Miasteczko Śląskie, pow. tarnogórski
58	Kanał Ulgi - Graniczna Woda	Stoła	Tarnowskie Góry	gm. Tworóg, pow. tarnogórski
59	Kieleczka	Kanał Hutniczy	Tarnowskie Góry	gm. Zawadzkie, pow. strzelecki
60	Kotków	Świniowicki	Tarnowskie Góry	gm. Wielowieś, pow. gliwicki, gm. Tworóg, pow. tarnogórski
61	Leśnica	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Lubliniec, gm. Koszęcin, gm. Woźniki, pow. lubliniecki
62	Ligocki	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Kalety, pow. tarnogórski; gm. Woźniki, pow. lubliniecki

63	Lublinica	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Dobrodzień, pow. oleski, gm. Pawonków, gm. Lubliniec, gm. Koszęcin, pow. lubliniecki
64	Łana	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Woźniki, pow. lubliniecki
65	Mała Panew	Odra	Tarnowskie Góry	gm. Zawadzkie, pow. strzelecki, gm. Krupski Młyn, gm. Tworóg, gm. Kalety, pow. tarnogórski, gm. Lubliniec, gm. Koszęcin, gm. Woźniki, pow. lubliniecki, gm. Koziegłowy, pow. myszkowski
66	Mała Panew II	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Koziegłowy, pow. myszkowski
67	Młynówka Kielcza	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Zawadzkie, pow. strzelecki
68	Pniowiecki	Stoła	Tarnowskie Góry	gm. Tarnowskie Góry, pow. tarnogórski
69	Stoła	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Tworóg, gm. Tarnowskie Góry, pow. Tarnowskie Góry
70	Świniowicki (Leguncja, Liganza)	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Krupski Młyn, gm. Tworóg, gm. Zbrosławice, pow. tarnogórski, gm. Wielowies, pow. gliwicki
71	Wilczarnia	Mała Panew	Tarnowskie Góry	gm. Koszęcin, gm. Lubliniec, pow. lubliniecki, gm. Krupski Młyn, pow. tarnogórski
72	Białka	Rosa	Strzelce Opolskie	obręb Dylaki, Biestrzynnik, Grodziec, Mnichus/gm.Ozimek/p.opolski/
73	Brzezinka	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Schodnia, Ozimek, Krasiejów/ gm.Ozimek/p.opolski
74	Bziczka	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Żędowice, Piotrówka, Zawadzkie/ gm.Zawadzkie/p.strzelecki
75	Bziniczka	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Gwoździany, Gosławice, Bąki, Bzinica Stara, Pludry, Kolonowskie/ gm.Ozimek/p.oleski strzelecki
76	Od Bzionkowa	Myślina	Strzelce Opolskie	obręb Warłów, obręb Rzędowice/ gm.Dobrodzień/ p.oleski
77	Cienka	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Piotrówka, Spórok, Kadłub, Krasiejów, Krośnica, Krzyżowa Dolina, Daniec, Dębska Kuźnia, Chrzastowice, gm. Jemielnica, Kolonowskie, Strzelce Opolskie, Ozimek, Izbicko, Chrzastowice/ p.strzelecki, opolski
78	Grabok	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Dobrodzień, Błachów, Myślina, Kolonowskie/ gm. Dobrodzień, Kolonowskie/ p.oleski, strzelecki/
79	Gwoździany	Bziniczka	Strzelce Opolskie	obręb Łagiewniki Wielkie, Gwoździany, Skrzydłowice, Łagiewniki Małe, Bzinica Nowa, Bzinica Stara gm.Pawonków, Dobrodzień / p.lubliniecki, oleski
80	Jemielnica	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Jemielnica, Gąsiorowice, Łaziska, Osiek, Kadłub, Borycz, Krośnica, Krzyżowa Dolina, Daniec, Dębska Kuźnia, Chrzastowice, Lędziny, Kotórz Mały, Zawada, Luboszyce, Krzanowice, Wróblin, Czarnowasy gm.Jemielnica, Strzelce Opolskie,

				Izbicko, Ozimek, Chrzastowice, Turawa, Łubniany, Opole/ p.strzelecki
81	Jędrynie	Sucha	Strzelce Opolskie	obręb Strzelce Opolskie, Jędrynie, Kadłub, Grodzisko, Suchodaniec gm. Strzelce Opolskie, Izbicko p.strzelecki
82	Kanał Hutniczy I	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Kolonowskie gm. Kolonowskie p.strzelecki
83	Kanał Hutniczy II	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Kolonowskie gm. Kolonowskie p.strzelecki
84	Kanał Jemielnica	Swornica	Strzelce Opolskie	obręb Zawada, Kępa gm. Turawa, Łubniany p.opolski
85	Kanał Sucha	Sucha	Strzelce Opolskie	obręb Sucha gm. Strzelce Opolskie p.strzelecki
86	Kanał Ulgi Borycz	Cienka	Strzelce Opolskie	obręb Borycz, obręb Krośnica gm. Izbicko p.strzelecki
87	Kanał Ulgi Jemielnicy	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Jemielnica, gm. Jemielnica p.strzelecki
88	Kanał Zbicko	Swornica	Strzelce Opolskie	obręb Łędziny, Chrzastowice gm. Chrzastowice p.opolski
89	Libawa	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Leśna, Kadłub Wolny, Poczółków, Zębówice, Knieja, Biestrzynnik, Dylaki, Turawa gm. Olesno, Zębówice, Ozimek, Turawa p.oleski, opolski
90	Malina	Swornica	Strzelce Opolskie	obręb Malina, Grudzice, Kolonia Gosławicka, Zawada gm. M. Opole Turawa p. Opole
91	Mała Panew	Odra	Strzelce Opolskie	obręb Zawadzkie, Piotrówka, Kolonowskie, Staniszcze Wielkie, Staniszcze Małe, Krasiejów, Ozimek, Schodnia, Antoniów, Turawa, Kotórz Mały, Węgry, Kolanowice, Luboszyce, Biadacz, Czarnowasy, Krzanowice, Wróble gm. Zawadzkie p.strzelecki
92	Młynówka Kadłub	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Kadłub gm. Strzelce Opolskie p.strzelecki
93	Młynówka Suchej	Sucha	Strzelce Opolskie	obręb Sucha gm. Strzelce Opolskie p.strzelecki
94	Myślina	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Rzędowice, Warłów, Makowczyce, Turza, Myślina, Krasiejów, Staniszcze Małe opolski gm. Dobrodzień, Ozimek, Kolonowskie p.oleski
95	Mostki	Bziczka	Strzelce Opolskie	obręb Piotrówka gm. Jemielnica obręb Zawadzkie, Żędowice gm. Zawadzkie p. strzelecki
96	Piotrówka	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Piotrówka, Wierchlesie, Gąsiorowice, Łaziska, Osiek gm. Jemielnica, Strzelce Opolskie p.strzelecki
97	Pruskowski	Libawa	Strzelce Opolskie	obręb Kadłub Wolny, Siedliska, Prusków, Zębówice, Radawie, Łąka, Knieja, Biestrzynnik gm. Zębówice, Ozimek p.oleski, opolski

98	Radawka	Pruskowski	Strzelce Opolskie	obręb Leśna, Osiecko, Prusków, Radawie, Łąka, Knieja gm .Olesno,Zębownice p.oleski
99	Rosa	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Mnichus, Grodziec, Antoniów, Dylaki gm.Ozimek p.opolski
100	Skrzydłowski	Bziniczka	Strzelce Opolskie	obręb Pawonków, Skrzydłowice, Łagiewniki Małe, Pludry gm.Pawonków, Dobrodzień p. lubliniecki, oleski
101	Smolina	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Pludry,Kolonowskie gm.Dobrodzień, Kolonowskie p.oleski, strzelecki
102	Splawny	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Turawa,Osowiec gm.Turawa p.opolski
103	Spod Łysej Góry	Skrzydłowski	Strzelce Opolskie	Obręb Pawonków,Skrzydłowice, Łagiewniki Małe gm.Pawonków p.lubliniecki
104	Stara Jemielnica	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Gąsiorowice, Łaziska gm.Jemielnica p.strzelecki
105	Stara Sucha	Sucha	Strzelce Opolskie	obręb Kolonowskie gm.Kolonowskie p.strzelecki
106	Sucha	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Sucha, Suchodaniec, Izbicko Grabów, Nakło, Raszowa, Dąbrowice, Dębie, Chrzastowice gm.Strzelce Opolskie, Izbicko, Tarnów Opolski, Chrzastowice p.strzelecki, opolski
107	Sucha Szymiszów	szczelina chłonna	Strzelce Opolskie	obręb Różniatów, Szymiszów gm. Strzelce Opolskie p.strzelecki
108	Swornica	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Chrzastowice, Łędziny, Zawada, Kępa, Krzanowice gm.Chrzastowice, Turawa, Łubniany, M. Opole p.opolski, m. Opole
109	Świńska Woda	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Świbie, Dąbrówka,Jemielnica gm.Wielowieś, Jemielnica p. gliwicki,strzelecki
110	Woda Rozmierecka	Jędrynie	Strzelce Opolskie	obręb Rozmierz, Grodzisko,Suchodaniec gm.Strzelce Opolskie, Izbicko p.strzelecki
111	Dopływ spod Barut	Piotrówka	Strzelce Opolskie	obręb Gąsiorowice, Piotrówka, Barut gm. Jemielnica, p. strzelecki
112	Dopływ z Dąbrówki	Świńska Woda	Strzelce Opolskie	obręb Dąbrówka, gm. Wielowieś p. gliwicki
113	Dopływ z Lasu Łonuk	Świńska Woda	Strzelce Opolskie	obręb Dąbrówka , gm. Wielowieś p. gliwicki
114	Dopływ z Warmątowic	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Warmątowice, Dziewkowice gm. Strzelce Opolskie obręb Centawa, gm. Jemielnica , obręb Jemielnica, gm. Jemielnica p. opolski
115	Nietoczka	Woda Rozmierecka	Strzelce Opolskie	Obręb Grodzisko, Rozmierz, Jędrynie, gm. Strzelce Opolskie p. strzelecki
116	Dopływ w Grodzisku	Jędrynie	Strzelce Opolskie	obręb Grodzisko gm. Strzelce Opolskie p. strzelecki

117	Dopływ spod Ligoty Czamborowej	Sucha	Strzelce Opolskie	obręb Izbicko, Ligota Czamborow gm. Izbicko, p. opolski
118	Dopływ spod Dańca	Sucha	Strzelce Opolskie	obręb Raszowa gm. Tarnów Opolski, p. opolski
119	Wrona	Sucha	Strzelce Opolskie	obręb Chrzastowice gm. Chrzastowice, p. opolski
120	Dopływ z Suchego Boru	Malina	Strzelce Opolskie	obręb Chrzastowice, Suchy Bór, Lędziny, gm. Chrzastowice p. opolski
121	Falmirówka	Malina	Strzelce Opolskie	obręb Falmirowice gm. Chrzastowice, obręb Grudzice gm. Opole, p. opolski
122	Banatka	Cienka	Strzelce Opolskie	obręb Kadłub, gm. Izbicko p. strzelecki
123	Dopływ spod lasu Ozimek	Cienka	Strzelce Opolskie	obręb Chrzastowice, obręb Daniec, gm. Chrzastowice p. opolski
124	Dopływ spod lesniczówki Jażwina	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Kadłub, gm. Izbicko p. strzelecki
125	Dopływ z Krośnicy	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Daniec, gm. Chrzastowice p. opolski, obręb Krośnica, gm. Izbicko p. strzelecki
126	Grabowiec	Rów Grabowiec	Strzelce Opolskie	obręb Piotrówka, gm. Jemielnica obręb Kadłub, gm. Strzelce Op. p. opolski
127	Dopływ z Kasztela	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Kadłub, gm. Izbicko obręb Piotrówka, gm. Jemielnica p. strzelecki
128	Dopływ w Zawadzie	Jemielnica	Strzelce Opolskie	obręb Kotórz Mały, Zawada gm. Turawa p. opolski
129	Dopływ w Czarnowasach	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Czarnowasy, gm. Opole p. opolski
130	Dopływ spod Kolanowic	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Luboszyce, gm. Lubniany, p. opolski
131	Dopływ z Kotórz Małego	Mała Panew	Strzelce Opolskie	obręb Węgry, gm. Turawa, p. opolski
132	Chobianka	Białka	Strzelce Opolskie	obręb Chobie, Biestrzynnik, Dylaki gm. Ozimek, p. opolski
133	Tanecznik	rów opaskowy ZWT	Strzelce Opolskie	obręb Grodziec, Antoniów, gm. Ozimek, p. opolski
134	Dopływ z lasu	Grabok	Strzelce Opolskie	obręb Kolonowskie gm. Kolonowskie p. strzelecki
135	Dopływ z Wielkiej Kobyły	Grabok	Strzelce Opolskie	obręb Kolejka, gm. Dobrodzień, p. Oleski, obręb Kolonowskie gm. Kolonowskie, p. strzelecki
136	Dopływ spod Błachowa	Myślina	Strzelce Opolskie	obręb Turza, Myślina, Błachów gm. Dobrodzień p. oleski
137	Dopływ w Dobrodzeniu	Myślina	Strzelce Opolskie	obręb Dobrodzień, Gosławice gm. Dobrodzień p. oleski
138	Dopływ spod Dobrodzienia	Bziniczka	Strzelce Opolskie	obręb Dobrodzień, Bzinica Stara gm. Dobrodzień p. oleski
139	Dopływ w Kieruciach	Od Bzionkowa	Strzelce Opolskie	obręb Rzędowice, gm. Dorodzień, p. oleski
140	Libawka	Libawa	Strzelce Opolskie	obręb Szemrowice, obręb Warłów gm. Dobrodzień, obręb Zębowice gm. Zębowice, p. oleski
141	Dopływ z Kocur	Libawa	Strzelce Opolskie	obręb Rzędowice gm. Dobrodzień, obręb Poczółków gm. Zębowice, p. oleski,

142	Dopływ w Rytwinach	Bziczka	Strzelce Opolskie	obręb Piotrówka, gm. Jemielnica strzelecki
143	Dożyna (Krzywula)	Odra	Opole	gm. Lewin Brzeski; gm. Dąbrowa
144	Bródek (Chróścinka)	Prószkówka	Opole	gm. Opole, Komprachcice
145	Prószkówka (Prószkowski Potok)	Odra	Opole	gm. Dąbrowa, Opole, Komprachcice, Prószków
146	Ryjec (Glinka)	Odra	Opole	gm. Opole
147	Kanał Półwieś (Brennik)	Odra	Opole	gm. Opole
148	Kanał Borkowski (Klepacz)	Odra	Opole	gm. Opole, Dobrzeń Wielki
149	Olszynka (Olszanka)	Odra	Opole	gm. Opole, Komprachcice, Prószkówka
150	Kanał Winów- Folwark (Dopływ spod Boguszyc)	Kanał Ulgi	Opole	gm. Opole, Prószków
151	Kanał Ulgi Ryjca (Glinka)	Odra	Opole	gm. Opole, Dąbrowa
152	Boguszanka (Wiński Potok)	Odra	Opole	gm. Prószków
153	KZCP (Ziemnica)	Odra	Opole	gm. Krapkowice
154	Abisynia (Zakrzówka)	Odra	Opole	gm. Gogolin, Krapkowice
155	Struga (Lutnia)	Odra	Opole	gm. Tarnów Opolski
156	Czarnka (Czarnka)	Odra	Opole	gm. Opole
157	Kanał Młynówka	Odra	Opole	gm. Opole
158	Cebulanka	Odra	Opole	gm. Tarnów Opolski
159	Stara Odra	Odra	Opole	gm. Tarnów Opolski
160	Wiśniowa	Odra	Opole	gm. Prószków
161	Prószkówka II	Prószkówka	Opole	gm. Prószków
162	Kanał Stacji Pomp	Odra	Opole	gm. Opole, Dobrzeń Wielki
163	Kanał Przerzutowy	Prószkówka	Opole	gm. Opole
164	R-D-3; R-D-3-5; R-C9; R-C13 (Dopływ spod Ciepiewic)	Dożyna	Opole	gm. Lewin Brzeski, Dąbrowa
165	R-C, R-C23 (Dopływ spod Skarbiszowa)	Dożyna	Opole	gm. Dąbrowa
166	R-D5; R-D (Wel)	Bródek	Opole	gm. Dąbrowa
167	R-C, R-C10, R-C11 (Drzewica)	Prószkówka	Opole	gm. Opole, Komprachcice
168	R-E; R-E1; R-A (Siwka)	Prószkówka	Opole	gm. Komprachcice
169	brak w ewidencji (Dopływ w Oborze)	Prószkówka	Opole	gm. Prószków
170	R-F, ciek bez nazwy - brak w ewidencji(Prószkówka)	Prószkówka	Opole	gm. Prószków
171	brak w ewidencji (Dopływ z Osady Bud)	Prószkówka	Opole	gm. Strzelecki
172	R-A (Czarna Struga)	Odra	Opole	gm. Dobrzeń Wielki
173	R-B (Młyńska)	Dopływ z Dąbrówki Górnej (rów R-B)	Opole	gm. Krapkowice
174	R- (Dopływ z Dąbrówki Górnej)	Odra	Opole	gm. Krapkowice
175	brak w ewidencji (Dopływ spod Tarnowa Opolskiego)	Czarnka (wg. MPHP)	Opole	gm. Tarnów Opolski
176	brak w ewidencji (Wława)	Czarnka	Opole	gm. Tarnów Opolski
177	Cegielnia	Odra	Krapkowice	m. Rozwadza, Zdzeszowice gm. Zdzeszowice pow.krapkowicki
178	Grabczok	Swornica	Krapkowice	m. Żużela gm. Krapkowice pow. krapkowicki, m. Stradunia gm. Walce pow. krapkowicki
179	Grudynka	Stradunia	Krapkowice	m. Naczesławice, Trawniki, Kózki Milice, Grudynia Mała gm.

				Pawłowiczki pow. kędzierzyńsko-kozielski
180	Jakubowicki	Stradunia	Krapkowice	m. Kazimierz, Ciesznów gm. Głogówek pow. prudnicki; m. Milice, Jakubowice, Grudynia Wielka gm. Pawłowiczki pow. kędzierzyńsko-kozielski
181	Krępna	Odra	Krapkowice	m. Krępna, Obrowiec gm. Zdzeszowice pow. krapkowicki
182	Ligocki	Stradunia	Krapkowice	m. Dobieszowice gm. Walce pow. krapkowicki; m. Ligota Wielka, Karchów, Borzysławice, Ucieszków gm. Pawłowiczki pow. kędzierzyńsko-kozielski; m. Kamionka, Komorno, Pokrzywnic Pociękarb, Bytków, Łęże gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski
183	Lipka	Odra	Krapkowice	m. Krępna gm. Zdzeszowice pow. krapkowicki
184	Łęcka Woda	Padół	Krapkowice	m. Raszowa, Łąki Kozielskie, Lichynia, Czarnocin gm. Leśnica pow. strzelecki
185	Malawa	Ligocki	Krapkowice	m. Łęże gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski; m. Urbanowice, Gościęcín gm. Pawłowiczki pow. kędzierzyńsko-kozielski
186	Mechnicki	Odra	Krapkowice	m. Stradunia gm. Walce pow. krapkowicki; m. Mechnica, Poborszów gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski
187	Młynówka Twardawy	Stradunia	Krapkowice	m. Twardawa gm. Głogówek pow. prudnicki
188	Obrowiecki	Kanał Sonia	Krapkowice	m. Obrowiec, Zakrzów gm. Gogolin pow. krapkowicki
189	Orłowiec	Odra	Krapkowice	m. Poborszów gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski; m. Koźle gm. Kędzierzyn-Koźle pow. kędzierzyńsko-kozielski
190	Padół	Odra	Krapkowice	m. Januszkowice gm. Zdzeszowice pow. krapkowicki; m. Raszowa, Łąki Kozielskie, Leśnica, Krasowa gm. Leśnica pow. strzelecki
191	Słotnik	Odra	Krapkowice	m. Zdzeszowice, Januszkowice gm. Zdzeszowice pow. krapkowicki
192	Stradunia	Odra	Krapkowice	m. Stradunia, Grocholub, Walce gm. Walce pow. krapkowicki; m. Mechnica, Kamionka gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski; m. Biedrzychowice, Zwiastowice, Twardawa, Wróblin, Kazimierz gm. Głogówek pow. prudnicki; m. Naczęsławice, Grodzisko gm. Pawłowiczki pow. kędzierzyńsko-kozielski; m.

				Lisiećce, Królowe, Zawiszyce gm. Głubczyce pow. głubczycki
193	Swornica	Odra	Krapkowice	m. Żużela gm. Krapkowice pow. krapkowicki; m. Brożec. Kromołów, Grocholub, Zabierzów, Ćwiercie, Rozkochów gm. Walce pow. krapkowicki; m. Biedrzychowice, Stare Kotkowice gm. Głogówek pow. prudnicki
194	Trzciniec	Odra	Krapkowice	m. Poborszów, Mechnica gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski
195	Więszczyca Woda	Odra	Krapkowice	m. Koźle gm. Kędzierzyn Koźle pow. kędzierzyńsko-kozielski; m. Więszczyce gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski
196	Wygoda	Kanał Sonia	Krapkowice	m. Obrowiec, Wygoda, Zakrzów gm. Gogolin pow. krapkowicki
197	Żywocicki	Odra	Krapkowice	m. Krapkowice gm. Krapkowice- miasto pow. krapkowicki; m. Żywocice, Żużela gm. Krapkowice pow. krapkowicki
198	Kanał Sonia	Odra	Krapkowice	m. Krapkowice gm. Krapkowice- miasto pow. krapkowicki; m. Obrowiec gm. Gogolin pow. krapkowicki
199	Kanał Rozwadza	Cegielnia	Krapkowice	m. Rozwadza gm. Zdieszowice pow. krapkowicki
200	Kanał Ulgi Więszczyca Woda	Więszczyca Woda	Krapkowice	m. Więszczyce gm. Reńska Wieś pow. kędzierzyńsko-kozielski
201	Dopływ ze Zdieszowic	Odra	Krapkowice	m. Zdieszowice, gm. Zdieszowice pow. krapkowicki
202	Sitna	Padół	Krapkowice	gm. Leśnica, pow. strzelecki
203	Dopływ w Kędzierzynie Koźlu	Odra	Krapkowice	gm. Kędzierzyn-Koźle, pow. kędzierzyńsko-kozielski
204	Mosacz	Swornica	Krapkowice	gm. Walce, pow. krapkowicki
205	Dopływ spod Grocholubia	Swornica	Krapkowice	gm. Walce, pow. krapkowicki
206	Dopływ w Kromoławie	Swornica	Krapkowice	gm. Walce, pow. krapkowicki
207	Dopływ w Rozkochowie	Swornica	Krapkowice	gm. Walce, pow. krapkowicki
208	Dopływ z Walców	Stradunia	Krapkowice	gm. Walce, pow. krapkowicki
209	Dopływ poniżej Dobieszowic	Stradunia	Krapkowice	gm. Walce, pow. krapkowicki
210	Dopływ spod Marianków	Stradunia	Krapkowice	gm. Walce, pow. krapkowicki
211	Dopływ w Twardawie	Stradunia	Krapkowice	gm. Głogówek, pow. prudnicki
212	Gnojnik	Stradunia	Krapkowice	gm. Głubczyce, pow. głubczycki
213	Dopływ poniżej Kietlic	Gnojnik	Krapkowice	gm. Głubczyce, pow. głubczycki
214	Dopływ z Królowej	Stradunia	Krapkowice	gm. Głubczyce, pow. głubczycki
215	Dopływ poniżej Milic	Jakubowicki	Krapkowice	gm. Pawłowiczki, pow. kędzierzyńsko-kozielski
216	Dopływ w Jakubowicach	Jakubowicki	Krapkowice	gm. Pawłowiczki, pow. kędzierzyńsko-kozielski
217	Dopływ spod Opatrzności	Ligocki	Krapkowice	gm. Pawłowiczki, pow. kędzierzyńsko-kozielski
218	Dopływ w Chudobie	Malawa	Krapkowice	gm. Pawłowiczki, pow. kędzierzyńsko-kozielski
219	Dopływ pononież Pociękarbu	Ligocki	Krapkowice	gm. Reńska Wieś, pow. kędzierzyńsko-kozielski
220	rz. Biała	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Strzeleczyki, Biała, Lubrza

221	Potok Browiniecki/ Młynówka	rz. Biała	Prudnik	gm. Strzeleccki, Głogówek, Lubrza
222	Potok Brunatny / Dopływ spod Góry Olszak	rz.Prudnik	Prudnik	gm. Głuchołazy
223	Potok Brzeziniński	rz. Biała	Prudnik	gm. Biała
224	Potok Bystry	rz. Złoty Potok	Prudnik	gm. Głuchołazy
225	Cieklec	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Głubczyce
226	Potok Czarny	rz. Biała	Prudnik	gm. Biała
227	Potok Dębowiecki /Dpływ w Łące Prudnickiej	rz. Złoty Potok	Prudnik	gm. Prudnik
228	Potok Graniczny	Potok Trzebiniecki	Prudnik	gm. Lubrza
229	Kanał „K”	Rów Rzymkowski	Prudnik	gm. Strzeleccki
230	Kanał Ulgi Lubrzaki	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Głogówek
231	Kanał Ulgi Potoku Piechocickiego	Potok Piechocicki	Prudnik	gm. Biała
232	Kanał Ulgi rz. Osobłogi	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Głogówek
233	Potok Kolnowicki/ Psiniec	rz. Biała	Prudnik	gm. Biała
234	Potok Krobuski/ Dopływ z Krobusza	rz. Biała	Prudnik	gm. Biała
235	Potok Krzyżkowiński /Dopływ spod Góry Lipowiec	rz.Prudnik	Prudnik	gm. Lubrza
236	Potok Lubrzanka	rz.Osobłoga	Prudnik	gm. Lubrza
237	Potok Moszczaniecki	rz. Złoty Potok	Prudnik	gm. Prudnik
238	Młynówka Głogówek	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Głogówek
239	Młynówka Ligota Bialska	rz. Biała	Prudnik	gm. Biała
240	Młynówka Osobłogi Nowy Młyn	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Strzeleccki
241	Młynówka Raławice	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Głogówek
242	Potok Nowoprudnicki	Potok Browieniecki	Prudnik	gm. Biała, Strzeleccki
243	rz. Osobłoga	rz. Odra	Prudnik	gm. Krapkowice, Strzeleccki, Głogówek
244	Potok Piechocicki	rz. Biała	Prudnik	gm. Korfantów, Biała
245	rz. Prudnik	rz. Osobłoga (Republika Czeska)	Prudnik	gm. Prudnik, Głuchołazy
246	Potok Rina	rz. Biała	Prudnik	gm. Biała
247	Potok Rudnia/Dopływ spod Błazejowic Dolnych	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Głogówek
248	Rzymkowski	Potok Z lasu	Prudnik	gm. Biała, Korfantów
249	Rów Rzymkowski	rz. Biała	Prudnik	gm. Strzeleccki
250	Potok Słkowski /Gostomka	Potok Browieniecki	Prudnik	gm. Biała,Głogówek
251	Stara Osobłoga	rz. Osobłoga	Prudnik	gm. Krapkowice
252	Potok Szybowski	rz.Prudnik	Prudnik	gm. Prudnik
253	Potok Śmiczowski/ Śmicki Potok	Potok Piechocicki	Prudnik	gm. Biała
254	Potok Trzebiniecki/ Trzebinka	rz.Prudnik	Prudnik	gm. Lubrza
255	Wielki Potok	Cieklec	Prudnik	gm. Głubczyce
256	Potok Zieliński	Potok Browieniecki	Prudnik	gm. Strzeleccki
257	Potok Z Lasu	rz. Biała	Prudnik	gm. Biała
258	rz. Złoty Potok	rz.Prudnik	Prudnik	gm. Prudnik, Głuchołazy
259	Białynka	Jaźwina	Prudnik	gm. Krapkowice
260	Jaźwina	rz.Osobłoga	Prudnik	gm. Krapkowice
261	Dopływ w Łowkowicach	rz.Osobłoga	Prudnik	gm. Strzeleccki

262	Dopływ z Kórnicy	rz.Osobłoga	Prudnik	gm. Strzeleccki
263	Dopływ z Szonowa	Młynówka Głogówka	Prudnik	gm. Głogówek
264	Dopływ spod Pomorzowic	rz.Osobłoga	Prudnik	gm. Głubczyce
265	Sadecki Potok	rz. Prudnik	Prudnik	gm. Prudnik
266	Dopływ w Jarnońtówku	rz. Złoty Potok	Prudnik	gm. Głucholazy
267	Smolnik	Potok Czarny	Prudnik	gm. Korfantów
268	Dopływ z Kuźnicy Ligockiej	Potok Rzymkowicki	Prudnik	gm. Korfantów
269	Diablik	Potok Z lasu	Prudnik	gm. Biała
270	Brodnia	Potok Z lasu	Prudnik	gm. Biała
271	Dpływ spod Kujaw	Rów Rzymkowicki	Prudnik	gm. Strzeleccki
272	Dopływ w Zbychowicach	Rów Rzymkowicki	Prudnik	gm. Strzeleccki
273	Dopływ spod Prudnika	Potok Lubrzanka	Prudnik	gm. Lubrza

2.2. Obiekty „problemowe” na terenie Zarządu Zlewni w Katowicach

Lp.	Nazwa/nazwy ciek (obiekty)	Recypient	Nadzór Wodny	Przybliżona lokalizacja (nazwa obróbu/gminy/powiatu)
1	Rawa	Brynica	Katowice	Świętochłowice, Ruda, Chorzów, Katowice, Sosnowiec
2	Wielonka	Brynica	Katowice	Bobrowniki, Psary
3	wszystkie		Katowice	
4	Segiet	Szarlejka	Katowice	Radzionków, Bytom
5	Potok Mazańcowicki	Wisła	Bielsko-Biała	gmina: Bielsko-Biała, Czechowice-Dziedzice
6	Potok Złocisty	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
7	Potok Zajazdowy	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
8	Potok od Giełdy	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
9	Potok w rejonie Metalplastu	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
10	Potok Sarni Stok	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
11	Potok Zawyły	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
12	Potok Gruntowy	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
13	Potok Malowany Dworek	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
14	Potok Dzwonkówka	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
15	Potok od Górnej Wsi	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
16	Potok Żydowski	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
17	Dopływ od Szyndzielni	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
18	Potok Barbara	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
19	Potok Wywierzysko, Błatnia	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
20	Potok w rejonie ulicy Stawowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
21	Potok w rejonie ulicy Bukowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
22	Dopływ od ulicy Piastowskiej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
23	Potok Mireckiego	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
24	Potok Damianka	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała

25	Potok od ulicy Skarpowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
26	Potok z rejonu ulicy Jazowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
27	Potok Dębowiec	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
28	Dopływ od Zieleni Miejskiej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
29	Potok Beloska	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
30	Dopływ od Skoczni	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
31	Potok Zimna Woda, Dopływ z Mikuszowic Śląskich	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
32	Ciek z ulicy Argentyna	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
33	Ciek z ulicy Modrej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
34	Ciek z ulicy Chabrowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
35	Potok Pilsko	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
36	Potok Łukoski	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
37	Potok Żeglarski	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
38	Ciek w rejonie ulicy Wiklinowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
39	Ciek w rejonie ulicy Nasypowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
40	Potok Leszczyński	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
41	Potok z ulicy Kukulek	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
42	Żabi Potok	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
43	Wilczy Potok	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
44	Potok Rybny	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
45	Potok Polacki	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
46	Potok Ondraszek	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
47	Potok Biegunowy	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
48	Potok Groniczek	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
49	Potok Złote Łany	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
50	Złoty Potok	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
51	Dopływ z ulicy Południowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
52	Dopływ z ulicy Księdza Brzóska	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
53	Dopływ z ulicy Leśnej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
54	Dopływ z ulicy Odrzańskiej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
55	Dopływ z rejonu Amfiteatru	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
56	Potok z ulicy Krakowskiej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
57	Potok Czerwona Woda	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
58	Potok spod Barku	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
59	Dopływ z Komorowic	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
60	Dopływ z ulicy 13 Zakrętów	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
61	Potok Tylutki	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
62	Suchy Potok	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
63	Potok osiedla Rosta	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
64	Dopływ z Gliwickiej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
65	Młynówka Komorowicko-Bestwińska	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
66	Dopływ od oczyszczalni	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina

67	Potok Żubrów	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
68	Dopływ Hałcnowski, Potok Hałcnowski	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
69	Potok Zagrody	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
70	Potok Palenica	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
71	Potok Anielka	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
72	Dopływ z ulicy Terenowej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
73	Dopływ z ulicy Czeladniczej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
74	Dopływ z ulicy Wodnej	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
75	Potok koło Mosia	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Bestwina
76	Młynówka Komorowicko- Czechowidzka	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała, Czechowice-Dziedzice
77	Dopływy do Wilkówki	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Wilkowice
78	Świerkówka	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Czechowice-Dziedzice
79	Dankówka	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Wilamowice
80	Kamienicki I, Kamieniczanka,	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
81	rzeka Biała	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Wilkowice
82	Mesznianka	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Wilkowice
83	Lotniczy	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
84	Kamienicki II	Wisła	Bielsko-Biała	gm. Bielsko-Biała
85	Imielinka	Wisła	Bieruń	Chełm Śląsk, Imielin
86	Bijasowicki	Wisła	Bieruń	Bieruń
87	Stawowy	Wisła	Bieruń	Bieruń, Łędziny
88	Tyski	Wisła	Bieruń	Mikołów, Tychy
89	Zgoński	Wisła	Bieruń	Orzesze
90	Dańdówka			Sosnowiec
91	Tarnówka		Olkusz	gm. Klucze, gm. Wolbrom
92	Dębiesznica		Olkusz	gm. Klucze
93	Witeradówka		Olkusz	gm. Olkusz
94	Warwas		Olkusz	gm. Bukowno gm. Bolesław
95	Dębinka	Pszczynka	Pszczyna	Jastrzebie - Zdrój
96	Dopływ w Mizerowie	Pszczynka	Pszczyna	Suszec
97	Nieradka	Kanał Branicki	Pszczyna	Suszec
98	Suszecki	Kanał Branicki	Pszczyna	Suszec
99	Dopływ z Osiedla Wisła Wielka	Zb. Łąka	Pszczyna	Pszczyna
100	Łącki Potok	Pszczynka	Pszczyna	Pszczyna
101	Dopływ spod Rudawek Drugich	Pszczynka	Pszczyna	Miedźna
102	Swornica	Korzenica	Pszczyna	Kobiór
103	Dopływ z Bojszów	Korzenica	Pszczyna	Bojszowy
104	Strumień (kanał Strumień)	Zb. Goczałkowice	Pszczyna	Strumień
105	Dopływ z Pniówka	Strumień (kanał Strumień)	Pszczyna	Pawłowice
106	Bajerka	Zb. Goczałkowice	Pszczyna	Chybie
107	MZ I	Zb. Goczałkowice	Pszczyna	Strumień
108	MZ II	Zb. Goczałkowice	Pszczyna	Strumień

109	ZK	Zb. Goczałkowice	Pszczyna	Chybie
110	Zapadź	Wisła	Pszczyna	Miedźna
111	Gilówka	Wisła	Pszczyna	Gilowice
112	Goczałkowicki	Staw Rontok	Pszczyna	Goczałkowice - Zdrój
113	Studzionka	Zb.Łąka	Pszczyna	Pszczyna
114	Pszczynka	Zb.Łąka	Pszczyna	Jastrzebie - Zdrój
115	Osiny	Pszczynka	Pszczyna	Żory, Jastrzebie - Zdrój
116	Lewobrzeżna Młynówka Kiczycza/Młynka 1	Knajka	Skoczów	Ochaby gm. Skoczów/ Pruchna, Drogomyśl gm. Strumień/ pow. Cieszyński
117	Prawobrzeżna Młynówka Kiczycza/Młynka 2	Wisła	Skoczów	Kiczyce, Ochaby gm. Skoczów/Zaborze, Mnich gm. Chybie /pow. Cieszyński
118	Młynówka Drogomyska	Wisła	Skoczów	Drogomyśl gm.Strumień/ pow. Cieszyński
119	Bładniczka	Młynówka Ustrońska	Skoczów	Ustroń gm. Ustroń/ pow. Cieszyński
120	Wschodnica	Brennica	Skoczów	Górki Wielkie gm. Brenna
121	Rudnicki	Knajka	Skoczów	Pruchna gm. Strumień/ Rudnik, Hażlach gm. Hażlach/ Kostkowice gm. Dębowiec
122	KA	Knajka	Skoczów	Baków gm. Strumień
123	Wiślicki	doprowadzalnik na stawy	Skoczów	Wiślica gm. Skoczów

2.3. Obiekty „problemowe” na terenie Zarządu Zlewni w Gliwicach

Lp.	Nazwa/nazwy ciek (obiektu)	Recypient	Nadzór Wodny	Przybliżona lokalizacja (nazwa obrębu/ gminy/powiatu)
1	Połomity Wielkie	Olza	Cieszyn	Istebna pow. cieszyński
2	Kucharzówka (R-7)	Szotkówka	Cieszyn	Mszna, pow. wodzisławski
3	Kojkowicki	Puńcówka	Cieszyn	Puńców. Pow. cieszyński
4	Szczyrbakula	Połomity Wielkie	Cieszyn	Istebna, pow. cieszyński
5	Syrynka	Łęgoń I	Racibórz	Gmina Pszów obręb Pszowskie doły
6	Łęgon I	Odra	Racibórz	Gmina Gorzyce obręb Bełsznica
7	Koźlanka	Odra	Kędzierzyn-Koźle	Kędzierzyn-Koźle, Landzmiern
8	Kanał Sukowicki	Odra	Kędzierzyn-Koźle	Leśny Dwór, Sukowice, Stebłów, Polska Cerekiew
9	Kanał Sierakowicki	Bierawka	Gliwice	Sierakowice
10	Wójtowianka (Doa)	Ostropka	Gliwice	Gliwice
11	Guido	brak	Gliwice	Zabrze, Gliwice
12	Żabnica	Kłodnica	Gliwice	Ruda Śląska
13	Potok od Solarni	Ornontowicki	Gliwice	Ornontowice
14	Rokitnicki	Kłodnica	Gliwice	Zabrze, Gliwice
15	Świątoszowicki/Grzybowicki	Drama	Gliwice	Świątoszowice, Ziemęcice, Pyskowice
16	Szarlejka	Brynica	Gliwice	Piekary Śląskie, Radzionków

17	Chudowski/Jasienica	Ornontowicki	Gliwice	Chudow, Przyszowice, Ornontowice, Mikołów
18	Bielszowicki	Kłodnica	Gliwice	Ruda Śląska
19	Czarniawka	Kłodnica	Gliwice	Zabrze
20	Łopień	Psina	Głubczyce	Gawłów, Pawłów
21	Krzanówka/Biała Woda	Potok Strachowicki	Głubczyce	Krznowice
22	Potok Rozumicki/Trzebomka/Trebom	Troja	Głubczyce	Sambrowice, Krotoszyn

2.4. Mapa zbiorcza

Obiekty, których dotyczy problem ewidencjonowania, wskazane przez Zarządy Zlewni oraz wyszczególnione w podrozdziałach 2.1 – 2.3, zostały zlokalizowane oraz oznaczone niebieską linią na poniższej mapie. Zgodnie z informacją przekazaną przez Zarządy Zlewni najwięcej tego typu obszarów występuje w południowej oraz zachodniej części Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej. Są to obszary obejmujące górskie zlewnie, a także tereny administracyjnie położone w województwie opolskim (dawny obszar administracji Opolskiego Zarządu Melioracji i Urzędzeń Wodnych).



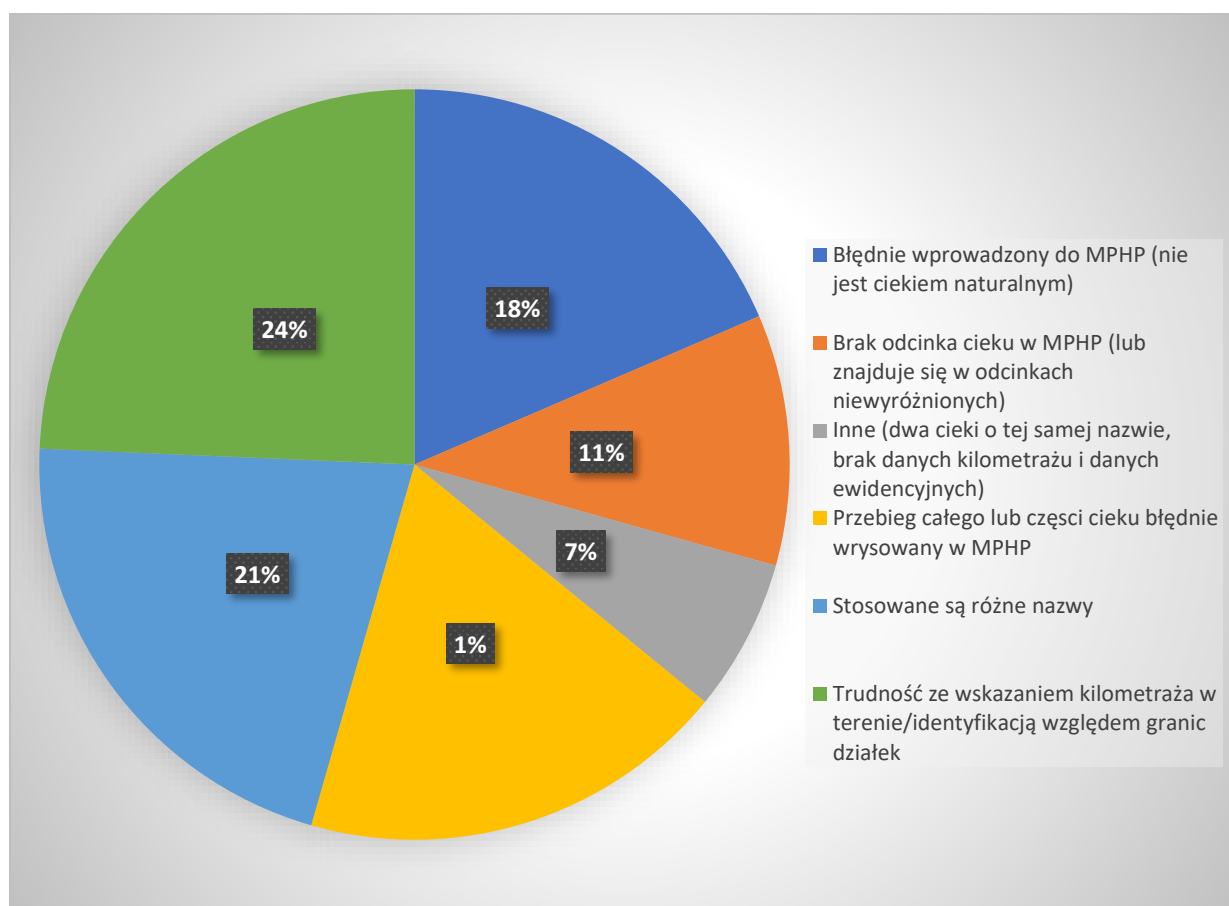
Ryc. 1: Mapa obiektów (cieków) w przypadku których występują problemy ewidencjonowania. Opracowanie własne.

3. Źródła problemów

W wyniku analizy opisów kwestii problemowych wyszczególniono następujące ich grupy:

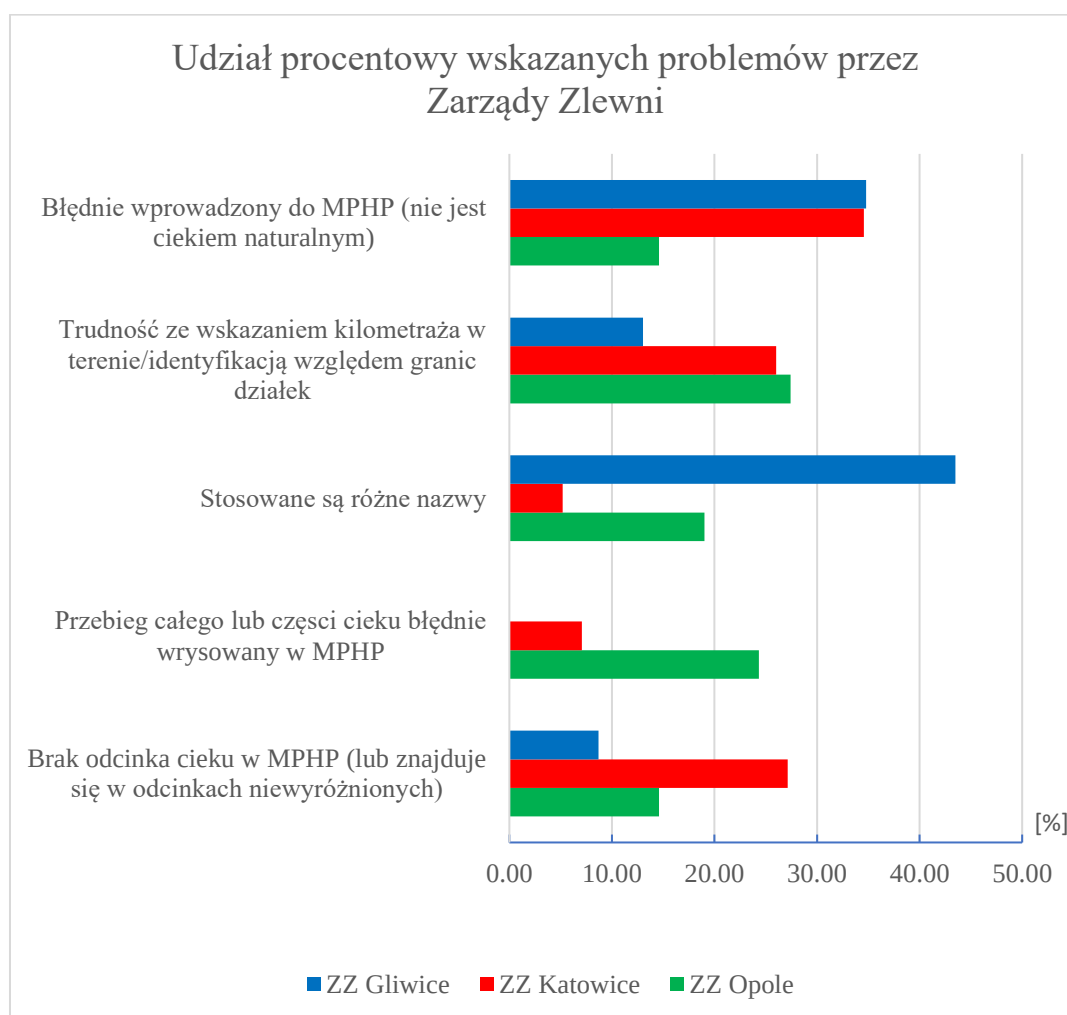
- brak odcinka cieku w MPHP (lub znajduje się w odcinkach niewyróżnionych),
- błędnie wprowadzony do MPHP (nie jest ciekiem naturalnym),
- brak jakichkolwiek danych kilometrażu oraz danych ewidencyjnych,
- dwa cieki o tej samej nazwie,
- przebieg całego lub części cieku błędnie wrysowany w MPHP,
- stosowane są różne nazwy,
- trudność ze wskazaniem kilometrażu w terenie/identyfikacją względem granic działek.

Biorąc pod uwagę obszar Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach najczęściej wskazywano problemy związane z poprawnym wskazaniem kilometrażu cieku oraz brakiem lub niepoprawną prezentacją przebiegu cieku przez warstwy komputerowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski, która udostępniania jest publicznie w Hydroportalu.



Ryc. 2: Dominujące kwestie problemowe dot. ewidencji wód powierzchniowych wskazane przez Pracowników PGW Wody Polskie. Opracowanie własne.

Analizując dane pozyskane z trzech Zarządów Zlewni (ZZ) należy zauważyć, że w przypadku każdego z nich wskazywano inne najczęstsze kwestie problemowe. W przypadku ZZ Opole był to błędnie wrysowany przebieg cieków i idący za tym problem związany z wyznaczeniem poprawnego kilometrażu. W przypadku ZZ Gliwice najbardziej problematycznym okazało się stosowane rozbieżne nazewnictwo w odniesieniu do tej samej rzeki. W przypadku Zarządu Zlewni w Katowicach najczęściej wskazywano inne problemy np. trudność z określeniem charakteru danego obiektu.



Ryc. 3: Najczęściej wskazywane problemy przez dane Zarządy Zlewni. Opracowanie własne.

4. Podsumowanie

4.1 Rekomendacje

Na podstawie przygotowanych zestawień zaleca się zwrócenie **szczególnej uwagi** oraz **dokonywanie konsultacji wszystkich jednostek właściwych terenowo** w przypadku rozpatrywaniu spraw/wydawaniu decyzji administracyjnych oraz dokonywania innych

czynności dotyczących obiektów opisanych w Rozdziale III. Mając powyższe na względzie rekomenduje się udostępnienie treści raportu lub scalonych danych pracownikom:

- Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach,
- Zarządu Zlewni w Katowicach,
- Zarządu Zlewni w Opolu,
- Zarządu Zlewni w Gliwicach,
- Nadzoru Wodnego w Głubczycach,
- Nadzoru Wodnego w Kluczborku,
- Nadzoru Wodnego w Kędzierzynie-Koźlu,
- Nadzoru Wodnego w Opolu,
- Nadzoru Wodnego w Raciborzu,
- Nadzoru Wodnego w Bielsku-Białej,
- Nadzoru Wodnego w Cieszynie,
- Nadzoru Wodnego w Skoczowie,
- Nadzoru Wodnego w Olkuszu,
- Nadzoru Wodnego w Katowicach,
- Nadzoru Wodnego w Gliwicach,
- Nadzoru Wodnego w Pszczynie,
- Nadzoru Wodnego w Prudniku,
- Nadzoru Wodnego w Rybniku,
- Nadzoru Wodnego w Bieruniu,
- Nadzoru Wodnego w Tarnowskich Górach,
- Nadzoru Wodnego w Strzelcach Opolskich.

4.2. Dalsze kroki

Niniejszy raport został opracowany w oparciu o dane zebrane w trakcie prac badawczych w ramach projektu *„Opracowanie metodyki ewidencjonowania wód powierzchniowych z wykorzystaniem narzędzi GIS oraz teledetekcji niskiego pułapu”*. Uzyskane dane były niezbędne do oznaczenia terenów, w których występuje największe natężenie problemów związanych z brakiem poprawnego zewidencjonowania wód powierzchniowych. Planowane w ramach projektu doktorskiego prace badawcze bazujące na wykorzystaniu bezzałogowych statków powietrznych, narzędzi Geograficznych Systemów Informacyjnych oraz teledetekcyjnych zostaną wykonane właśnie na tych obszarach. Prace, mające również charakter wdrożeniowy, mają na celu opracowanie metodyki ewidencjonowania oraz jednolitej bazy danych, w której wskazane w raporcie problemy zostaną zminimalizowane.



Opinia Opiekuna Pomocniczego

Jako Opiekun Pani Natalii Janczewskiej z ramienia Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie opiniuję pozytywnie realizację jej projektu doktorskiego.

W III roku realizacji projektu doktorskiego doktorantka zintensyfikowała prace wdrożeniowe w PGW Wody Polskie Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gliwicach. Na podstawie danych pozyskanych ze Starostw Powiatowych przedstawiona została niezgodność w pokryciu terenu reprezentowanym według Ewidencji Gruntów i Budynków ze stanem faktycznym. Doktorantka prowadziła także analizy formalno-praktyczne dotyczące art. 220 ustawy Prawo wodne w zakresie poprawnego wyznaczania linii brzegu (a co za tym idzie zasięgu wód). Ponadto, wykonane zostały naloty fotogrametryczne nad całą zlewnią rzeki Imielinki, a także zweryfikowane na tej podstawie zostały faktyczne przebiegi cieków Łęgoń (północno-zachodnia część RZGW w Gliwicach) oraz Kanału Dąbrówka (północno-wschodnia część RZGW w Gliwicach). W sierpniu br. doktorantka prowadziła również weryfikację terenową przebiegu cieku Imielinka z wykorzystaniem infrastruktury PGW Wody Polskie (precyzyjnego odbiornika GPS). Oparcie planowanej metodyki o dostępne w PGW WP narzędzia jest niezbędnym zabiegiem w kontekście planowanego wdrożenia w tutejszej Jednostce. W chwili obecnej trwa opracowywanie zebranych danych. Taki stopień zaawansowania prac oraz zaangażowania narzędzi dostępnych w PGW Wody Polskie wydaje się zapewniać powodzenie opracowania metodyki ewidencjonowania wód oraz jej wdrożenia w najbliższych miesiącach w tutejszej Jednostce.

Ponadto, Doktorantka w ramach obowiązków zawodowych zaangażowała około 50. Pracowników w szkolenia wewnętrzne z zakresu narzędzi geoinformacyjnych.

Dodatkowo p. N. Janczewska z dniem 30 sierpnia 2024 r. objęła funkcję p.o. Zastępcy Dyrektora ds. Usług Wodnych i Zarządzania Środowiskiem Wodnym, która wiąże się z koordynacją pracy Wydziałów odpowiedzialnych za prowadzenie baz danych wód powierzchniowych, stąd wdrożenie opracowywanej ewidencji będzie wiązało się poniekąd z obowiązkami służbowymi doktorantki.

Niezmienna względem poprzednich lat jest działalność edukacyjna doktorantki prowadzona w ramach obowiązków służbowych (zajęcia terenowe na Zbiorniku Racibórz oraz w siedzibie RZGW w Gliwicach, prowadzenie praktyk zawodowych). P. Natalia Janczewska kontynuuje również prowadzenie badań jakości wód z wykorzystaniem narzędzi teledetekcyjnych. Biorąc pod uwagę specyfikę silnie zantropogenizowanych zlewni, zarządzanych przez RZGW w Gliwicach, opracowana metodyka zdalnej detekcji wód zasolonych również może być przydatna w realizacji działań statutowych PGW Wody Polskie.

Z uwagi na 100% realizację zadań zaplanowanych w Indywidualnym Planie Badawczym na rok akademicki 2023/2024 oraz prowadzenie działań zmierzających do wdrożenia projektowanej bazy danych wód powierzchniowych, a także dodatkowe zaangażowanie wykraczające ponad zagadnienia projektu doktorskiego, opiniuję pozytywnie działalność doktorantki.

Mgr inż. Marcin Jarczyński
Dyrektor

Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie
Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gliwicach

Do wiadomości:

1. RZGW Gliwice: a/a

Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gliwicach
ul. Sienkiewicza 2, 44-100 Gliwice

T. +48 (32) 777 49 50 • F. +48 (32) 777 49 99 • E. gliwice@wody.gov.pl

www.wody.gov.pl

Opinia Opiekuna Pomocniczego

Jako Opiekun Pani Natalii Janczewskiej z ramienia Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie opiniuję pozytywnie realizację jej projektu doktorskiego. W IV roku realizacji projektu doktorskiego Doktorantka zwieńczyła prace wdrożeniowe w PGW Wody Polskie Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gliwicach przedstawiając projektowaną metodykę ewidencjonowania wód w postaci projektu instrukcji.

Podkreślenia wymaga, że Doktorantka pełniąc obowiązki Zastępcy Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach ds. Usług Wodnych i Zarządzania Środowiskiem Wodnym aktywnie dążyła do zintensyfikowania wykorzystania Geograficznych Systemów Informacyjnych i produktów fotogrametrycznych do różnych zadań statutowych Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gliwicach, a finalnie zaproponowane rozwiązania spotkały się z pozytywnym odbiorem w całej instytucji PGW Wody Polskie. Doktorantka zainicjowała i przedstawiła koncepcję aplikacji służącej do weryfikacji nielegalnych wylotów, która została następnie stworzona przez Wydział Systemu Informacyjnego Gospodarowania Wodami w Krajowym Zarządzie Gospodarki Wodnej. Kolejno Pani Natalia przedstawiła nowe narzędzia, które posłużyły do opracowania i wykorzystania aplikacji w identyfikacji nielegalnych obiektów budowlanych wokół zbiornika Pławniowice. Z inicjatywy i pod nadzorem Doktorantki w Regionalnym Zarządzie Gospodarki Wodnej w Gliwicach została również opracowana interaktywna mapa działek znajdujących się na obszarach zagrożenia powodziowego 1% (na terenie gmin poszkodowanych w wyniku powodzi we wrześniu 2024 r.), która kolejno została udostępniona publicznie przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej pod linkiem: <https://appgis.wody.gov.pl/portal/apps/instant/basic/index.html?appid=4590c2894495475e9b7e69e8b6478893>.

W ramach pełnionych obowiązków Zastępcy Dyrektora ds. Usług Wodnych i Zarządzania Środowiskiem Wodnym Doktorantka wprowadziła doraźny sposób rozwiązywania wątpliwości w zakresie przebiegu i charakteru wód, a także przynależności właścicielskich w postaci spotkań roboczych Wydziałów Koordynacji Eksploatacji, Gospodarowania Mieniem Skarbu Państwa i Współpracy z Użytkownikami Wód, Zgód Wodnoprawnych oraz Systemu Informacyjnego Gospodarowania Wodami wraz z właściwymi terenowo Zarządami Zlewni (Działy Zgód Wodnoprawnych, Utrzymania oraz Współpracy z Użytkownikami Wód) oraz właściwym terenowo Nadzorem Wodnym. Podczas spotkań ustalano stan wiedzy, badano źródła informacji przestrzennej oraz prawnej (w tym Ewidencję Gruntów i Budynków) a finalnie decydowano o konieczności złożenia wniosku o ustalenie charakteru wód. Do przygotowania wniosków stosowano materiały fotogrametryczne oraz modele numeryczne, walidowane w ramach prac badawczych Doktorantki. Dodatkowo Pani Natalia brała udział w pracach związanych z dostosowaniem bezzałogowych statków powietrznych do zadań niezbędnych do realizacji w ramach działalności Wód Polskich. Obecnie jako Ekspert w Wydziale Transformacji i Projektów Cyfrowych, a także członek Zespołu ds. optymalizacji, Pani Natalia Janczewska odpowiedzialna jest za prace związane z modernizacją systemu ISOK dla całej Organizacji, a także usprawnienia w zakresie robotyzacji i automatyzacji procesów.

Doktorantka przez ostatni rok kształcenia kontynuowała działalność edukacyjną w ramach obowiązków służbowych (m.in. poprzez prowadzenie praktyk zawodowych) oraz prowadzenie badań jakości wód z wykorzystaniem narzędzi teledetekcyjnych, pod kątem możliwości ich zastosowania w ramach

działalności statutowej Wód Polskich. Ponadto brała czynny udział w przygotowaniu projektów badawczych w ramach programu LIFE (projekt pn. „LIFE Górna Odra”) oraz Hydrostrateg (projekt pn. „Opracowanie metodologii i innowacyjnej technologii usuwania, unieszkodliwiania i bezpiecznego zagospodarowania osadów dennych z wód powierzchniowych z uwzględnieniem możliwości odzysku surowców), w ramach których przewidziano wykorzystanie prezentowanych w dysertacji metod teledetekcyjnych.

Z uwagi na 100% realizację zadań zaplanowanych w Indywidualnym Planie Badawczym oraz zrealizowane prace wdrożeniowe, a także dodatkowe zaangażowanie, wykraczające ponad zagadnienia projektu doktorskiego, opiniuję pozytywnie działalność Doktorantki.

**Marcin
Jarzyński**

Elektronicznie
podpisany przez
Marcin Jarzyński
Data: 2025.09.29
10:15:00 +02'00'

Mgr inż. Marcin Jarzyński

Zastępca Prezesa

*Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie
ds. Ochrony Przed Powodzią i Suszą*

Gliwice, 28 września 2025 r.
miejscowość, data

Mgr Natalia Janczewska

OŚWIADCZENIE OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTAWANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 1. Przegląd geodezyjny 2024, 7, 17 – 20. DOI: 10.15199/50.2024.7.2

mój udział wyniósł 51% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, walidacji, dowodzenia oraz przygotowania projektu.

2. Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 2. Przegląd geodezyjny 2024, 8, 18 – 23. DOI: 10.15199/50.2024.08.2

mój udział wyniósł 24% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, przygotowania danych oraz przygotowania projektu.

3. Biela, A.; Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 3. Przegląd geodezyjny 2024, 9, 15-18. DOI: 10.15199/50.2024.09.1

mój udział wyniósł 24% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, przygotowania danych oraz przygotowania projektu.

4. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Jarzyński, M.; Pieron, Ł. Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. Environ Socio-Econ Stud 2025, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005>

mój udział wyniósł 60% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, przygotowania danych, analizy formalnej, przygotowania projektu oraz redakcji.

5. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D. Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. J Hydrol Reg Stud 2023, 49, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>

mój udział wyniósł 60% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, dowodzenia, nadzoru, przygotowania danych, redakcji oraz analizy formalnej.

6. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Pieron, Ł. Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. *Remote Sens.* 2023, 15, 2356.
<https://doi.org/10.3390/rs15092356>

mój udział wyniósł 60% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, pozyskania, przygotowania danych, dowodzenia, walidacji, redakcji, recenzji oraz przygotowania projektu.

7. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Bieda, A. Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study. *Transactions in GIS* 2025, 29, e70055. <https://doi.org/10.1111/tgis.70055>

mój udział wyniósł 60% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, dowodzenia, nadzoru, przygotowania danych, redakcji oraz analizy formalnej.

8. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. *Water Resources Management*, 2025, DOI: 10.1007/s11269-025-04324-1

mój udział wyniósł 50% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, dowodzenia, przygotowania danych oraz przygotowania projektu.

9. Janczewska, N.; Matysik, M.; Jarzyński, M.; Absalon, D. Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing (artykuł na dzień złożenia rozprawy doktorskiej pozostaje w recenzjach)

mój udział wyniósł 70% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, przygotowania danych, walidacji, dowodzenia, analizy formalnej, przygotowania projektu, redakcji.



.....

podpis

dr hab. Magdalena Matysik, prof. UŚ

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Przyrodniczych

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska N.; Absalon D.; **Matysik M.** Ocena rozbieżności pomiędzy przestrzennymi bazami danych wód powierzchniowych w kontekście gospodarowania wodami w Polsce [w:] Więzik B. (red.) Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk. 2022. Zeszyt 45. 85–96.

mój udział wyniósł 10% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej oraz przygotowania projektu.

2. Janczewska, N.; **Matysik, M.**; Absalon, D. Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. J Hydrol Reg Stud 2023, 49, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>

mój udział wyniósł 20% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, nadzoru, recenzji, dowodzenia, analizy formalnej, walidacji, przygotowania projektu oraz redakcji.

3. Janczewska, N.; **Matysik, M.**; Absalon, D.; Jarzyński, M.; Pieron, Ł. Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. Environ Socio-Econ Stud 2025, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005>

mój udział wyniósł 15% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, nadzoru, walidacji, recenzji, dowodzenia oraz przygotowania danych.

4. Janczewska, N.; **Matysik, M.**; Absalon, D.; Pieron, Ł. Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. Remote Sens. 2023, 15, 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356>

mój udział wyniósł 20% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, nadzoru, dowodzenia, przygotowania danych, przygotowania projektu, recenzji oraz redakcji.

5. Janczewska, N.; **Matysik, M.**; Absalon, D.; Bieda, A. Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study. Transactions in GIS 2025, 29, e70055. <https://doi.org/10.1111/tgis.70055>

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, walidacji, nadzoru, recenzji oraz przygotowania projektu.

6. Janczewska, N.; **Matysik, M.**; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025, mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, nadzoru, walidacji.

7. Janczewska, N., Matysik, M., Jarzyński, M., Absalon, D., 2025. Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing. Journal of Water and Land Development (przesłane do czasopisma).

mój udział wyniósł 15% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, dowodzenia, nadzoru, przygotowania danych, redakcji oraz analizy formalnej.

Megokline Matysik

dr hab. Damian Absalon, prof. UŚ

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Przyrodniczych

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska N.; **Absalon D.**; Matysik M. Ocena rozbieżności pomiędzy przestrzennymi bazami danych wód powierzchniowych w kontekście gospodarowania wodami w Polsce [w:] Więzik B. (red.) Współczesne problemy gospodarowania zasobami wodnymi. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk. 2022. Zeszyt 45. 85–96.

mój udział wyniósł 10% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, analizy formalnej oraz redakcji.

2. Janczewska, N.; Matysik, M.; **Absalon, D.** Verification of the consistency of surface water spatial databases and their importance for water management in Poland. J Hydrol Reg Stud 2023, 49, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101486>

mój udział wyniósł 20% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, recenzji, dowodzenia, analizy formalnej, walidacji, przygotowania danych oraz redakcji.

3. Janczewska, N.; Matysik, M.; **Absalon, D.**; Jarzyński, M.; Pieron, Ł. Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. Environ Socio-Econ Stud 2025, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005>

mój udział wyniósł 15% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, nadzoru, walidacji, recenzji oraz redakcji.

4. Janczewska, N.; Matysik, M.; **Absalon, D.**; Pieron, Ł. Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. Remote Sens. 2023, 15, 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356>

mój udział wyniósł 10% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, przygotowania projektu oraz redakcji.

5. Janczewska, N.; Matysik, M.; **Absalon, D.**; Bieda, A. Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study. Transactions in GIS 2025, 29, e70055. <https://doi.org/10.1111/tgis.70055>

mój udział wyniósł 10% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, walidacji, recenzji oraz przygotowania projektu.

6. Janczewska, N.; Matysik, M.; **Absalon, D.**; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, pozyskania finansowania, walidacji.

7. Janczewska, N., Matysik, M., Jarzyński, M., **Absalon, D.**, 2025. Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing. Journal of Water and Land Development (przesłane do czasopisma).

mój udział wyniósł 10% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, dowodzenia oraz analizy formalnej.



Gliwice, 19 września 2025 r.

mgr inż. Marcin Jarzyński

Państwowe Gospodarstwo Wodne
Wody Polskie
Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej
ul. Tytusa Chałubińskiego
00-613 Warszawa

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N., Matysik, M., Absalon, D., **Jarzyński, M.**, Pieron, Ł., 2025. Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. Environmental & Socio-economic Studies, Sciendo, Vol. 13 (Issue 1), (2025) pp. 53-62. <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005>

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, przygotowania projektu oraz redakcji.

2. Janczewska, N., Matysik, M., **Jarzyński, M.**, Absalon, D., 2025. Methodology for creating surface water database using GIS tools and remote sensing. Journal of Water and Land Development (przesłane do czasopisma).

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, walidacji, dowodzenia oraz analizy formalnej.



Warszawa, 22 września 2025 r.

dr inż. Łukasz Pieron

Państwowe Gospodarstwo Wodne
Wody Polskie
Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej
ul. Tytusa Chałubińskiego
00-613 Warszawa

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Jarzyński, M.; **Pieron, Ł.** Use of spatial water database as an essential element of water management – a methodological overview. Environ Socio-Econ Stud 2025, 13(1), 53–62. <https://doi.org/10.2478/environ-2025-0005>

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, przygotowania danych, przygotowania projektu oraz redakcji.

2. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; **Pieron, Ł.** Spatial Multi-Criteria Analysis of Water-Covered Areas: District City of Katowice—Case Study. Remote Sens. 2023, 15, 2356. <https://doi.org/10.3390/rs15092356>

mój udział wyniósł 10% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, przygotowania danych, przygotowania projektu oraz redakcji.

3. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, pozyskania finansowania, walidacji.

Łukasz
Pieron

Elektronicznie
podpisany przez
Łukasz Pieron
Data: 2025.09.23
07:31:58 +02'00'

Kraków, 19 września 2025 r.

dr hab. Agnieszka Bieda, prof. AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; **Bieda, A.** Surface Flowing Waters Covered Areas From the Cadastre Database as a Source for the National Spatial Water Database—Case Study. Transactions in GIS 2025, 29, e70055. <https://doi.org/10.1111/tgis.70055>

mój udział wyniósł 25% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, walidacji, nadzoru, recenzji oraz przygotowania projektu.



Katowice, dnia 19 września 2025 r.

mgr inż. Magdalena Biela

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Przyrodniczych

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Biela, A.; Janczewska N.; **Biela, M.** Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 1. Przegląd geodezyjny 2024, 7, 17 – 20. DOI: 10.15199/50.2024.7.2

mój udział wyniósł 25% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, przygotowania projektu, walidacji i redakcji.

2. Biela, A.; Janczewska N.; **Biela, M.** Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 2. Przegląd geodezyjny 2024, 8, 18 – 23. DOI: 10.15199/50.2024.08.2

mój udział wyniósł 25% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, przygotowania projektu, walidacji i redakcji.

3. Biela, A.; Janczewska N.; **Biela, M.** Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 3. Przegląd geodezyjny 2024, 9, 15-18. DOI: 10.15199/50.2024.09.1

mój udział wyniósł 25% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, analizy formalnej, przygotowania projektu, walidacji i redakcji.

4. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; **Biela, M.**; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, redakcji i przygotowania projektu.

Magdalena Biela

Katowice, 19 września 2025 r.

Mgr inż. Artur Biela

Śląski Urząd Wojewódzki w Katowicach
Wojewódzka Inspekcja Geodezyjna i Kartograficzna

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. **Biela, A.;** Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 1. Przegląd geodezyjny 2024, 7, 17 – 20. DOI: 10.15199/50.2024.7.2

mój udział wyniósł 24% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, przygotowania projektu i redakcji.

2. **Biela, A.;** Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 2. Przegląd geodezyjny 2024, 8, 18 – 23. DOI: 10.15199/50.2024.08.2

mój udział wyniósł 51% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, przygotowania danych, analizy formalnej, nadzoru, walidacji, przygotowania projektu i redakcji.

3. **Biela, A.;** Janczewska N.; Biela, M. Zasady ustalenia granic nieruchomości pokrytych wodą płynącą – cz. 3. Przegląd geodezyjny 2024, 9, 15-18. DOI: 10.15199/50.2024.09.1

mój udział wyniósł 51% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, przygotowania danych, analizy formalnej, nadzoru, walidacji, przygotowania projektu i redakcji.



Katowice, 19 września 2025 r.

dr hab. Andrzej Woźnica, prof. UŚ

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Przyrodniczych

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; **Woźnica, A.**; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, redakcji i przygotowania projektu.



Katowice, 19 września 2025 r.

dr hab. Edyta Sierka, prof. UŚ

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Przyrodniczych

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; **Sierka, E.** A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, redakcji i przygotowania projektu.



Katowice, 19 września 2025 r.

dr Marcin Lipowczan

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Przyrodniczych

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; **Lipowczan, M.**; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, redakcji i przygotowania projektu.



Katowice, 19 września 2025 r.

Mgr inż. Wanda Jarosz

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych
ul. Kossutha 6, 40-844 Katowice

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; **Jaros, W.**; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, redakcji i przygotowania projektu.



Katowice, 19 września 2025 r.

dr Witold Mandrysz

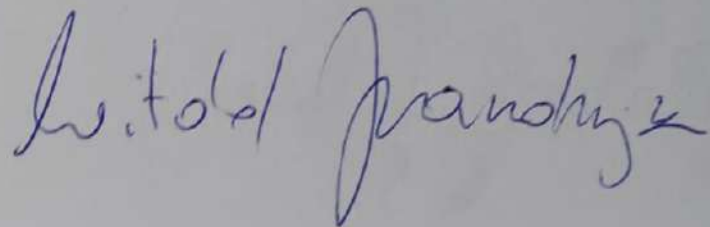
Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Nauk Społecznych

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysik, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; Kalinowska-Wójcik, B.; Jarosz, W.; **Mandrysz, W.**; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, redakcji i przygotowania projektu.



Katowice, 19 września 2025 r.

dr Barbara Kalinowska-Wójcik

Uniwersytet Śląski w Katowicach
Wydział Humanistyczny

OŚWIADCZENIE WSPÓŁAUTORA OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O WŁASNYM WKŁADZIE W POWSTANIE PRACY

Oświadczam, że w pracach:

1. Janczewska, N.; Matysík, M.; Absalon, D.; Woźnica, A.; Lipowczan, M.; Pieron, Ł.; **Kalinowska-Wójcik, B.**; Jarosz, W.; Mandrysz, W.; Biela, M.; Sierka, E. A Methodology for Detecting Existing and Potential Hydrographic Features. Water Resources Management, 2025,

mój udział wyniósł 5% i polegał na realizacji zadań z zakresu: koncepcji, metodyki, redakcji i przygotowania projektu.

Kalinowska - Wójcik