



WOJSKOWA AKADEMIA
TECHNICZNA



ROK AKADEMICKI: **2024/2025**

KIERUNEK: **Inżynieria Geoprzestrzenna**

GRUPA: **WIG22IX1S1**

Analiza zmian powierzchni jezior
na podstawie zobrażeń satelitarnych
na przykładzie Jeziora Wilczyńskiego

Autor: Antosiak Alicja

Opiekun: mgr inż. Dorota Latos

Warszawa 2024

1. Dlaczego monitorowanie jezior jest ważne?

Monitorowanie obszarów wodnych jest szczególnie istotne ze względu na ich znaczenie dla środowiska. Niestety, zasoby wodne są często postrzegane jako surowiec, który można eksploatować dla zysku, bez uwzględnienia długoterminowych konsekwencji. Podejście to prowadzi do tego, że jeziora coraz częściej stają się ofiarami nieprzemyślanej działalności człowieka. Tragiczne historie Jeziora Aralskiego czy Wielkiego Jeziora Słonego, pokazują skalę problemu. Obecnie wysychające jeziora stanowią realne zagrożenie, m.in. ze względu na toksyczne pyły z dna¹.

Również w Polsce zauważamy skutki degradacji jezior. Choć nie są tak spektakularne, jak w przypadku największych zbiorników świata, problem jest równie poważny i wymaga pilnych działań. Niestety, regularne monitorowanie wszystkich jezior jest niemożliwe, dlatego w Polsce prowadzi się pomiary jedynie dla wybranych zbiorników. Jest to uzasadnione ze względu na czas i koszty, które wiążą się z ich realizacją.

Rozwój technologii satelitarnych otwiera nowe możliwości w monitorowaniu jezior. Metody teledetekcyjne pozwalają śledzić zmiany na dużą skalę, są powszechnie dostępne, dostarczają także regularnych danych.

Celem pracy było sprawdzenie skuteczności metod satelitarnych do analizy zmian powierzchni jezior na przykładzie Jeziora Wilczyńskiego w latach 1993–2024.

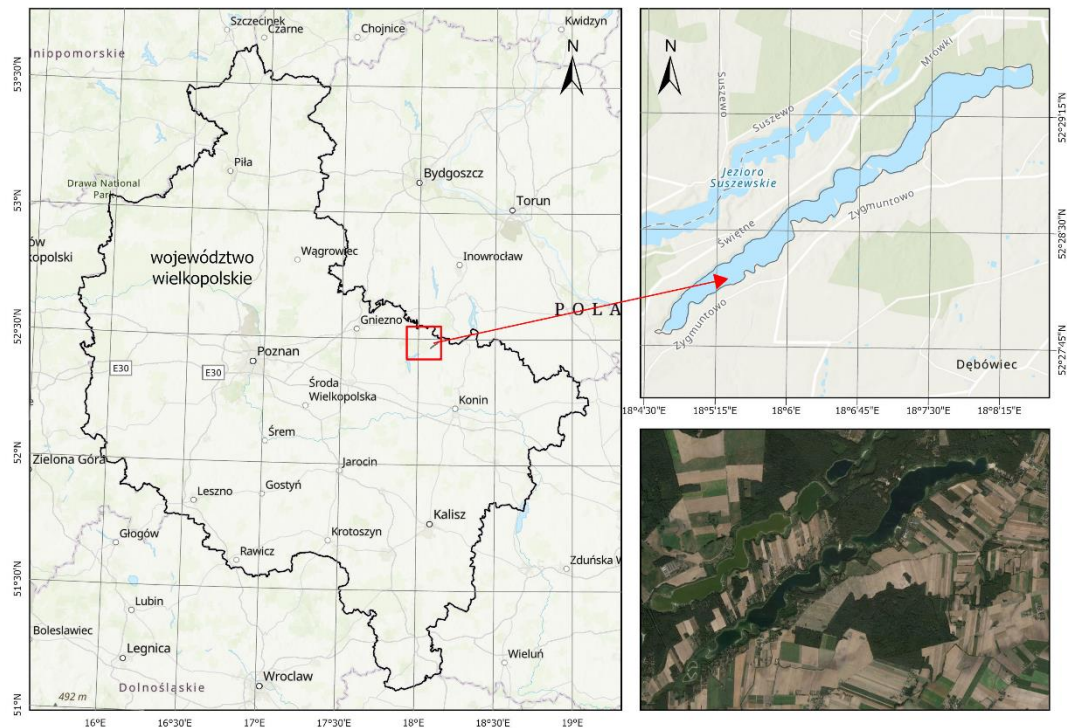
2. Dlaczego właśnie Jezioro Wilczyńskie?

Wybór Jeziora Wilczyńskiego był podyktowany jego szczególną podatnością na wysychanie, spowodowaną sąsiedztwem odkrywkowej kopalni Konin, której obszar oraz okolica, były od lat 40. XX wieku objęte górnym odwadnianiem terenu². Ponadto jeziora polodowcowe, w tym Jezioro Wilczyńskie, należą do najmniej trwałych elementów środowiska, a wiele z nich uległo naturalnemu zanikowi³. Zmiany w strukturze hydrologicznej mogą wzmocnić także uwarunkowania środowiskowe oraz obecne tendencje klimatyczne.

¹ <https://www.businessinsider.com/utah-great-salt-lake-disappearing-toxic-bowl-dust-lawmakers-bill-2023-2?IR=T> [dostęp 24.11.2024r.]

² strona PAK Kopalnia Węgla Brunatnego Konin (<http://www.kwbkonin.pl/index.php/odkrywki-2/>)

³ Stachowski P., Oliskiewicz-Krzywicka A., Kupiec J.M., 2016, Naturalne uwarunkowania stanu wód jezior w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego „Konin”, Rocznik Ochrona Środowiska, tom 18, str. 658



Rysunek 1: Położenie Jeziora Wilczyńskiego

3. Jakich danych źródłowych użyć?

Dane satelitarne zostały pozyskane z serwisu Sentinel Hub. Wykorzystano obrazy z satelitów: Sentinel-2 (2019, 2024), Landsat 8 (2014) oraz Landsat 4-5 (1993-2010).

Dobór odpowiednich zobrazowań powinien być podyktowany przede wszystkim przez:

- a) Cel wykonywania analizy
- b) Ogólną charakterystykę klimatu danej strefy (dla klimatu monsunowego wybór miesięcy do analizy byłby inny niż dla strefy klimatów umiarkowanych, w której znajduje się Polska)
- c) Dane pogodowe.

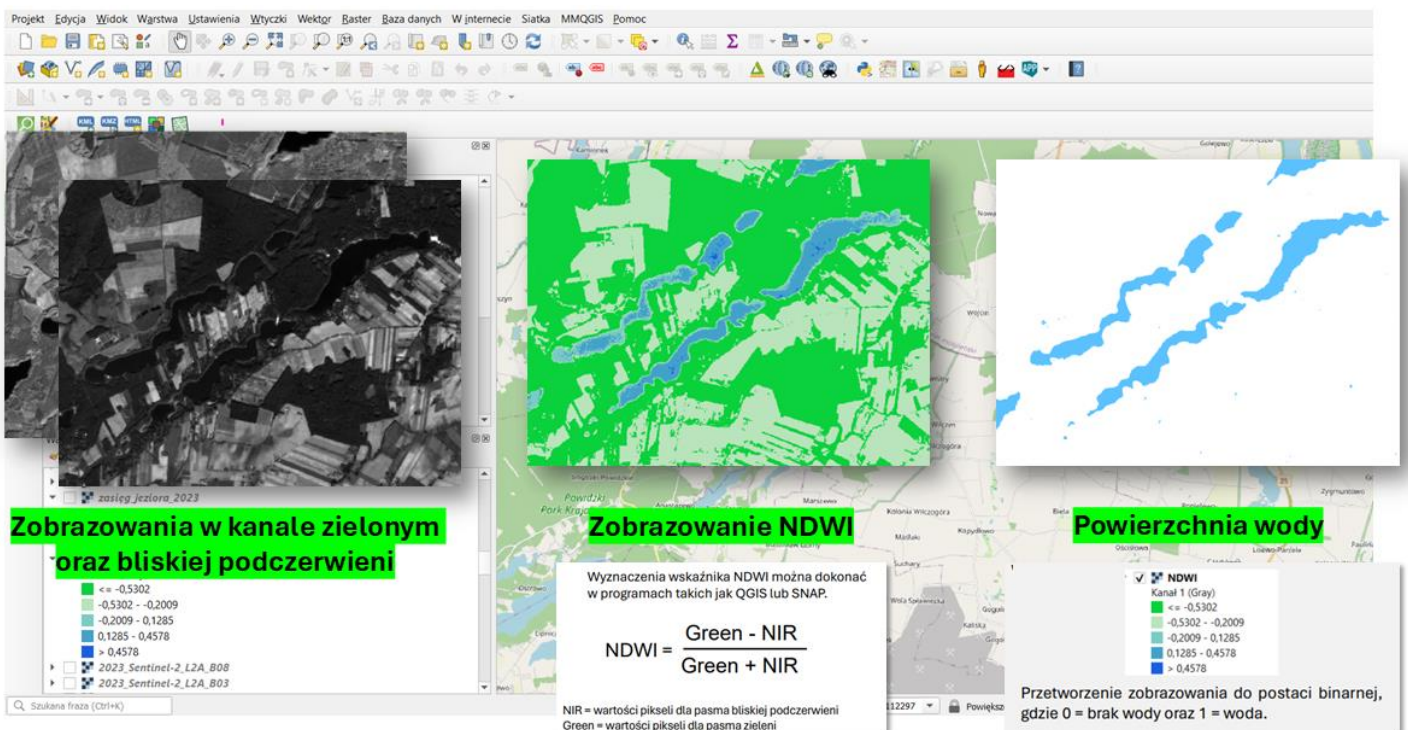
Dla Jeziora Wilczyńskiego wybrano zobrazowania wykonane wiosną oraz jesienią. Wybór ten nie był przypadkowy, gdyż wymienione dwie pory roku wystarczają, aby ocenić występowanie oraz wielkość sezonowych fluktuacji w powierzchni jezior na terenie Polski. Zwiększone lub obniżone stany wody wiosną oraz jesienią będą najczęściej konsekwencją ilości opadów, które zasilają jeziora bezpośrednio lub pośrednio zimą i latem.

Ponadto, uwzględniono, aby współczynnik zachmurzenia na wybranych zobrazowaniach nie przekraczał 10%, co zapewniało optymalną widoczność i rozróżnialność form terenowych.

Przyjęto, że powierzchnia jeziora odpowiada widocznemu zasięgowi wody w momencie wykonania zobrazowania. Choć wiele analiz podaje powierzchnię jeziora, jako obszar, który odpowiada rzędnej lustra wody, takie podejście wymaga specjalistycznych pomiarów terenowych lub dysponowania modelem batymetrycznym danego zbiornika.

4. Co umożliwiła metoda *Normalized Difference Water Index (NDWI)*?

NDWI to wskaźnik używany do analizy obszarów wodnych, oparty na danych z kanałów zielonego (Green) i bliskiej podczerwieni (NIR) z obrazowań satelitarnych. Dzięki NDWI można określić zawartość wody w danym obszarze oraz w konsekwencji - obliczyć powierzchnię zbiornika wodnego.



Rysunek 2: Schemat stosowania wskaźnika wodnego do wyznaczania powierzchni jeziora

Zalety NDWI:

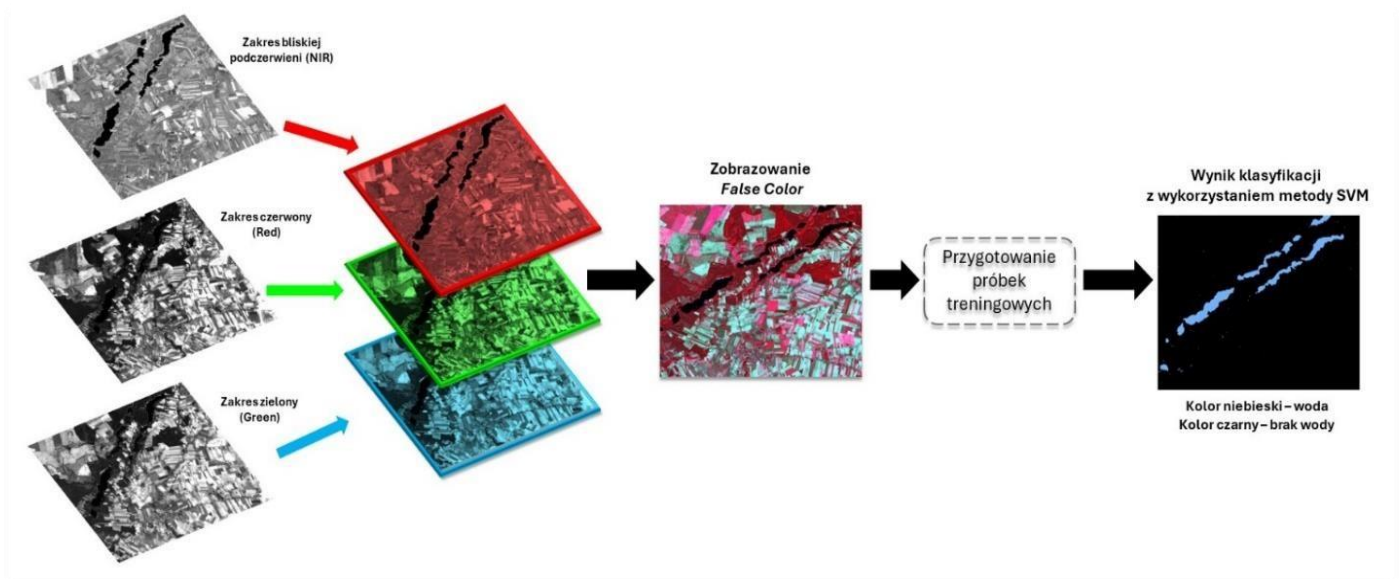
- Skuteczny w monitorowaniu powierzchni obszarów wodnych.
- Prosty w użyciu.

Wady NDWI:

- Subiektywny dobór wartości progowej może wprowadzać błędy.
- Roślinność o podobnej odbiciowości do wody może fałszować wyniki.
- Dokładność wyników zależy od jakości danych oraz pory roku.

5. Klasyfikacja spektralna – jak efektywnie analizować obrazy satelitarne?

Metoda *Support Vector Machine (SVM)* to metoda, pozwalająca automatycznie dzielić obrazy na zdefiniowane klasy, np. „woda” i „brak wody”. Proces polega na przypisywaniu pikselom obrazów cyfrowych odpowiednich grup na podstawie ich cech, co pozwala uzyskać dane na temat powierzchni jeziora. Należy pamiętać o sprawdzeniu dokładności uzyskanych wyników.



Rysunek 3: Schemat klasyfikacji spektralnej

Zalety metody:

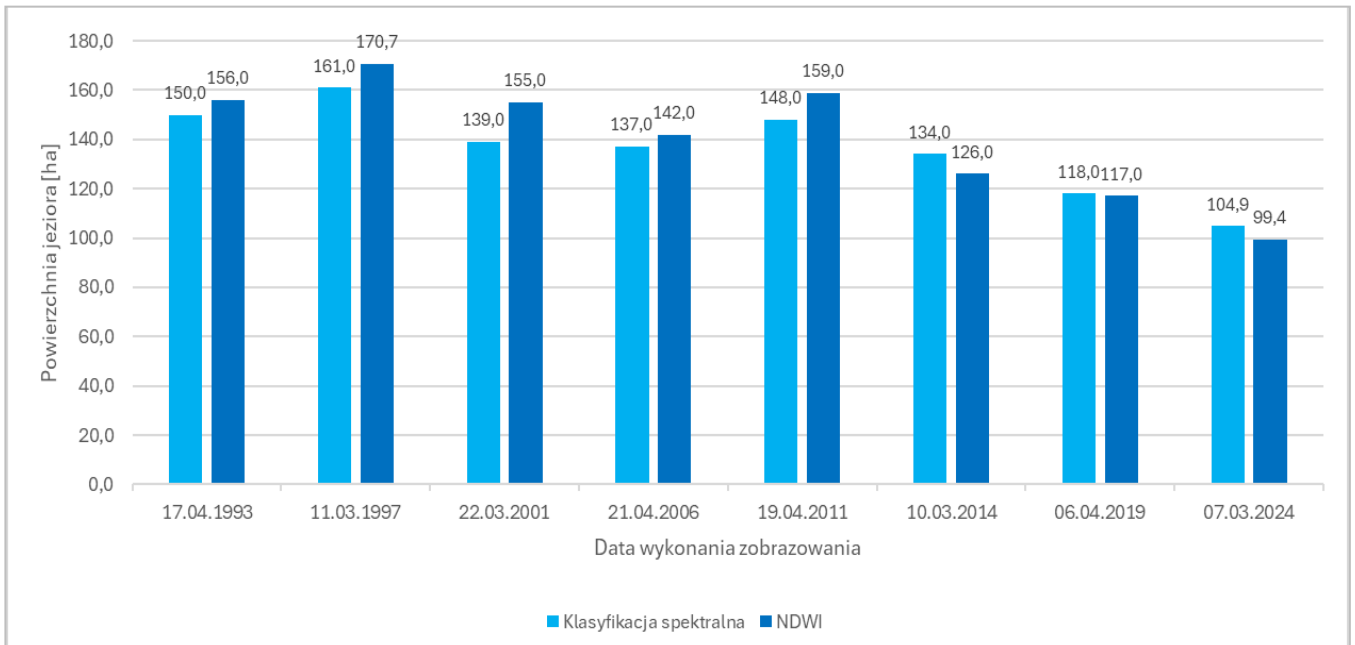
- Automatyizacja i oszczędność czasu.
- Dokładne wyniki dla klasyfikacji binarnej.
- Możliwość wykorzystania narzędzi GeoAI (np. w ArcGIS Pro).

Wady metody:

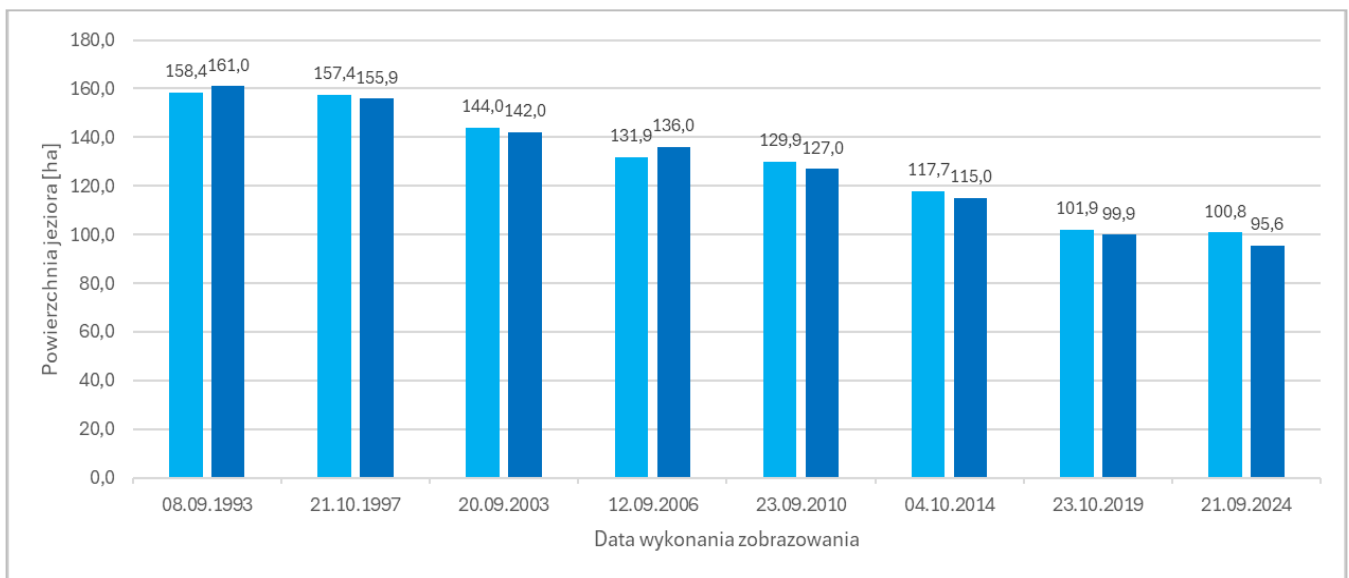
- Błędne przypisanie pikseli na granicach klas, np. między wodą a lądem.
- Mniejsza skuteczność dla dużej liczby klas.

6. Jak dokładne są uzyskane wyniki?

Uzyskane wartości zaprezentowano na wykresach, z podziałem na pory roku (Rys. 4-5). Można zauważyć, że powierzchnia jeziora sukcesywnie maleje, jednak nie jest to proces liniowy.



Rysunek 4: Powierzchnia jeziora Wilczyńskiego wyznaczona dla miesięcy wiosennych



Rysunek 5: Powierzchnia jeziora Wilczyńskiego wyznaczona dla miesięcy jesiennych

Rozdzielczość przestrzenna zobrażeń satelitarnych sprawia, że wyniki są przybliżeniem rzeczywistej powierzchni jeziora. Nie oznacza to jednak, że te metody są mniej wartościowe – pomiary terenowe także są ograniczone przez:

- Trudny dostęp do brzegów – z powodu gęstej roślinności i prywatnych działek.
- Niejasny przebieg linii brzegowej – trudny do precyzyjnego określenia.

W ramach oceny dokładności metod teledetekcyjnych wykonano pomiary GNSS w terenie (23 września 2024 r.), które uzupełniono ortofotomapą. Wyniki te porównano z danymi satelitarnymi z 21 września 2024 r.

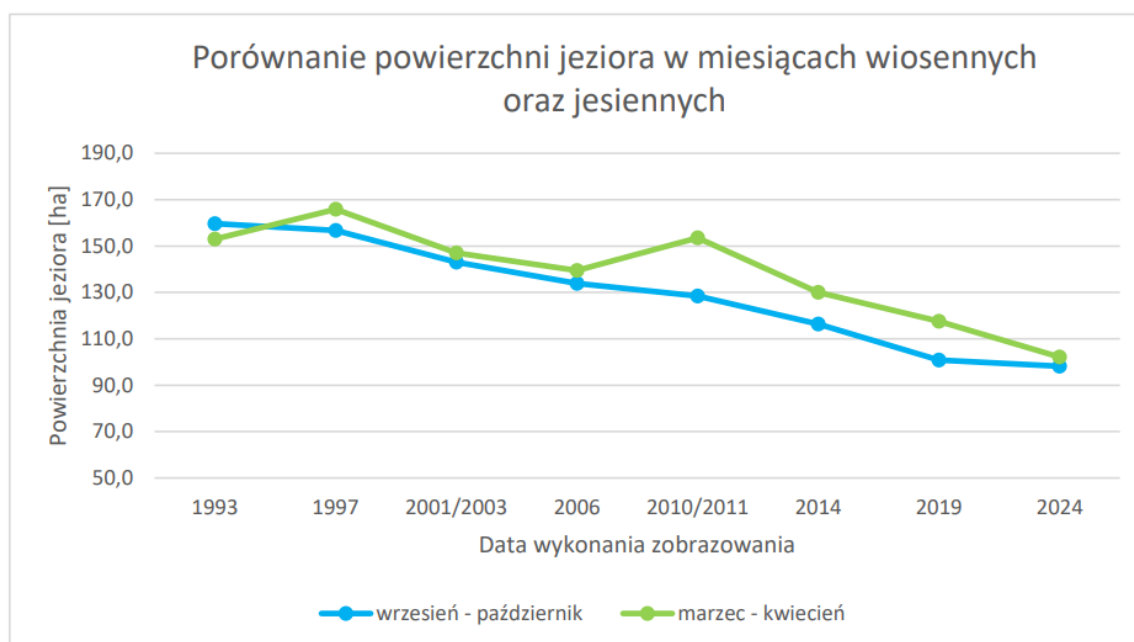
Tabela 1: Porównanie danych referencyjnych z wyznaczonymi wartościami

Metoda	Pomiar terenowy + ortofotomapa	SVM	NDWI
Powierzchnia [ha]	102,8	100,8	95,6

Wyniki dla metody SVM były bliższe zmierzonym, jednak obie metody pozwalają na skuteczne wyznaczanie powierzchni jeziora.

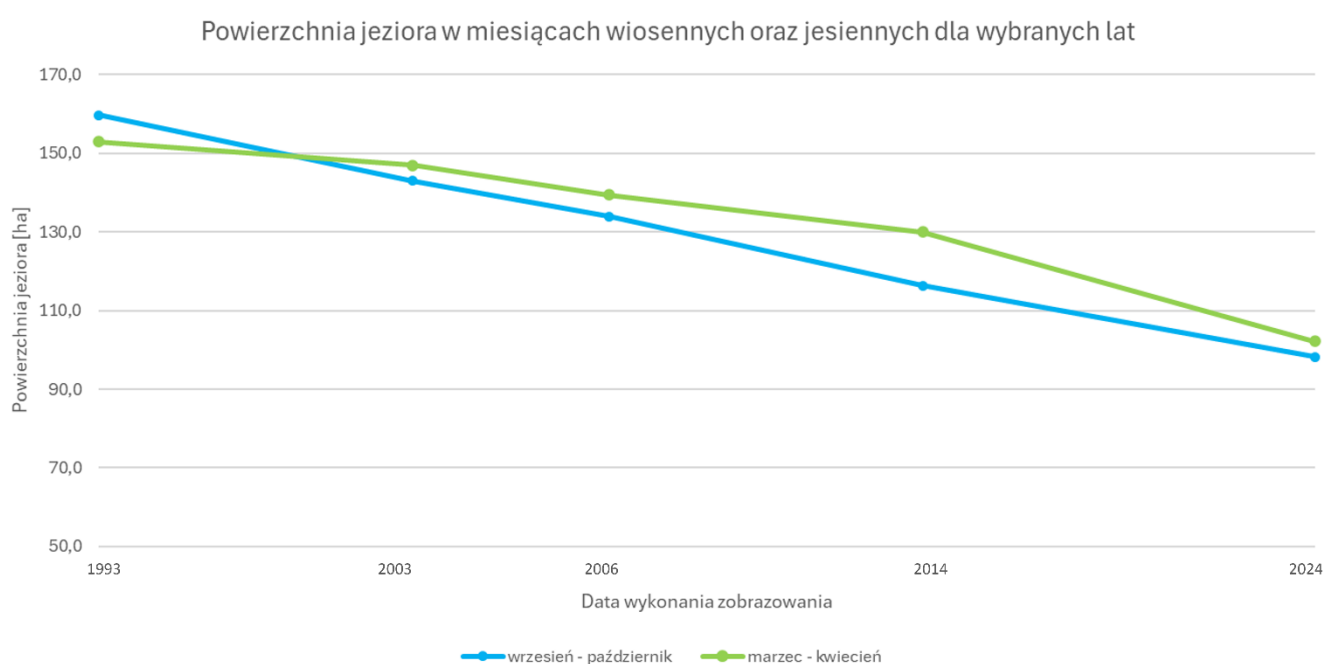
7. W jaki sposób jezioro się zmienia?

Analiza danych pokazała, że powierzchnia Jeziora Wilczyńskiego zmienia się sezonowo – jest większa wiosną, gdy zbiornik zasilają wody z topniejącego śniegu, a mniejsza jesienią. Wykres zmian dla uśrednionych powierzchni (Rys. 6) pozwala zauważać występowanie lat, w których powierzchnia jeziora się zwiększała.



Rysunek 6: Sezonowe fluktuacje wielkości powierzchni jeziora

Uwzględniono także dane klimatyczne z Biuletynów Państwowej Służby Hydrologiczno – Meteorologicznej⁴. Według przyjętych zasad przypisuje się danym latom określone kategorie: lata suche, przeciętne oraz mokre. Odzwierciedla to w pewnym stopniu sytuację hydrologiczną w kraju w danym roku. Stwierdzono jednak, że w analizie uwzględniono lata odbiegające od normy, co mogło zakłócać ogólną tendencję. W związku z tym do dalszych badań wybrano jedynie lata uznane za przeciętne lub nieznacznie od nich odbiegające, co skutkowało wykluczeniem lat 1997, 2010, 2011 oraz 2019 (rys. 7). Takie podejście pozwoliło uzyskać bardziej klarowny obraz zmian powierzchni jeziora, a także wskazało na konieczność uwzględniania danych klimatycznych podczas wyboru zobrazowań..



Rysunek 7: Powierzchnia jeziora w miesiącach wiosennych oraz jesiennych dla wybranych lat

Ze względu na nierówne odstępy pomiędzy kolejnymi zobrazowaniami, zdecydowano się na obliczenie średniorocznego tempa zmian⁵ (Wzór 1). Wskazuje ono o ile średnio procent rocznie, powinna zmieniać się powierzchnia jeziora (względem początku danego okresu), aby uzyskać końcową wartość. Pozwala zauważyć, w których przedziałach zmiany były najszybsze.

⁴ danepubliczne.imgw.pl

⁵ Średnie tempo zmian określa tempo zmian zjawiska (w tym wypadku powierzchni jeziora), jakie powinno występować przez cały okres (1, n), aby przyrost z tego okresu rozłożyć równomiernie w czasie.

$$r(n, 1) = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}} \times 100 \quad (1)$$

y_n – powierzchnia jeziora w danym roku
 n – liczba lat

Tabela 4: Zestawienie średniorocznego tempa zmian dla różnych okresów

Średnioroczne tempo zmian powierzchni jeziora [%]					
Lata	wrzesień - październik		Lata	marzec - kwiecień	
1993-2003	-1,22	-1,22	1993-2001	-0,44	-0,44
2003-2006	-3,22	-2,04	2001-2006	-2,58	-1,22
2006-2014	-1,99		2006-2014	-1,00	
2014-2024	-2,02	-2,02	2014-2024	-2,64	-2,64

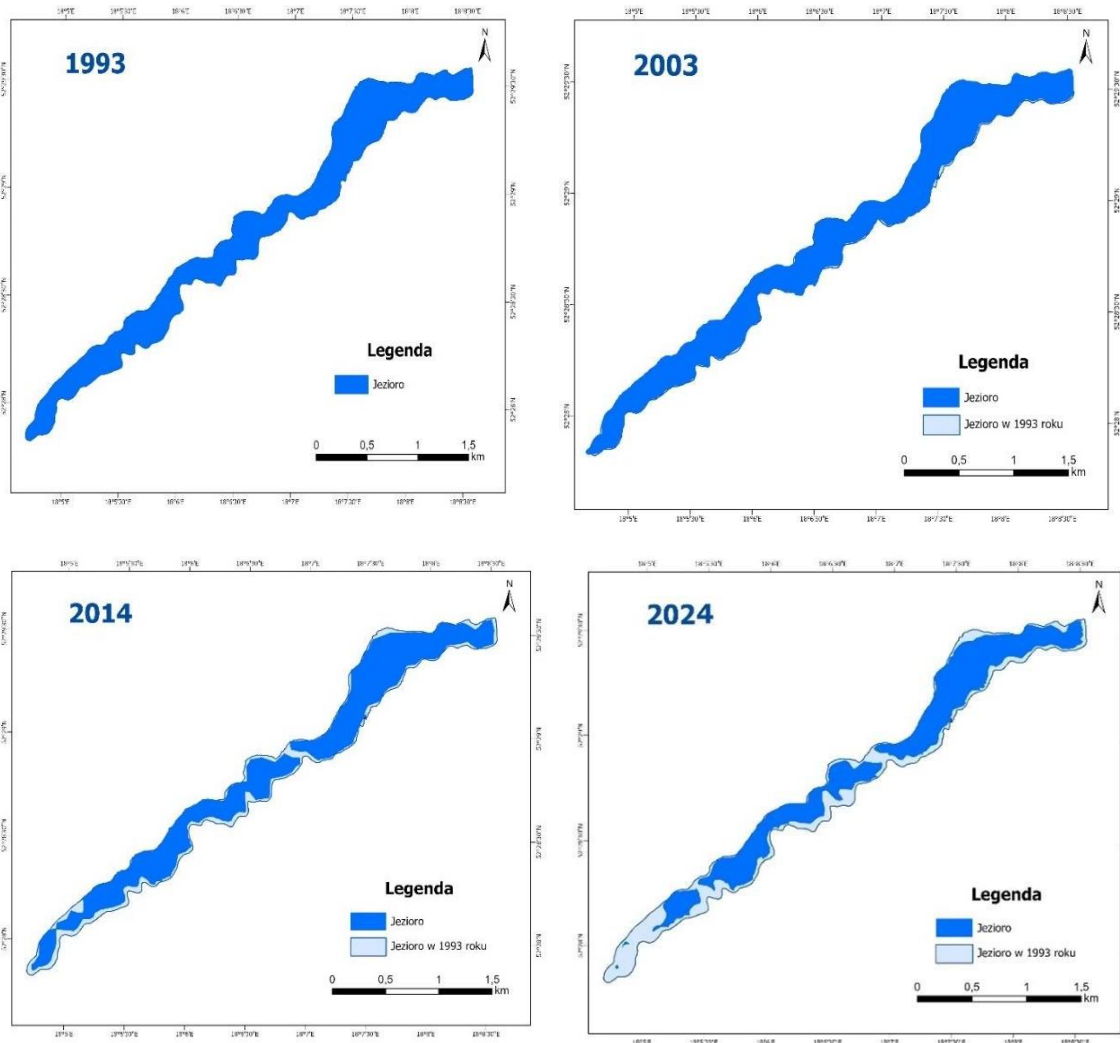
W ostatniej dekadzie jezioro zanika szybciej niż pod koniec XX wieku. Przeprowadzono analizę przyczyn tego zjawiska, wykluczając wpływ rozwoju działalności kopalni, ponieważ ostatnią odkrywkę uruchomiono w 2011 roku, a do tego czasu zakończono eksploatację trzech innych złóż.



Rysunek 8: Pozostałości dawnego pomostu - obecnie oddalone o kilka metrów od jeziora

Wizualizacja, przedstawiająca zmiany powierzchni jeziora na przestrzeni lat, podkreśla skalę zjawiska oraz jego dynamiczny charakter.

Tabela 2: Wizualizacja powierzchni zajmowanej przez jezioro



8. Kiedy opisane metody są szczególnie ważne?

- Gdy nie dysponujemy danymi historycznymi.
- Gdy potrzebujemy aktualnych informacji na temat danego zbiornika i nie mamy możliwości wykonania pomiarów terenowych: ze względu na brak środków finansowych, niedostępność terenu, brak czasu.
- Podczas podejmowania decyzji, aby poznać ogólną tendencję, zwrócić uwagę na kluczowe momenty oraz wyszukać najbardziej prawdopodobne przyczyny zmian, żeby wdrożyć działania zapobiegawcze.

9. Jakie są wnioski?

Dane satelitarne są skutecznym narzędziem w monitorowaniu i analizie przekształceń zbiorników wodnych. Pozwalają, nie tylko obserwować zmiany powierzchni jezior, ale także dostarczają danych ilościowych, umożliwiają śledzenie sezonowych wahań oraz długoterminowych trendów.

Analiza wykazała, jak istotny jest wpływ czynników klimatycznych na uzyskiwane rezultaty, co podkreśla konieczność uwzględniania tych danych przy doborze zobrazowań. Badania wieloletnich trendów są kluczowe, ponieważ analizy krótkoterminowe mogą prowadzić do błędnych wniosków, jak miało to miejsce w przypadku Jeziora Wilczyńskiego. W latach 2006-2008 (czyli w okresie, gdy problem ubytku wody w jeziorze był zdecydowanie mniejszy) zaczęto pracę nad projektem, który miał na celu zasilanie Jeziora Wilczyńskiego i Jeziora Budziszawskiego wodami z odwodniania odkrywki Józwin IIB. Został on zatwierdzony w 2010 roku. Wówczas wystąpiły jednak ponadprzeciętne opady, a poziom wody w jeziorach znacznie się podniósł. Spowodowało to, że realizacja projektu została wstrzymana⁶. Problem degradacji jezior nie został rozwiązany, a wręcz przyśpieszył⁷. Podkreśla to konieczność prowadzenia długoterminowych analiz, aby uniknąć błędnych wniosków.

Zobrazowania satelitarne wykorzystane do monitorowania obszarów wodnych pozwalają:

- 1) na regularne badanie dużych obszarów,
- 2) na łatwiejszą identyfikację przyczyn danych zmian,
- 3) analizowanie zmian w długim okresie,
- 4) skrócenie czasu potrzebnego na analizę.

⁶ Przybyłek, J., Gąbka, M., Kamiński, W., Wiliński, R. (2020). *Analiza możliwości zasilania jezior Powidzkiego Parku Krajobrazowego zasobami wodnymi rzeki Warty oraz Kanału Ślesińskiego.*, str. 7

⁷ Warto zauważyć, że obecnie również prowadzone są prace nad projektami, mającymi na celu poprawę sytuacji rzek i jezior m.in. na Pojezierzu Gnieźnieńskim. Projekt ma składać się z kilkadziesiątu inwestycji, spośród których jedną z największych ma być przerzut wód z Warty do dwóch wyrobisk po odkrywkach Kopalni Węgla Brunatnego „Konin”. (<https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/projekt-hydrologiczny-wielkopolska-wschodnia-odkrywki-wegiel-brunatny-wody-pokopalniane-przerzut-do-warty-15956.html>)