

Raport z badań stanu środowiska wodnego wybranych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (rok 2024)



Opracowanie:

dr Kamil Nowiński

Pracownia Limnologii
Katedra Hydrologii
Uniwersytet Gdański

Dofinansowane ze środków
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej
w Gdańsku



**WOJEWÓDZKI FUNDUSZ
OCHRONY ŚRODOWISKA
I GOSPODARKI WODNEJ
W GDAŃSKU**

Metody badań

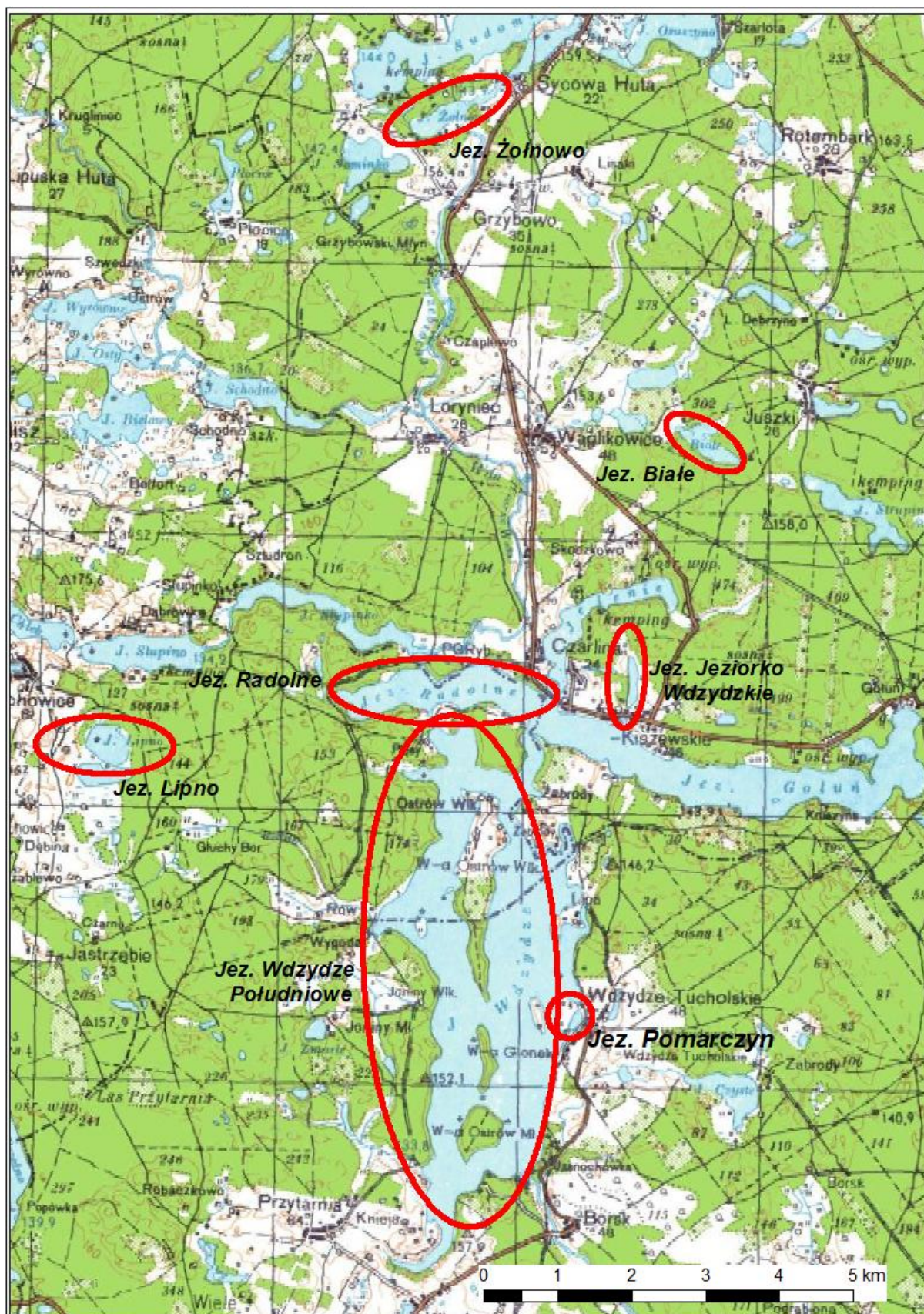
W 2024 roku przeprowadzono trzy serie pomiarów terenowych wybranych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (ryc. 1). Odbyły się one w dniach: 29 kwietnia – 1 maja, 26–28 lipca oraz 9– 10 listopada. Aby porównać wyniki badań z danymi uzyskanymi podczas pomiarów z 2018 roku wykorzystano takie same metody i aparaturę badawczą. Badania na jeziorach wykonywano z łodzi pontonowej, zakotwiczonej w miejscu zbliżonym do maksymalnej głębokości danego jeziora. Lokalizację głęboczków przeprowadzono za pomocą echosondy Lowrance LMS480M, następnie ich współrzędne geograficzne określono wykorzystując lokalizator satelitarny GPSTMap64 firmy Garmin. W głęboczkach zostały pobrane próbki wody o objętości 1,5 dm³ z warstwy podpowierzchniowej (0,5 m pod powierzchnią) i naddennej (0,5 m nad dnem) przy użyciu czerpaka firmy Aquatic Research Instruments.

Podczas pobierania próbek wody wykonywano także pomiary pionowych rozkładów charakterystyk odzwierciedlających cechy środowiska wodnego jezior:

- temperatura wody [°C] (sonda wieloparametrowa EXO2 firmy YSI),
- nasycenie wody tlenem [%] i stężenie tlenu rozpuszczonego [mg O₂/dm³] (sonda wieloparametrowa EXO2 firmy YSI),
- odczyn pH (sonda wieloparametrowa EXO2 firmy YSI),
- mętność wody (sonda wieloparametrowa EXO2 firmy YSI),
- przewodność elektrolityczna właściwa temp. 25°C [µS/cm] (sonda EXO2 firmy YSI),
- całkowitą zawartość soli mineralnych TDS [mg/dm³] (sonda EXO2 firmy YSI),
- stężenie chlorofilu α [mg/dm³] (sonda wieloparametrowa EXO2 firmy YSI),
- przezroczystość (krążek Secchiego).

Pobrane z jeziora próbki wody poddawano analizom laboratoryjnym, które obejmowały:

- barwę wody – wg skali platynowo-kobaltowej (PN-71/C-64551);
- fosfor ogólny – po mineralizacji, całkowite stężenie fosforu w wodzie oznaczono metodą fotometryczną zestawem Spectroquant Merck, pomiar spektrofotometrem UV-VIS Pharo 300 firmy Merck;
- azot ogólny – po mineralizacji, całkowite stężenie fosforu w wodzie oznaczono metodą fotometryczną zestawem Spectroquant Merck, pomiar spektrofotometrem UV-VIS Pharo 300 firmy Merck.



Rycina 1. Lokalizacja badanych jezior

Naturalna odporność jezior na zagrożenia degradacyjne

Jeziora, jako istotne elementy krajobrazu i zasoby wodne, odgrywają kluczową rolę w ekosystemach naturalnych oraz w życiu człowieka. Pełnią one szereg istotnych funkcji ekologicznych, gospodarczych i społecznych. Są nie tylko źródłem wody pitnej, ale także miejscem życia wielu gatunków roślin i zwierząt, a także przestrzenią rekreacyjną. Mimo że często postrzegane są jako statyczne obiekty hydrograficzne, jeziora są dynamicznymi systemami, które reagują na zmiany środowiskowe i antropogeniczne. W obliczu rosnących zagrożeń związanych z działalnością człowieka, takich jak zanieczyszczenie wód, eutrofizacja, zmiany klimatyczne czy urbanizacja, jeziora stają przed wyzwaniem utrzymania swojej równowagi ekologicznej. Naturalna odporność jezior na te zagrożenia zależy od wielu czynników, takich jak ich warunki morfometryczne np. powierzchnia, głębokość, pojemność warunki wymiany wody, rozwinięcie linii brzegowej. Z drugiej strony jest presja zlewni na jezioro, której wielkość zależy takich czynników jak: wielkość i struktura użytkowania zlewni, rodzaj utworów powierzchniowych, średni spadek, gęstość sieci rzecznej oraz udział obszarów bezodpływowych.

W grupie badanych jezior najbardziej odporne na wpływ czynników zewnętrznych jest jezioro Wdzydze Południowe, charakteryzujące się m.in. dużą głębokością średnią (19,6 m), znaczną pojemnością i małą powierzchnią dna czynnego w stosunku do objętości epilimnionu. Średnio odporne są natomiast jeziora Białe i Radolne, będące częścią Wdzydz Północnych, odznaczające się małą powierzchnią dna czynnego w stosunku do objętości epilimnionu oraz znaczną pojemnością w stosunku do powierzchni zlewni bezpośredniej. Znacznie gorsze warunki posiadają jeziora Strupino i Żołnowo, których misy odznaczają się małą pojemnością w stosunku do długości linii brzegowej, niewielką głębokością średnią, co wpływa m.in. na brak dobrze wykształconej stratyfikacji i potencjalną możliwość uruchamiania związków biogenicznych z osadów dennych. Najmniej odporne na degradację są jeziora Lipno, Pomarczyn i Jeziorko Wdzydzkie. Jeziora te są płytkie i kumulują małą objętość wód, co w połączeniu z niekorzystnymi warunkami wymiany wody powoduje wysoki stopień podatności na wpływy zewnętrzne.

Najlepszymi warunkami zlewniowymi (małą podatnością na uruchamianie i dostawę ładunku obszarowego do zbiornika) odznaczają się jeziora Białe i Lipno. Jest to wynikiem braku sieci rzecznej, znacznego udziału obszarów bezodpływowych w zlewni oraz leśne użytkowanie

zlewni. Przeciętne warunki uruchamiania ładunku obszarowego, wynikające przeważnie z niekorzystnego typu bilansowego jezior oraz budowy geologicznej i użytkowania zlewni, dotyczą jezior: Radolne, Wdzydze Południowe i Pomarczyn. Dużą podatnością na uruchamianie ładunku obszarowego charakteryzują się natomiast zlewnie Żołnowa i Jeziorka Wdzydzkiego. Głównymi czynnikami wpływającymi na taki wynik pierwszego z nich jest bardzo duża powierzchnia zlewni całkowitej, typ bilansowy oraz mały udział obszarów bezodpływowych. Zlewnia Jeziorka Wdzydzkiego odznacza się znacznymi spadkami i bardzo niekorzystnym zagospodarowaniem zlewni.

W sytuacji gdy presja zewnętrzna nie przekroczy naturalnej odporności jezior to proces eutrofizacji może przebiegać w tempie zbliżonym do naturalnego. Niestety, większość omawianych jezior jest zagrożona czynnikami przyspieszającymi proces eutrofizacji. Znaczna podatność zlewni na uruchamianie ładunku obszarowego, w połączeniu z niską naturalną odpornością jezior, może doprowadzić do ich degradacji. Na podstawie cech określających odporność jezior i podatność zlewni na uruchamianie materii można wyznaczyć cztery typy geoekosystemów o zróżnicowanym tempie eutrofizacji (Bajkiewicz-Grabowska 2002).

Do pierwszego typu zalicza się geoekosystemy, które dzięki naturalnym predyspozycjom mają możliwość pozostania na niskim poziomie troficznym. W takich geoekosystemach zlewnia jest mało podatna na uruchamianie materii i jednocześnie jezioro wykazuje wysoką odporność. Wśród omawianych jezior WPK do tego typu geoekosystemu można zaliczyć tylko Jezioro Białe.

Kolejny typ stanowią geoekosystemy, w których niekorzystne warunki zlewniowe są równoważone przez wysoką odporność jeziora. Występuje w nich duża podatność zlewni na dopływ ładunku obszarowego ale geoekosystemy takie mają szansę utrzymać trofię na umiarkowanym poziomie ze względu na równoważenie sprzyjającego eutrofizacji wpływu zlewni przez korzystne cechy jeziora. Do tego typu należą jeziora: Wdzydze Południowe i Radolne.

Geoekosystemy, w których zlewnia jest mało aktywna w dostarczaniu materii ale jezioro jest podatne na wpływy z zewnątrz mają szansę na utrzymanie tempa eutrofizacji na umiarkowanym poziomie pod warunkiem braku znacznej ingerencji w zagospodarowanie i strukturę hydrograficzną zlewni. Do tego typu zaliczyć można jeziora: Strupino i Lipno.

Duża podatność jezior na degradację w połączeniu z cechami zlewni sprzyjającymi uruchamianiu spływu materii, powoduje szybką sukcesję limnologiczną, nawet przy niewielkiej antropopresji. W geoekosystemach tego typu może zachodzić szybkie tempo naturalnej eutrofizacji. Sytuacja taka występuje w przypadku jezior Żołnowo, Pomarczyn i Jeziorko Wdzydzkie.

Termika i warunki tlenowe wód jezior

Struktura termiczna jezior jest jednym z kluczowych aspektów, który determinuje funkcjonowanie tych ekosystemów wodnych. Temperatura wody wpływa na różnorodne procesy biologiczne, chemiczne i fizyczne, które zachodzą w jeziorach, a także na rozkład gatunków zamieszkujących te zbiorniki.

Epilimnion to górna warstwa wody w jeziorze, która charakteryzuje się stosunkowo jednorodną temperaturą i dobrze wymieszaną zawartością tlenu. Ta warstwa odgrywa kluczową rolę w procesach ekologicznych jezior. Zasięg epilimnionu jest zdeterminowany przez różne czynniki, w tym intensywność promieniowania słonecznego, prądy wiatrowe, a także specyficzne warunki hydrologiczne danego jeziora.

Jeziora dymiktyczne charakteryzują się dwukrotną w ciągu roku pełną cyrkulacją wód. Do tego typu jezior należą jeziora: Białe, Radolne, Wdzydze Południowe, Żołnowo oraz Strupino (badane tylko w 2018 r.). Zasięg epilimnionów jezior dymiktycznych mieścił się latem 2018 r. w granicach od około 2 m (Żołnowo) do 5 m (Wdzydze Południowe). W roku 2024 mieszanie wiatrowe sięgało od 2 m (Żołnowo) do 4 m (Białe, Radolne, Wdzydze Południowe). Przyjmuje się, że jeziora o małym zasięgu mieszania wiatrowego (epilimnion nie przekracza około 4 m) można uznać za bradymiktyczne, jednak małe zasięgi mieszania wiatrowego w jeziorach wynikają często z aktualnych warunków pogodowych. Słoneczna i bezwietrzna pogoda powoduje szybkie ustabilizowanie się stratyfikacji z wysoką temperaturą wód powierzchniowych. Przyczynia się to do powstania dużych gradientów termicznych płytko pod powierzchnią wody i skrócenie zasięgu epilimnionów. W zależności od długości czasu trwania procesów cyrkulacyjnych wiosną można wydzielić jeszcze jeziora eumiktyczne (o przeciętnych warunkach i czasie trwania cyrkulacji wiosennej) i tachymiktyczne (dłuższym okresem cyrkulacji wiosennej). O naturalnie eumiktycznym lub nawet tachymiktycznym charakterze ustrojów termicznych jezior świadczą wysokie temperatury wód przydennych jezior (tabela 1).

Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w 2018 i 2024 roku, w grupie jezior dymiktycznych, jako tachymiktyczne zaklasyfikowano: Żołnowo, Strupino, Radolne, natomiast jako eumiktyczne: Białe i Wdzydze Południowe. Trzy jeziora (Lipno, Pomarczyn i Jezioro Wdzydzkie) należy uznać za polimiktyczne, w których pełna cyrkulacja wód występuje wiele razy w roku.

Tabela 1. Podstawowe parametry termiczne wód badanych jezior

Jezioro	Zasięg epilimnionu 2018 m	Zasięg epilimnionu 2024 m	Temp wody pow 2018 °C	Temp wody pow 2024 °C	Temp wody dno 2018 °C	Temp wody dno 2024 °C	Typ termiczno-dynamiczny
Białe	4	4	23,5	23,5	7,9	11,1	eumiktyczne
Lipno	do dna	do dna	23,9	22,8	20,5	20,8	polimiktyczne
Pomarczyn	do dna	do dna	25,6	22,0	19,3	21,4	polimiktyczne
Radolne (Wdzydze Pn.)	4	4	22,0	22,8	10,6	11,3	tachymiktyczne
Strupino*	4	·	23,7	·	13,3	·	tachymiktyczne
Wdzydze Pd	5	4	23,3	22,9	4,6	5,1	eumiktyczne
Żołnowo	2	2	23,3	24,1	11,8	11,1	tachymiktyczne
Jezioro ** Wdzydzkie	·	do dna	·	20,3	·	19,9	polimiktyczne

* - pomiary tylko w 2018 roku, ** - pomiary tylko w 2024 roku, · - brak danych

Tlen w wodzie odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu warunków życia dla organizmów wodnych oraz w procesach biogeochemicznych. Pionowy rozkład tlenu w jeziorach jest zjawiskiem dynamicznym, które wynika z interakcji wielu czynników, takich jak temperatura, cyrkulacja wód, aktywność fotosyntetyczna fitoplanktonu oraz procesy dekompozycji materii organicznej.

Pionowe profile stężeń tlenu są ściśle powiązane z rozkładami temperatury przyjmując w większości omawianych jezior charakterystyczny kształt klinogrody (załącznik 1). Zjawisko to świadczy o intensywnym rozkładzie materii organicznej zgromadzonej zarówno w wodzie, jak i w osadach jezior. Nawet w jeziorach polimiktycznych, przy samym dnie dochodzi do wyraźnych ubytków tlenu. Odmienny od klinogradalnego pionowy rozkład tlenu obserwowany jest w Jeziorze Białym oraz jeziorze Wdzydze Południowe. W Jeziorze Białym,

w 2018 i 2024 roku, krzywa rozkładu przyjmuje kształt heterogradi dodatniej, z maksimum tlenowym w strefie maksymalnych gradientów termicznych (Załącznik 1). Dzięki zagęszczeniu biomasy w strefie wzrostu gęstości wody, przy korzystnych jednocześnie warunkach optycznych, stężenie tlenu osiągało 10,6 mg·dm⁻³ na głębokości 6 m (2018 rok) oraz mg·dm⁻³ na głębokości 5 m (2023 rok). W jeziorze Wdzydze Południowe natomiast zaobserwowano heterogradę ujemną. W 2018 roku zanotowano spadek stężenia tlenu do 0,8 mg·dm⁻³ na głębokości 8 m, natomiast w 2024 roku minimum tlenowe wystąpiło na głębokości 9 m wynoszące 3 mg·dm⁻³. Zjawisko ubytku tlenu na tych głębokościach jest spowodowane rozkładem materii organicznej zgromadzonej w wyniku wzrostu gęstości wody w metalimnionie.

Tabela 2. Podstawowe parametry struktury tlenowej wód badanych jezior

Jezioro	Średnie nasycenie tlenem epilimnionu lato 2018 %	Średnie nasycenie tlenem epilimnionu lato 2024 %	Głębokość stężenia tlenu ~/<1 mg·dm ⁻³ lato 2018 m	Głębokość stężenia tlenu ~/<1 mg·dm ⁻³ Lato 2024 m	Typ tlenowy
Białe	93,1	108,4	9	9	heterograda dodatnia
Lipno		72,7	-	-	ortograda
Pomarczyn	153,8	75,5	2	-	klinograda
Radolne (Wdzydze Pn.)	116,8	101,0	5	6	klinograda
Strupino*	90,6	.	-	.	klinograda
Wdzydze Pd	127,1	108,5	-	-	heterograda ujemna
Żołnowo	116,7	104,0	4	3	klinograda
Jeziorko ** Wdzydzkie	.	88,8	-	-	ortograda

* - pomiary tylko w 2018 roku, ** - pomiary tylko w 2024 roku, . - brak danych, - - nie stwierdzono

Najgorsze warunki tlenowe stwierdzono w jeziorach Pomarczyn, Radolne i Żołnowo. W 2018 roku w jeziorze Pomarczyn, mimo jego polimiktyczności, stężenie tlenu spadło poniżej 1 mg·dm⁻¹ już na drugim metrze od powierzchni (tabela 2). Gwałtowny spadek zawartości tlenu (z 12,4 mg·dm⁻¹ do 0,9 mg·dm⁻¹) w jednometrowej warstwie wody świadczy o bardzo

intensywnych procesach rozkładu materii organicznej. W 2024 roku nie stwierdzono takiej sytuacji ale jest to wynikiem niedawnych procesów mieszania wiatrowego. Złą sytuację tlenową tego jeziora potwierdza też ogólnie niskie stężenie tlenu w wodzie tego jeziora, które nawet na powierzchni nie przekracza $7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Spadki tlenu poniżej $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ wystąpiły też w Żółnowie i Radolnym. W pierwszym z nich, w 2018 roku, na głębokości 4 m od powierzchni, natomiast w 2024 roku już poniżej 3 m właściwie nie było tlenu. W Jeziorze Radolnym głębokie deficyty tlenu wystąpiły poniżej 5 m od powierzchni w 2018 roku oraz od 6 m w 2024 roku.

Pozostałe jeziora odznaczają się przeważnie dość dobrymi warunkami tlenowymi. Podczas obu letnich serii pomiarowych w Jeziorze Białym strefa beztlenowa występowała tylko w warstwie wody około 1 m nad dnem. W jeziorze Wdzydze Południowe stężenie tlenu nie spada właściwie poniżej $3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Właściwości chemiczne wód jeziornych

Stężenie azotu i fosforu w wodzie jest główną przyczyną przyspieszonej eutrofizacji jezior. Nadmiar tych składników odżywczych prowadzi do intensywnego rozwoju biomasy. Rozwój biomasy powoduje natomiast spadek stężenia mineralnej postaci biogenów, przy jednoczesnym wzroście ilości biogenów w postaci organicznej, która jest następnie akumulowana w osadach. Rozkład tej substancji powoduje zużywanie tlenu w głębszych warstwach jeziora oraz ponowne włączenie materii biogenicznej do obiegu.

Ogólnie stężenie związków fosforu w wodach większości omawianej grupy jezior WPK jest dość niskie (tabela 3). Grupa jezior badana w 2017 i 2023 roku odznaczała się znacznie większymi zawartościami związków fosforu. Średnie stężenia fosforu całkowitego w wodach powierzchniowych badanych jezior wahały się w 2018 roku od $0,012 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Jezioro Białe) do $0,080 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Pomarczyn) i $0,095 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Lipno). W 2024 roku najniższe stężenia stwierdzono także w Jeziorze Białym ($0,016 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), najwyższe dotyczyły ponownie jezior Pomarczyn ($0,055 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) i Lipno ($0,118 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$).

Wiosną 2018 roku stężenia fosforu ogólnego w wodzie powierzchniowej wynosiły od $0,009 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Jezioro Białe) do $0,086 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Wdzydze Południowe) i $0,087 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Lipno). W 2024 roku wartości mieściły się w zakresie od $0,008 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Białe) do $0,088$ (Jezioro Wdzydzkie) i $0,102 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Lipno). Podczas pomiarów przeprowadzonych w okresie

homotermii wiosennej nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy wartościami odnotowanymi w wodach powierzchniowych i przydennych.

Tabela 3. Wartości terminowe i średnie stężenia fosforu ogólnego w wodach powierzchniowych i przydennych jezior WPK

Jezioro		Fosfor ogólny			Fosfor ogólny			
		29.04-01.05 2018	23-27.07 2018	Średnia	29.04- 01.05 2024	26-28.07 2024	09-10.11 2024	Średnia
		[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]
Białe	pow	0,009	0,015	0,012	0,008	0,004	0,036	0,016
	dno	0,009	0,034	0,022	0,012	0,010	0,014	0,012
Lipno	pow	0,087	0,103	0,095	0,102	0,133	0,119	0,118
	dno	0,088	0,112	0,100	0,105	0,117	.	0,111
Pomarczyn	pow	0,055	0,105	0,080	0,046	0,058	0,061	0,055
	dno	0,058	0,313	0,186	0,061	0,058	0,067	0,062
Radolne	pow	0,043	0,051	0,047	0,027	0,035	0,064	0,042
	dno	0,045	0,726	0,386	0,036	0,784	0,056	0,292
Strupino	pow	0,021	0,028	0,025	.	.	.	.
	dno	0,022	0,011	0,017	.	.	.	.
Wdzydze Pd	pow	0,086	0,037	0,062	0,034	0,008	0,036	0,026
	dno	0,082	0,122	0,102	0,074	0,122	0,123	0,106
Żołnowo	pow	0,052	0,036	0,044	0,038	0,023	0,061	0,041
	dno	0,054	0,125	0,090	0,046	0,155	0,062	0,088
Jeziorko	pow	.	.	.	0,088	0,289	0,060	0,146
Wdzydzkie	dno	.	.	.	0,080	0,317	0,063	0,153

Podczas stratyfikacji letniej w roku 2018 stężenia fosforu ogólnego wahały się od 0,015 mg·dm⁻³ (Jezioro Białe) do 0,103 mg·dm⁻³ (Lipno) i 0,105 mg dm⁻³ (Pomarczyn). W 2024 roku zanotowano bardzo niskie stężenia fosforu całkowitego w wodzie powierzchniowej Jeziora Białego (0,004 mg·dm⁻³). Najwyższe wartości stwierdzono natomiast podczas analiz hydrochemicznych wody z jeziora Jeziorko Wdzydzkie (0,289 mg·dm⁻³). Duże wartości wystąpiły też w jeziorach Pomarczyn (0,058 mg·dm⁻³) i Radolne (0,035 mg·dm⁻³). Wody przydenne charakteryzowały się wyższymi stężeniami fosforu całkowitego. W 2018 roku w wodach jeziora Pomarczyn stężenie fosforu ogólnego nad dnem wynosiło 0,313 mg·dm⁻³. Jeszcze wyższe wartości zanotowano w wodach przydennych Jeziora Radolnego (0,726 mg·dm⁻³). Podobna sytuacja wystąpiła także w 2024 roku. Wody przydenne odznaczały się wysokimi stężeniami, spowodowanymi uwalnianiem związków fosforu z osadów dennych.

Maksymalne wartości wystąpiły w wodach jezior: Radolne ($0,784 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), Jeziorko Wdzydzkie ($0,317 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) i Żołnowo ($0,155 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$).

Wody powierzchniowe podczas stratyfikacji letniej są przeważnie uboższe w związki fosforu niż w czasie homotermii wiosennej. Przyczyną tego jest absorpcja związków biogenicznych przez rozwijającą się biomasę. W 2018 roku taka sytuacja wystąpiła tylko w jeziorach Wdzydze Południowe i Żołnowo, natomiast w 2024 dodatkowo w Jeziorze Białym. Wzrost stężeń w okresie letnim może być spowodowany zwiększonym dopływem ze zlewni, zwiększoną presją turystyczną oraz uwalnianiem z osadów.

Podczas pomiarów jesiennych przeprowadzonych w listopadzie 2024 roku zanotowano w niektórych przypadkach dalszy wzrost stężenia fosforu całkowitego. Jest to spowodowane stałym dopływem ze zlewni, ograniczeniem procesów pobierania substancji odżywczych przez biomasę oraz rozproszaniem związków biogenicznych z głębszych warstw jeziora. Stężenia fosforu całkowitego w tym okresie osiągnęło od $0,036 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w jeziorach Białe i Wdzydze Południowe do $0,119 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w jeziorze Lipno.

Stężenia azotu ogólnego w wodach jezior można uznać za dość niskie (tabela 4). Średnie stężenia w wodach powierzchniowych, obliczone na podstawie badań wykonanych w 2018 roku, wahały się od $0,38 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Strupino) do $1,14 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Pomarczyn). W 2024 roku nie wykonywano pomiarów na jeziorze Strupino, nie ma więc informacji na temat stężeń związków azotu w tym jeziorze. Wartości średnie z 2024 roku mieściły się w zakresie od $0,36 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Wdzydze Południowe) do $1,19 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Jeziorko Wdzydzkie) oraz $1,54 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Pomarczyn).

Wiosną 2018 roku w warstwie wód powierzchniowych wartości wahały się od $0,44 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Strupino) do $0,84 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Pomarczyn) oraz $0,87 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Lipno). W 2024 roku zakres zmienności wynosił od $0,15 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Wdzydze Południowe) do $1,38 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Pomarczyn). Stężenia azotu całkowitego w wodach przydennych były w tym okresie przeważnie nieco wyższe niż w wodach powierzchniowych. Wiosną 2018 roku zakres zmienności wynosił od $0,35 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Wdzydze Południowe) do $0,90 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Pomarczyn). W 2024 roku jeziorami z granicznymi wartościami były ponownie Wdzydze Południowe i Pomarczyn. Zakres zmienności wynosił wtedy $0,31 - 1,51 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Latem 2017 roku stężenia azotu ogólnego w wodach powierzchniowych jezior wahały się od $0,31 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Strupino) do $1,43 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Pomarczyn). W czasie sezonu letniego 2024

roku najniższe stężenia zanotowano w wodach powierzchniowych jeziora Wdzydze Południowe ($0,48 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). W tym czasie najwyższymi wartościami odznaczały się wody Jeziorka Wdzydzkiego, w których zanotowano stężenie azotu całkowitego na poziomie $2,56 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. W wodach przydennych większości jezior stężenia azotu były wyraźnie wyższe. W 2018 roku najniższe wartości stwierdzono w jeziorze Wdzydze Południowe ($0,50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), najwyższe natomiast wystąpiły w jeziorze Pomarczyn ($1,56 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Zakres zmienności stężeń azotu w wodach przydennych latem 2024 roku wynosił od $0,74 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Wdzydze Południowe) do $2,87 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Jeziorko Wdzydzkie).

Tabela 4. Wartości terminowe i średnie stężenia azotu ogólnego w wodach powierzchniowych i przydennych jezior WPK

Jezioro		Azot ogólny			Azot ogólny			
		29.04-01.05 2018	23-27.07 2018	Średnia	29.04-01.05 2024	26-28.07 2024	09-10.11 2024	Średnia
		$[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$	$[\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}]$
Białe	pow	0,48	0,59	0,54	0,31	0,61	0,55	0,49
	dno	0,50	0,62	0,56	0,50	1,32	0,52	0,78
Lipno	pow	0,87	0,91	0,89	0,56	1,33	0,97	0,95
	dno	0,87	1,10	0,99	0,61	1,04	.	0,83
Pomarczyn	pow	0,84	1,43	1,14	1,38	1,55	1,70	1,54
	dno	0,90	1,56	1,23	1,51	1,42	1,69	1,54
Radolne	pow	0,46	0,55	0,51	0,21	0,74	0,87	0,61
	dno	0,47	1,21	0,84	0,36	1,76	0,69	0,94
Strupino	pow	0,44	0,31	0,38	.	.	.	.
	dno	0,45	0,52	0,49	.	.	.	.
Wdzydze Pd	pow	0,52	0,64	0,58	0,15	0,49	0,44	0,36
	dno	0,35	0,50	0,43	0,31	0,74	0,75	0,60
Żołnowo	pow	0,57	0,46	0,52	0,55	0,72	0,88	0,72
	dno	0,61	1,05	0,83	1,02	1,83	0,83	1,23
Jeziorko Wdzydzkie	pow	.	.	.	0,39	2,56	0,61	1,19
	dno	.	.	.	0,32	2,87	0,64	1,28

Pod względem hydrochemicznym wody badanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego należy zaklasyfikować do typu wodorowęglanowo-wapniowego. Ten typ hydrochemiczny jest najbardziej charakterystyczny dla jezior umiarkowanej strefy klimatycznej. Średnie wartości ogólnej mineralizacji wód powierzchniowych badanych jezior, z wyjątkiem Lipna, wahały się w 2017 roku się od $148 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w jeziorze Strupino do $245 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ jeziorze Żołnowo (tabela 5). W 2023 roku wartości średnie tego parametru wynosiły

od 113 mg·dm⁻³ (Białe) do 302 mg·dm⁻³. W 2024 roku we wszystkich jeziorach stwierdzono niższe wartości średniej mineralizacji wody. Może to wynikać z innego etapu okresu wegetacyjnego w czasie pobierania próbek. Pod względem mineralizacji, w grupie omawianych jezior, wyraźnie wyróżnia się jezioro Lipno, w którym suma jonów w 2018 roku wynosiła 47 mg·dm⁻³ natomiast w 2024 roku 29 mg·dm⁻³. Jest to spowodowane tym, że w strukturze zasilania tego jeziora dominują wody z opadów atmosferycznych.

Tabela 5. Wybrane parametry fizyczno-chemiczne wody powierzchniowej i przydennej jezior WPK (zakres zmienności: wiosna-lato i wartości średnie) w 2018 i 2024 roku

Jezioro		<i>pH</i> 2018	<i>pH</i> 2024	Barwa 2018	Barwa 2024	<i>TDS</i> 2018	<i>TDS</i> 2024
Białe	pow.	8,3-8,5 (8,4)	8,4-8,6 (8,5)	6,5-8,6 (7,6)	3,9-2,3 (3,1)	183-131 (157)	115-110 (113)
	dno	7,6-8,1 (7,9)	7,8-7,5 (7,7)	7,2-9,0 (8,1)	4,0-2,7 (3,4)	211-136 (174)	121-136 (129)
Lipno	pow.	5,1-5,9 (5,5)	5,1-5,4 (5,3)	225-214 (219,5)	155-134 (144,5)	59-35 (47)	30-27 (29)
	dno	4,9-5,5 (5,2)	4,8-5,1 (5,0)	231-226 (228,5)	155-135 (145,0)	58-34 (46)	30-28 (29)
Pomarczyn	pow.	9,2-8,7 (9,0)	8,2-8,3 (8,3)	11,4-10,1 (10,8)	10,8-7,6 (9,2)	285-173 (229)	246-210 (228)
	dno	8,8-8,3 (8,6)	7,8-7,4 (7,6)	12,2-12,0 (12,1)	12,2-7,7 (10,0)	306-214 (260)	257-346 (302)
Radolne	pow.	8,6-8,3 (8,5)	8,9-8,5 (8,7)	13,0-9,3 (11,2)	9,6-8,3 (9,0)	248-175 (212)	196-184 (190)
	dno	8,6-7,6 (8,1)	7,9-7,5 (7,7)	13,8-12,3 (13,1)	10,5-9,0 (9,8)	254-227 (241)	208-238 (223)
Strupino	pow.	8,1-8,5 (8,3)	.	7,2-4,9 (6,1)	.	175-120 (148)	.
	dno	7,9-7,7 (7,8)	.	7,5-5,1 (6,3)	.	177-121 (149)	.
Wdzydze Pd	pow.	8,4-8,6 (8,5)	8,8-8,7 (8,8)	10,3-7,3 (8,8)	6,6-4,6 (5,6)	250-166 (208)	180-168 (174)
	dno	7,7-7,2 (7,5)	7,9-7,5 (7,7)	10,1-7,5 (8,8)	6,5-4,5 (5,5)	244-199 (222)	191-205 (198)
Żołnowo	pow.	8,7-8,3 (8,5)	8,7-8,2 (8,5)	9,3-5,9 (7,6)	7,8-6,2 (7,0)	305-184 (245)	207-193 (200)
	dno	8,5-7,7 (8,1)	7,9-7,1 (7,5)	9,4-7,8 (8,6)	8,7-7,9 (8,3)	314-244 (279)	231-265 (248)
Jezioro Wdzydzkie	pow.	.	8,6-8,4 (8,5)	.	10,7-9,4 (10,1)	.	203-114 (159)
	dno	.	8,6-8,1 (8,4)	.	10,9-10,2 (10,6)	.	203-271 (237)

Oznaczenia: pH – odczyn wody, TDS – mineralizacja ogólna w mg·dm⁻³,
Barwa – rzeczywista barwa wody w mg Pt · dm⁻³

Odczyn pH wód jest zależny od proporcji zdysocjowanych jonów H^+ i OH^- . Większość naturalnych wód ma pH w zakresie od około 6,0 do 8,5, co oznacza, że mogą być słabo kwaśne, obojętne lub słabo alkaliczne. Czyste wody słodkie są zazwyczaj obojętne, z pH od 6,5 do 7,5. Średnie pH wód powierzchniowych w badanych jeziorach, na podstawie badań z 2018 roku, wynosiło od 5,5 (Lipno) do 9,0 (Pomarczyn). Wartości średnie uzyskane na podstawie pomiarów w 2024 roku nie różniły się znacznie. Zakres zmienności średniego pH wynosił od 5,0 w jeziorze Lipno do 8,8 (Wdzydze Południowe). Wody większości badanych jezior odznaczają się więc odczynem słabo alkalicznym (pH 7,5 – 8,5) lub alkalicznym. Jezioro Lipno odznacza się natomiast wodami o odczynie kwaśnym.

Barwa wody jest jednym z parametrów jakościowych, który jest wskaźnikiem jakości środowiskowej oraz miernikiem zanieczyszczenia. Naturalnie, woda może mieć różne odcienie w zależności od obecności rozpuszczonych substancji organicznych i nieorganicznych. Woda w jeziorach może przybierać np. brązowy odcień ze względu na obecność humusów i związków organicznych pochodzenia roślinnego, natomiast zielony kolor przeważnie wskazuje na obecność glonów, fitoplanktonu itp. Wody omawianych jezior WPK odznaczają się przeważnie niskimi wartościami rzeczywistej barwy wody. Wartości pomiędzy 5 a 15 mg Pt dm^{-3} świadczą o niezbyt dużym zabarwieniu wód. Najwyższe wartości występują w jeziorze Lipno, którego średnia barwa wody wynosiła w 2018 roku 219,5 mg Pt dm^{-3} a w 2024 roku 144,5 mg Pt dm^{-3} . Wskaźnik humusowy HSI, obliczony na podstawie barwy wody, osiągnął więc wartość 78, klasyfikując to jezioro jako polihumusowe. Zakres zmienności barwy wody pozostałych jezior wynosił w 2018 od 6,1 mg Pt dm^{-3} (Strupino) do 11,2 mg Pt dm^{-3} (Radolne). W 2024 roku wartości były jeszcze niższe (od 3,1 mg Pt dm^{-3} – Jezioro Białe do 10,1 mg Pt dm^{-3} – Jeziorko Wdzydzkie). Wskaźnik humusowy HSI właściwie nie przekracza więc wartości 30, skazując na ultraoligohumusowy typ wód tych jezior.

Warunki zasilania jezior

Pod względem typologii hydrologicznej omawiane jeziora WPK to jeziora bezodpływowe i przepływowe (tabela 6). Jeziora bezodpływowe (Białe, Pomarczyn, Strupino, Jeziorko Wdzydzkie), z uwagi na brak poziomej wymiany wody, naturalnie cechuje pasywny typ aktywności hydrologicznej. Jeziora przepływowe WPK wykazują zróżnicowany stopień aktywności hydrologicznej. Do jezior o typie aktywnym zalicza się zbiorniki o współczynniku

wymiany wody większym od 5. W omawianej grupie kryterium to spełnia jedynie jezioro Żołnowo. Jego aktywność hydrologiczna jest bardzo wysoka, ponieważ całkowita wymiana wody następuje w Żołnowie przeciętnie raz na 4 dni. Przeciętny typ aktywności hydrologicznej stwierdzono w jeziorach Lipno i Radolne, w których całkowita teoretyczna wymiana wody zachodzi raz na cztery i dziewięć miesięcy.

Tabela 6. Charakterystyka hydrologiczna omawianych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Jezioro	Typ hydrologiczny	Czas retencji	Wymiana wody	Typ aktywności hydrologicznej
		[rok]	[rok ⁻¹]	
Białe	bezodpływowe	-	0,000	pasywny
Lipno	odpływowe	0,713	1,403	przeciętny
Pomarczyn	bezodpływowe	-	0,000	pasywny
Radolne (Wdzydze Pn.)	przepływowe	0,328	3,060	przeciętny
Strupino	bezodpływowe	-	0,000	pasywny
Wdzydze Pd	przepływowe	1,096	0,912	pasywny
Żołnowo	przepływowe	0,011	86,96	aktywny
Jeziorko Wdzydzkie	bezodpływowe	—	0,000	pasywny

Właściwości optyczne jezior

Właściwości optyczne jezior są kształtowane przez kombinację fizycznych, chemicznych i biologicznych czynników, które wpływają na przejrzystość wody oraz jej barwę. Przejrzystość jezior zależy głównie od zawartości zawiesin, takich jak fitoplankton, detrytus organiczny oraz nieorganiczne cząstki mineralne. Woda w jeziorach absorbuje światło na różnej głębokości w zależności od długości fali świetlnej. Pomiar i analiza właściwości optycznych jezior są kluczowe dla zrozumienia procesów ekologicznych, takich jak fotosynteza i produkcja pierwotna, a także dla monitorowania jakości wody i stanu ekologicznego jezior.

Warunki optyczne omawianych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego są bardzo zróżnicowane. Przejrzystość wody, mierzona widzialnością krążka Secchiego, kształtowała się od wartości typowych dla silnie zeutrofizowanych zbiorników do wartości charakterystycznych dla jezior mezotroficznych. Średnie wartości widzialności obliczone na podstawie wszystkich pomiarów w 2018 i 2024 roku wahały się od 0,75 m (Jeziorko Wdzydzkie) do 4,52 (Jezioro Białe).

Podczas pomiarów wiosennych 2018 roku, najlepszą widzialnością krążka Secchiego, charakteryzowało się jezioro Wdzydze Południowe (4,0 m). W tym czasie wysokie wartości przezroczystości zanotowano także w jeziorach: Białe (3,9 m) i Strupino (3,6 m). Najmniejszą przezroczystością charakteryzowały się jeziora: Lipno (0,65 m), Pomarczyn (1,5 m), Radolne (1,7 m) i Żołnowo (1,8 m). Podczas sezonu letniego 2018 roku, przezroczystość wody badanych jezior mieściła się w zakresie od 0,5 (Pomarczyn) do 4,4 m (Strupino). W 2017 roku średnia przezroczystość wody wszystkich badanych jezior wyniosła 2,2 m, a mediana 1,6 m. W okresie wiosennym średnia przezroczystość wynosiła 2,5 m (mediana 1,8 m), podczas gdy latem spadła do 1,9 m (mediana 1,1 m). Dane te wskazują na ogólnie słabe warunki optyczne w omawianych jeziorach. Podczas letnich pomiarów zanotowano wyjątkowo niską przejrzystość wody w jeziorze Wdzydze Południowe, wynoszącą 1,3 m. Natomiast wiosną wody tego jeziora charakteryzowały się najlepszą widzialnością krążka Secchiego. Z powyższych obserwacji można wywnioskować, że niska przezroczystość w okresie letnim była sytuacją incydentalną. W 2024 roku przezroczystość wody jeziora Wdzydze Południowe wynosiła 3,4 m, potwierdzając incydentalny charakter widzialności zmierzonej latem 2018 roku. Ogólnie, warunki optyczne latem 2024 roku są lepsze niż w 2018 roku. Może to wynikać z panujących przed pomiarami warunków hydrometeorologicznych, jak również z nieznacznej poprawy jakości wód jezior. Potwierdzenie tej drugiej tezy wymaga jednak kontynuowania badań właściwości optycznych jezior.

Zmienność przezroczystości wód jeziornych mierzona widzialnością krążka Secchiego wykazuje znaczące zróżnicowanie w zależności od pory roku i lokalizacji (tabela 7). Wiosną 2024 roku wartości te wahały się od 1,15 m w jeziorze Lipno, poprzez 1,3 m w jeziorze Jeziorko Wdzydzkie oraz 1,35 m w Jeziorze Radolnym, do 3,8 m w Jeziorze Białym. Latem przejrzystość była znacznie niższa, z najniższymi wartościami odnotowanymi w jeziorze Jeziorko Wdzydzkie (0,35 m), jeziorze Lipno (0,8 m) oraz jeziorze Pomarczyn (0,95 m), natomiast najwyższą wartość wyniosła 5,3 m w Jeziorze Białym. Jesień przyniosła zróżnicowane wyniki, od najniższej widzialności 0,6 m w jeziorze Jeziorko Wdzydzkie, poprzez 3,8 m w jeziorze Wdzydze Południowe, do najwyższej wartości 5,5 m w Jeziorze Białym. Dane te ukazują dynamiczne zmiany w przejrzystości wód, które mogą być wynikiem sezonowych zmian biologicznych, chemicznych oraz fizycznych w środowisku jeziornym.

Tabela 7. Widzialność krążka Secchiego jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Jezioro	Głębokość Secchiego (SD)					Średnia [m]
	29.04-01.05 2018	23-27.07 2018	29.04-01.05 2024	26-28.07 2024	09-10.11 2024	
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
Białe	3,90	4,10	3,80	5,30	5,50	4,52
Lipno	0,65	0,70	1,15	0,80	0,80	0,82
Pomarczyn	1,50	0,50	1,70	0,95	1,50	1,23
Radolne (Wdzydze Pn.)	1,70	1,00	1,35	2,50	2,10	1,73
Strupino	3,60	4,40	.	.	.	4,00
Wdzydze Pd	4,30	1,30	2,30	3,40	3,80	3,02
Żołnowo	1,80	1,10	1,50	2,00	3,50	1,98
Jeziorko Wdzydzkie	.	.	1,30	0,35	0,60	0,75

Zróznicowana przezroczystość wody wpływa na różnorodność zasięgów strefy świetlnej w jeziorach (tabela 8). Latem 2018 roku średni zasięg strefy świetlnej w omawianych jeziorach WPK wynosił 4,06 m, z medianą wynoszącą 3,1 m. Największe strefy świetlne zanotowano w jeziorach Białe i Strupino, gdzie przekraczały one 8 m, osiągając maksymalną wartość 9 m w jeziorze Strupino. W jeziorach Radolne i Żołnowo zasięgi strefy świetlnej mieściły się w przedziale od 3,1 m do 3,8 m. W pozostałych trzech jeziorach - Lipno, Pomarczyn i Wdzydze Południowe - rozległość strefy świetlnej była mniejsza niż 1,6 m, przy minimalnej wartości 0,7 m w jeziorze Lipno. W przypadku tego ostatniego, bardzo płytkiego jeziora, warunki przenikania światła są zdeterminowane wysokimi stężeniami barwnej rozpuszczonej materii organicznej (CDOM) oraz płytkim zaleganiem uwodnionych osadów dennych.

Tabela 8. Zasięg strefy świetlnej jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Jezioro	Zasięg strefy świetlnej (z_{eu}) lato 2018	Zasięg strefy świetlnej (z_{eu}) lato 2024	Zmiana zasięgu strefy świetlnej (z_{eu}) w sezonach letnich 2018-2024
	[m]	[m]	[m]
Białe	8,8	9,1	0,3
Lipno	0,7	0,8	0,1
Pomarczyn	1,4	2,4	1,0
Radolne (Wdzydze Pn.)	3,8	6,8	3,0
Strupino	9,0	.	.
Wdzydze Pd	3,6	9,4	5,8
Żołnowo	3,1	4,4	1,3
Jeziorko Wdzydzkie	.	0,9	.

Zasięg strefy świetlnej w omawianych jeziorach w 2024 roku był większy niż 2018 roku. W jeziorze Wdzydze Południowe głębokość przenikania światła wynosił 9,4 m, a w Jeziorze

Białym 9,1 m. Wartości te wskazują na znaczny wzrost w porównaniu z danymi z 2018 roku. Jezioro Radolne odnotowało wzrost z 3,8 m w 2018 roku do 6,8 m w 2024 roku, natomiast jezioro Żołnowo poprawiło się z 3,1 m do 4,4 m w tym samym okresie. Jezioro Pomarczyn, które w 2018 roku miało zasięg strefy świetlnej wynoszący 1,4 m, osiągnęło wartość 2,4 m w 2024 roku.

Stan troficzny i ekologiczny jezior

Wielkość produkcji pierwotnej w jeziorach jest powiązana z poziomem trofii jeziora, który można ocenić na podstawie wybranych parametrów środowiska wodnego: stężenia fosforu całkowitego, stężenia chlorofilu *a*, widzialności krążka Secchiego oraz dodatkowo stężenia azotu całkowitego (Carlson 1977, Kratzer i Brezonik 1981).

Ogólne wartości indeksu TSI jezior wskazują na stosunkowo wysoki poziom zaawansowania sukcesji limnologicznej (tabela 9 i tabela 10). Wartość TSI równa 50 jest uznawana za graniczną między stadium mezotrofii a eutrofii. W 2017 roku średnie wartości wskaźników trofii omawianych jezior mieściły się w przedziale od 38,2 do 66,5 (tabela 9). Jeziora Białe i Strupino charakteryzowały się najniższym poziomem trofii (mezotrofia). Jezioro Wdzydze Południowe znajdowało się w początkowym stadium eutrofii, podczas gdy jeziora Żołnowo, Radolne i Lipno miały warunki typowe dla jezior eutroficznych. Najwyższą wartość wskaźnika TSI (66,5) odnotowano w jeziorze Pomarczyn, co świadczy o postępujących procesach degradacyjnych i hipertrofii wód tego jeziora.

Stan troficzny jezior określony na podstawie pomiarów wykonanych w 2024 roku może wskazywać na poprawę warunków jakościowych jezior. Wartość TSI ogólnego w Jeziorze Białym zmniejszyła się z 38,2 do 32,8, pozostając w stadium mezotrofii. Jezioro Lipno i Pomarczyn wciąż znajdują się w stadium eutrofii, ale ich wartości TSI również nieco spadły. Z kolei Jezioro Radolne zmniejszyło wartość TSI z 58,1 do 52, nadal pozostając w stadium eutrofii. Jezioro Wdzydze Południowe poprawiło swoje warunki troficzne z początkowego stadium eutrofii (TSI 53,7) do mezotrofii (TSI 40,7) w 2024 roku. Jezioro Żołnowo również wykazuje spadek wartości TSI, z 56 do 51,4, pozostając w stadium eutrofii. Najgorsze warunki zarejestrowano w Jeziorze Wdzydzki, charakteryzującym się wysoką wartością TSI 76,1, co wskazuje na stan hipertrofii.

Tabela 9. Stan troficzny jezior WPK (sierpień 2018)

Jezioro	<i>TSI</i>				Typ troficzny	<i>TSI(TN)</i>	<i>TN:TP</i>
	<i>Chl</i>	<i>TP</i>	<i>SD</i>	<i>TSI</i>			
Białe	31,6	43,2	39,6	38,2	mezotrofia	46,8	39
Lipno	59,1	71,0	65,1	65,1	eutrofia	53,1	9
Pomarczyn	58,3	71,3	70,0	66,5	hipertrofia	59,6	14
Radolne (Wdzydze Pn.)	53,5	60,9	60,0	58,1	eutrofia	45,8	11
Strupino	35,1	52,2	38,6	42,0	mezotrofia	37,5	11
Wdzydze Pd.	48,5	56,2	56,2	53,7	eutrofia	48,0	17
Żołnowo	53,4	55,8	58,6	56,0	eutrofia	43,2	13

Oznaczenia: TSI – wskaźnik stanu troficznego obliczony na podstawie: Chl – stężenie chlorofilu *a*, TP – stężenie fosforu całkowitego, SD – widzialności krążka Sechciego, TN – azotu całkowitego; TN:TP – stosunek stężeń azotu i fosforu

Tabela 10. Stan troficzny jezior WPK (sierpień 2024)

Jezioro	<i>TSI</i>				Typ troficzny	<i>TSI(TN)</i>	<i>TN:TP</i>
	<i>Chl</i>	<i>TP</i>	<i>SD</i>	<i>TSI</i>			
Białe	38,3	24,2	35,9	32,8	mezotrofia	47,3	153
Lipno	53,2	74,7	63,2	63,7	eutrofia	58,6	10
Pomarczyn	61,2	62,7	60,7	61,6	eutrofia	60,8	27
Radolne (Wdzydze Pn.)	53,6	55,4	46,8	52,0	eutrofia	50,1	21
Strupino	.	.	.	.	.	.	.
Wdzydze Pd.	45,8	34,2	42,3	40,7	mezotrofia	44,2	61
Żołnowo	54,8	49,4	50,0	51,4	eutrofia	49,7	31
Jezioro Wdzydzkie	67,2	85,9	75,1	76,1	hipertrofia	68,0	9

Oznaczenia: TSI – wskaźnik stanu troficznego obliczony na podstawie: Chl – stężenie chlorofilu *a*, TP – stężenie fosforu całkowitego, SD – widzialności krążka Sechciego, TN – azotu całkowitego; TN:TP – stosunek stężeń azotu i fosforu

Poszczególne indeksy TSI, określone na podstawie widzialności krążka, stężenia chlorofilu *a* i stężenia fosforu całkowitego pokazują, który z nich ma największy wpływ na obecny poziom trofii oraz potencjalne przyspieszenie sukcesji limnologicznej. Dodatkowo, zależności i proporcje między wartościami TSI dla stężeń fosforu, zawartości chlorofilu *a* oraz

widzialności krążka Secchiego określają warunki funkcjonowania ekosystemu jeziornego, które ograniczają produkcję pierwotną i wpływają na wartości mierzonych parametrów.

Wartości poszczególnych wskaźników TSI wskazują, że główną przyczyną wysokich wartości TSI w większości jezior są bardzo wysokie stężenia fosforu całkowitego. Wartości TSI obliczone na podstawie stężeń fosforu całkowitego wynosiły w 2018 roku od 43,2 (Białe) do 71,3 (Pomarczyn). W 2024 roku było to od zaledwie 24,2 (Białe) do 74,7 (Lipno) oraz do 85,9 w Jeziorku Wdzydzkim, które nie było badane w 2018 roku. Wysoka wartość wskaźnika TSI związana z zawartością fosforu w jeziorach wskazuje na dużą presję ze strony zlewni, z występującymi punktowymi i obszarowymi źródłami emisji związków biogenicznych, które powodują zanieczyszczenie wód powierzchniowych. Zawartość chlorofilu *a* jest powiązana z ilością występujących w wodzie soli odżywczych, w tym związków fosforu, dlatego w jeziorach, w których występują one obficie, stwierdzono też zazwyczaj występowanie dużej ilości fitoplanktonu. Wartości TSI dla chlorofilu *a* wahały się w 2018 roku od 31,6 (Białe) do 59,1 (Lipno), natomiast w 2024 roku od 38,3 (Białe) do 61,2 (Pomarczyn) oraz 67,2 (Jeziorko Wdzydzkie).

Rozwój biomasy jest natomiast czynnikiem ograniczającym przenikania światła, w związku z tym widzialności krążka Secchiego potwierdzają zaawansowanie trofii jezior. Najniższe indeksy TSI związane z przezroczystością w 2018 roku zanotowano w jeziorach: Strupino (38,6) i Białe (39,6). Najwyższe wartości stwierdzono wtedy w jeziorach Lipno (60,0) i Pomarczyn (70,0). W 2024 roku najlepiej pod tym względem wypadło Jezioro Białe (35,9) oraz Wdzydze Południowe (42,3), natomiast najgorzej jeziora Pomarczyn (60,7), Lipno (63,2) i Jeziorko Wdzydzkie (75,1).

W analizowanych jeziorach wskaźniki TSI uzyskane na podstawie stężeń azotu ogólnego w wodzie były stosunkowo niskie. Prawdopodobnym powodem jest intensywny rozwój biomasy, który prowadzi do zużycia dostępnych zasobów. Stężenia azotu ogólnego w wodach powierzchniowych latem 2018 roku pozwalają zaklasyfikować większość jezior do grupy akwenów mezotroficznych. Jedynie Lipno i Pomarczyn odznaczają się stężeniami azotu na poziomie eutrofii. Podobne wyniki uzyskano w 2024 roku, jednak wyższe wartości TSI związanego ze stężeniem azotu całkowitego odnotowano także w Jeziorze Radolnym oraz Jeziorku Wdzydzkim.

Tabela 11. Ocena stanu ekologicznego stratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2018 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Białe		Radolne		Strupino		Wdzydze Pd		Żołnowo	
	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	4,0	I	1,35	>II	4,0	I	2,8	I	1,45	>II
Nasycenie hypol. O ₂ [%]	11,4	I-II	0,9	>II	31,7	I-II	43,1	I-II	1,7	>II
CON 25°C [μS cm ⁻¹]	241	I	325	I	227	I	271	I	377	I
TN [mg dm ⁻³]	0,54	I-II	0,51	I-II	0,38	I-II	0,58	I-II	0,52	I-II
TP [mg dm ⁻³]	0,012	I	0,047	II	0,025	I	0,062	II	0,044	I
Stan jeziora	b. dobry		umiarkowany		b. dobry		b. dobry/dobry		umiarkowany	
Typ abiotyczny	2A		3A		2A		3A		3A	

Tabela 12. Ocena stanu ekologicznego niestratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2018 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Lipno		Pomarczyn	
	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	0,7	>II	1,0	>II
Tlen rozp. [mg dm ³]	6,9	I-II	0,99	>II
CON 25°C [μS cm ⁻¹]	72	I	352	I
TN [mg dm ⁻³]	0,89	I-II	1,14	I-II
TP [mg dm ⁻³]	0,095	>II	0,080	II
Stan jeziora	umiarkowany		umiarkowany	
Typ abiotyczny	1B		2B	

Tabela 13. Ocena stanu ekologicznego stratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2024 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Białe		Radolne		Strupino		Wdzydze Pd		Żołnowo	
	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	4,6	I	1,9	II	-	-	2,9	I	1,8	II
Nasycenie hypol. O ₂ [%]	5,6	II	2,6	>II	-	-	45,5	I-II	2,5	>II
CON 25°C [μS cm ⁻¹]	173	I	292	I	-	-	267	I	308	I
TN [mg dm ⁻³]	0,49	I-II	0,61	I-II	-	-	0,36	I-II	0,72	I-II
TP [mg dm ⁻³]	0,016	I	0,042	II	-	-	0,026	I	0,041	I
Stan jeziora	b. dobry		umiarkowany		-		b. dobry/dobry		-	
Typ abiotyczny	2A		3A		-		3A		-	

Tabela 14. Ocena stanu ekologicznego niestratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2024 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Lipno		Pomarczyn	
	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	1,0	>II	1,3	>II
Tlen rozp. [mg dm ³]	4,7	I-II	3,6	I-II
CON 25°C [μS cm ⁻¹]	43	I	350	I
TN [mg dm ⁻³]	0,95	I-II	1,54	I-II
TP [mg dm ⁻³]	0,118	>II	0,055	II
Stan jeziora	umiarkowany		umiarkowany	
Typ abiotyczny	1B		2B	

Na podstawie stosunku stężeń azotu ogólnego do fosforu ogólnego, można określić który z tych pierwiastków limituje produkcję pierwotną w jeziorze. W 2018 roku najniższą wartość stosunku azotu do fosforu ($TN:TP < 10$), zanotowano w jeziorze Lipno, natomiast w 2024 roku w ponownie w Lipnie oraz Jezioroku Wdzydzkim. Wartości takie wskazują na limitację rozwoju biomasy obecnością azotu. Rozwój biomasy warunkowany obecnością zarówno fosforu jak i azotu stwierdzono w 2018 roku w jeziorach: Pomarczyn, Radolne, Strupino i Żołnowo. W 2024 roku żadne z badanych jezior nie znalazło się z tej grupy. Wartości stosunku azotu do fosforu powyżej 20, wskazujące na limitację rozwoju biomasy fosforem, wystąpiły w 2018 roku w Jeziorze Białym, natomiast w 2024 roku w jeziorach: Biały, Pomarczyn, Radolne, Wdzydze Południowe i Żołnowo.

Ocena stanu ekologicznego omawianych jezior WPK, przeprowadzona na podstawie fizykochemicznych parametrów wspierających elementy biologiczne, wskazuje na zróżnicowanie od stanu umiarkowanego do bardzo dobrego (tabele 11-14). Najlepsze warunki panują w jeziorach Białe i Strupino, których stan ekologiczny można określić jako bardzo dobry. Jezioro Wdzydze Południowe, pomimo pogarszających się parametrów jakości wody, nadal znajduje się na granicy między stanem bardzo dobrym a dobrym. Jest to wynikiem korzystnych warunków morfometrycznych, głównie dużej głębokości średniej i objętości misy. Pozostałe cztery jeziora - Radolne, Żołnowo, Lipno i Pomarczyn - charakteryzują się umiarkowanym stanem ekologicznym. Decydującymi parametrami o niezbyt dobrych warunkach tych jezior są przeważnie mała przezroczystość wody oraz złe warunki tlenowe. W przypadku jeziora Lipno negatywnie wypada także stężenie fosforu ogólnego.

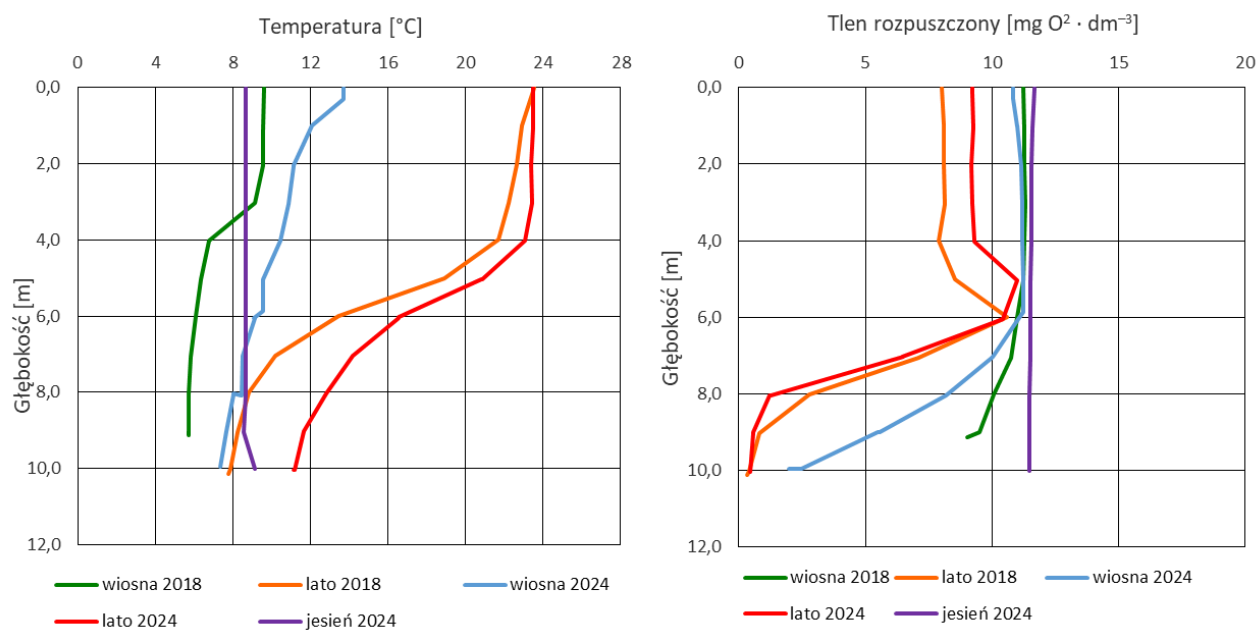
Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., 2002, Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych, Wydaw. WGiSR UW, Warszawa, 274 s.
- Carlson R.F., 1977, A trophic index for lakes, limnol. Oceanogr. 22(2): 361-369.
- Kratzer C.R., Brezonik P.L. 1981. A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. Water Res. Bull. 17(4): 713-715.

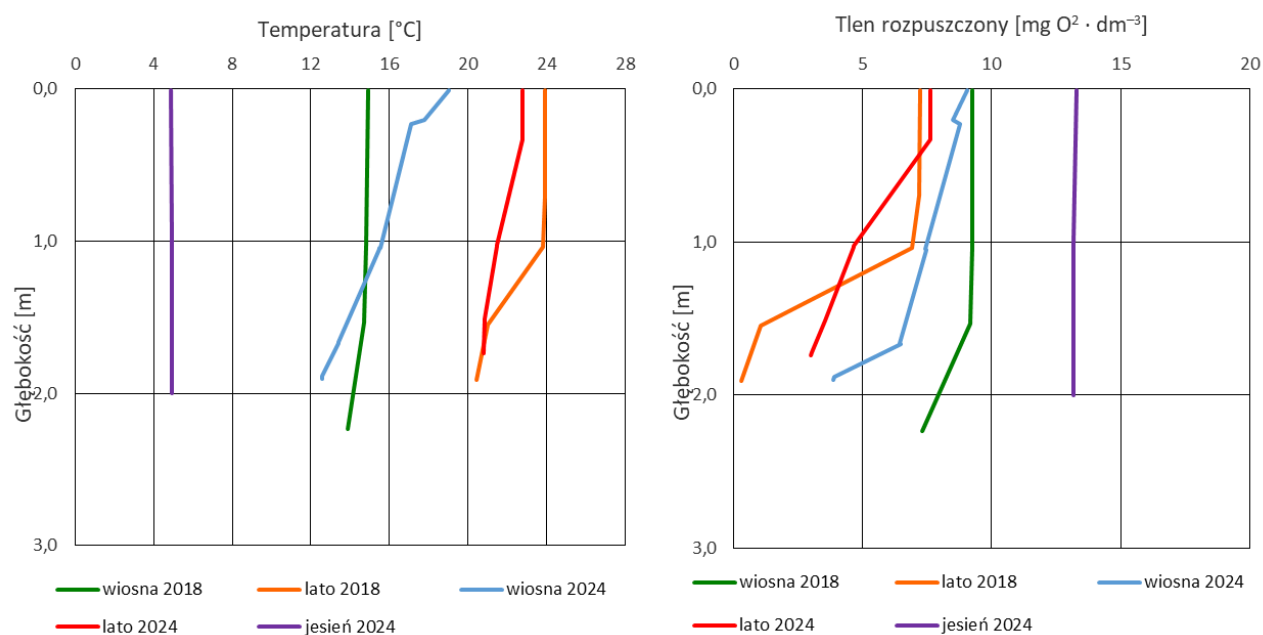
Załącznik 1

Pionowe rozkłady temperatury i stężenia tlenu wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego w 2018 i 2024 roku

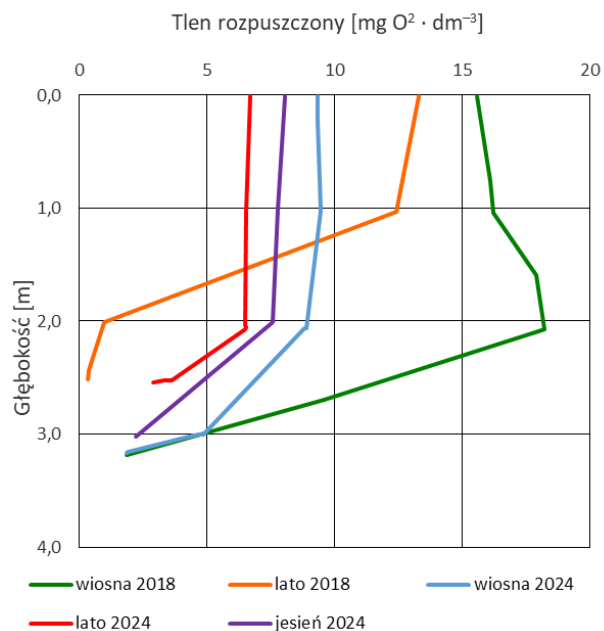
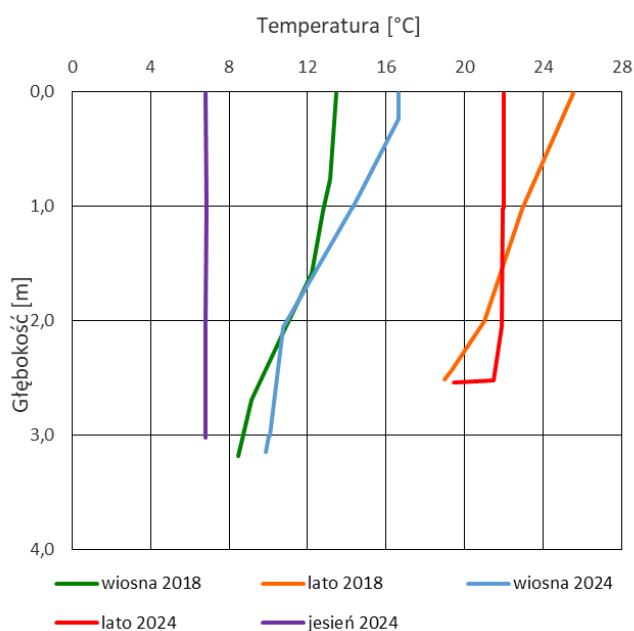
Jezioro Białe



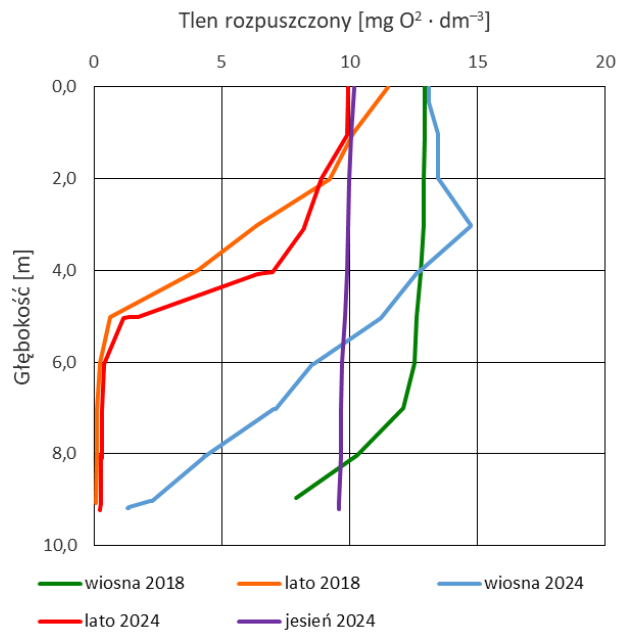
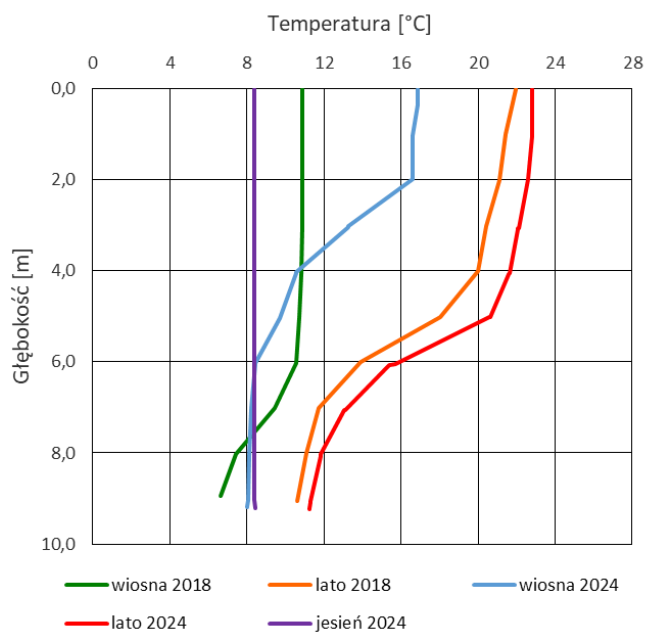
Jezioro Lipno



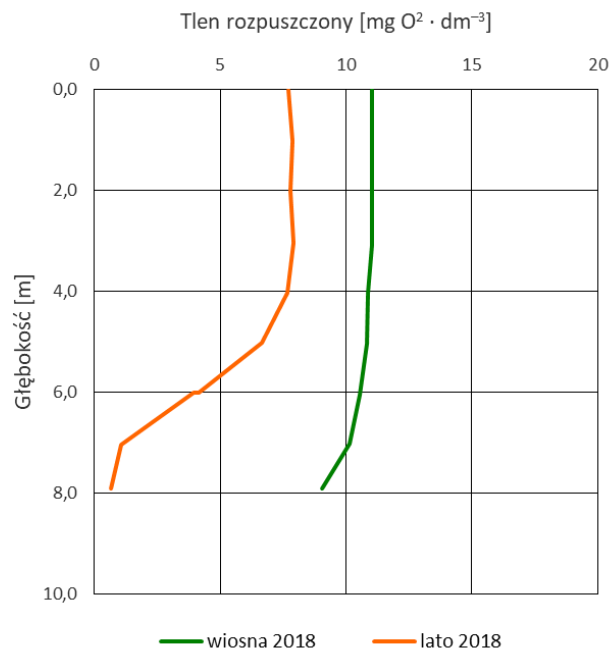
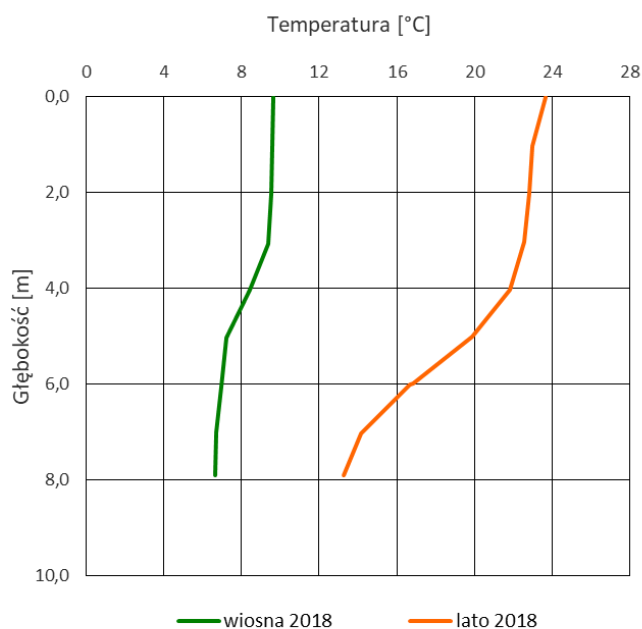
Jezioro Pomarczyn



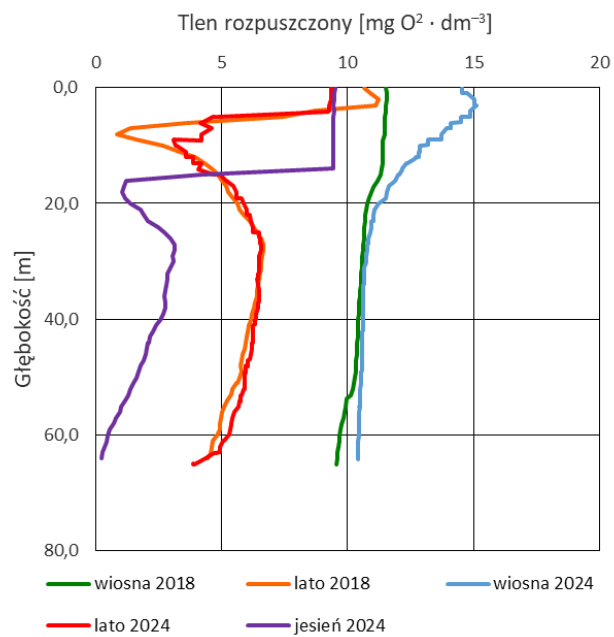
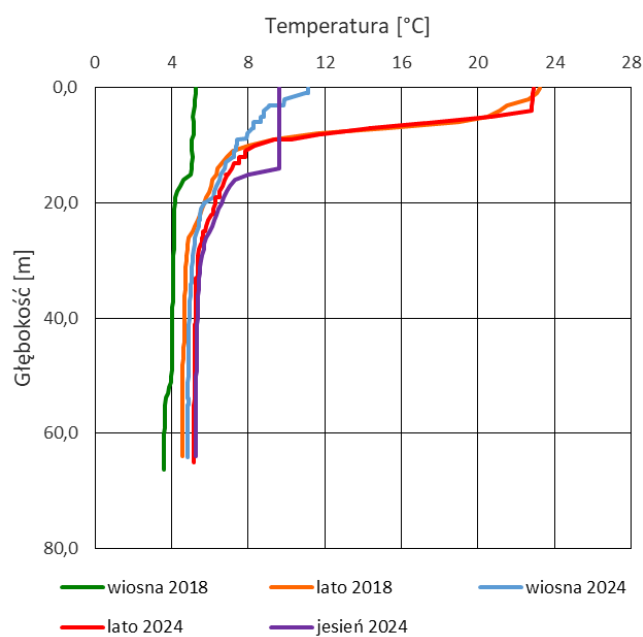
Jezioro Radolne



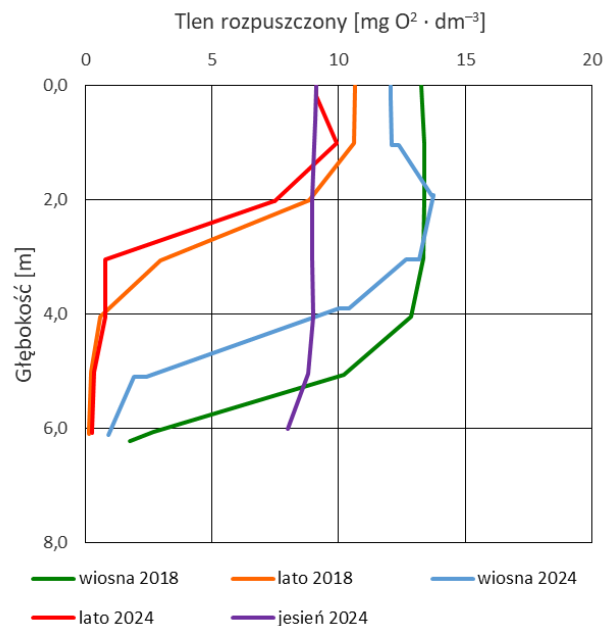
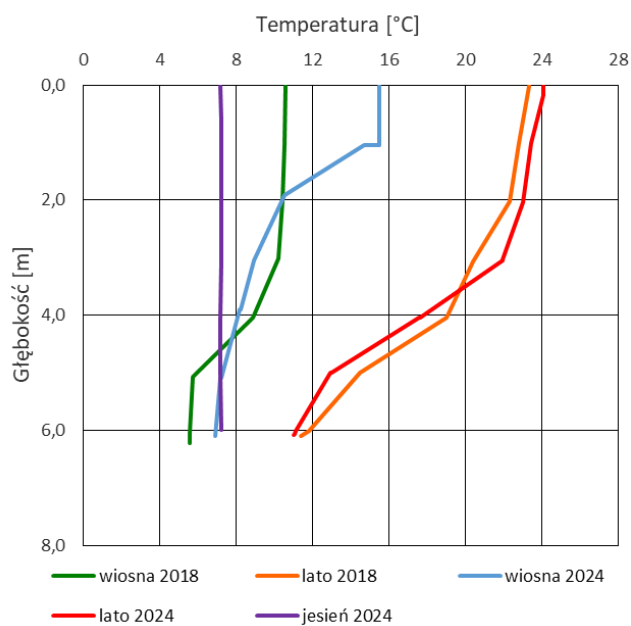
Jezioro Strupino



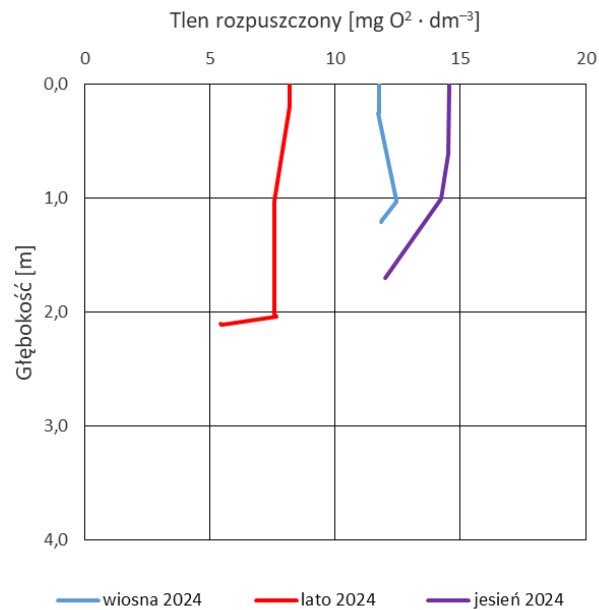
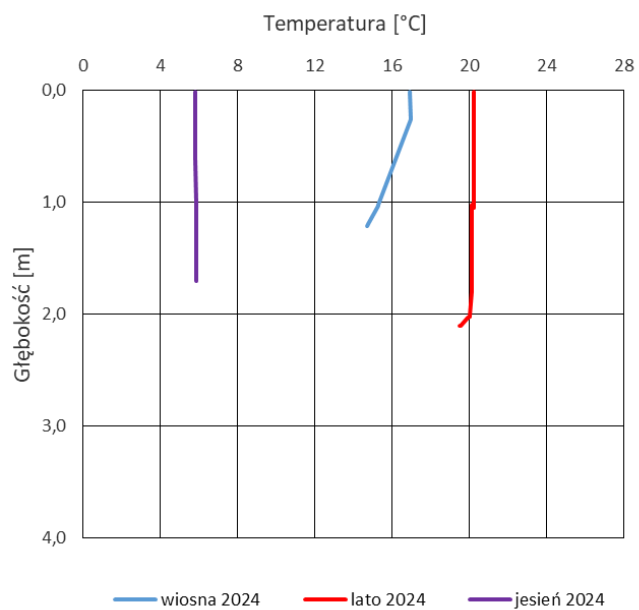
Jezioro Wdzydze Południowe



Jezioro Żołnowo



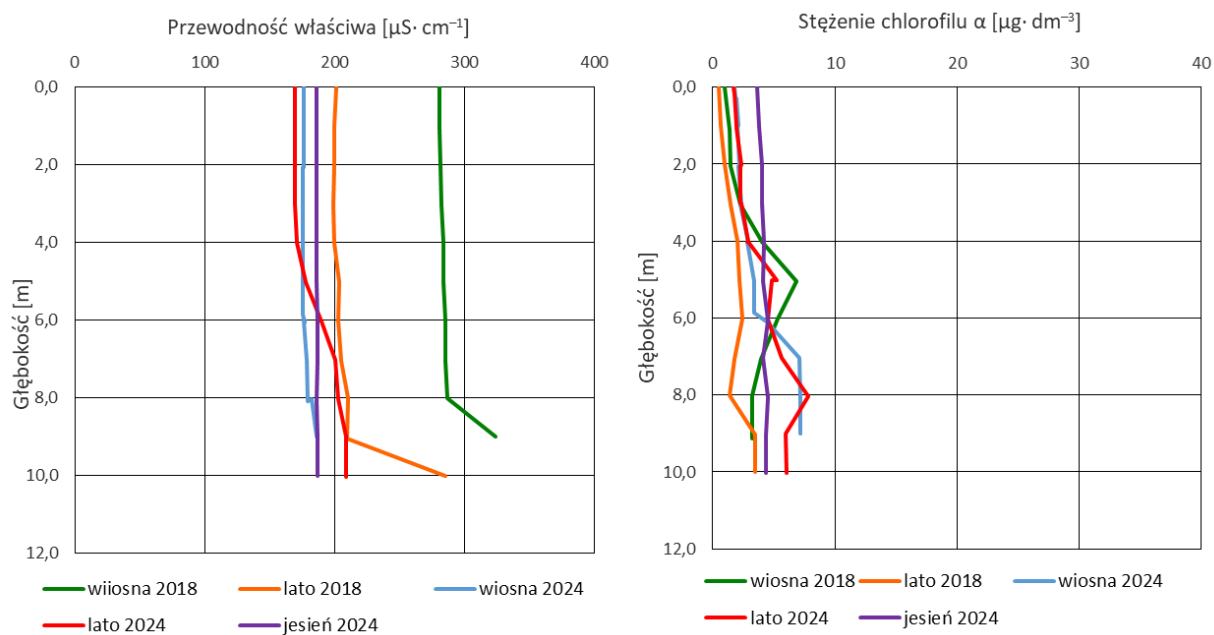
Jezioro Jeziorko Wdzydzkie



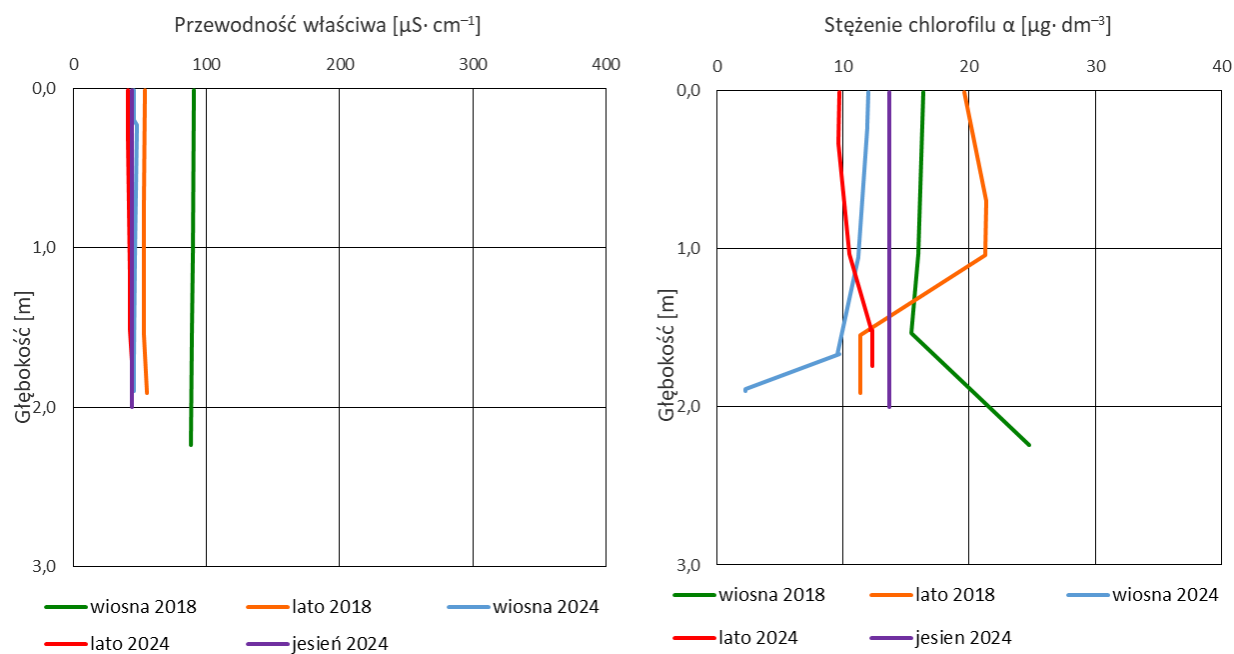
Załącznik 2

Pionowe rozkłady przewodności właściwej i stężenia chlorofilu α wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego w 2018 i 2024 roku

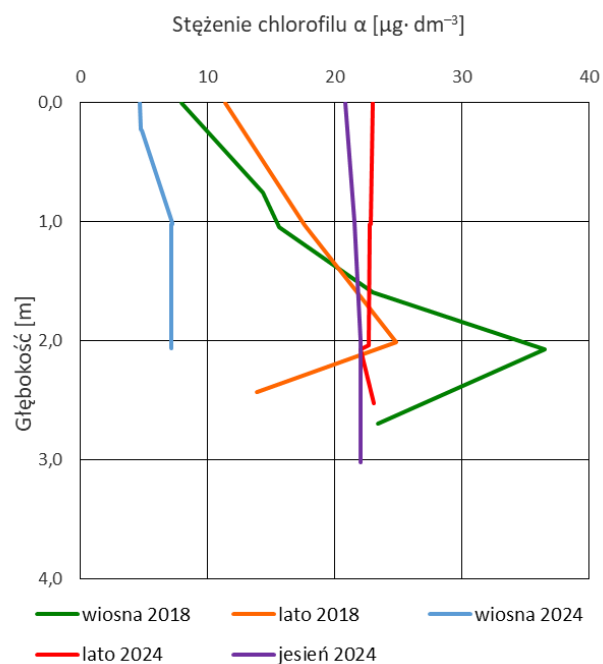
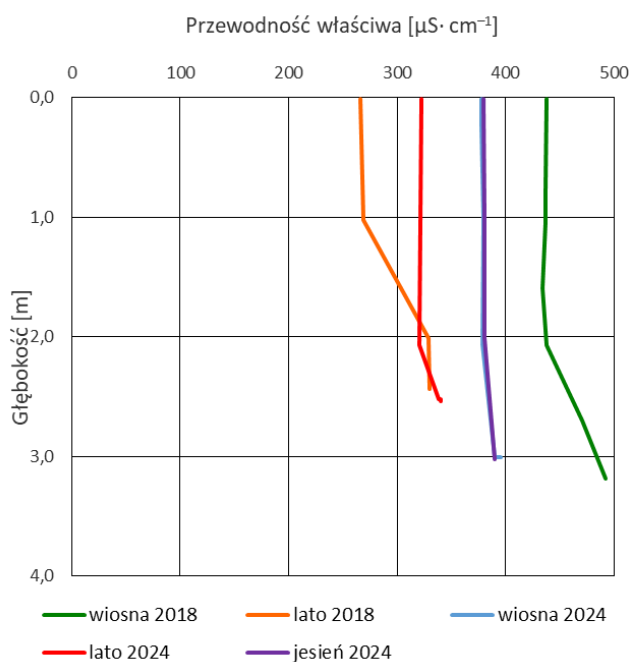
Jezioro Białe



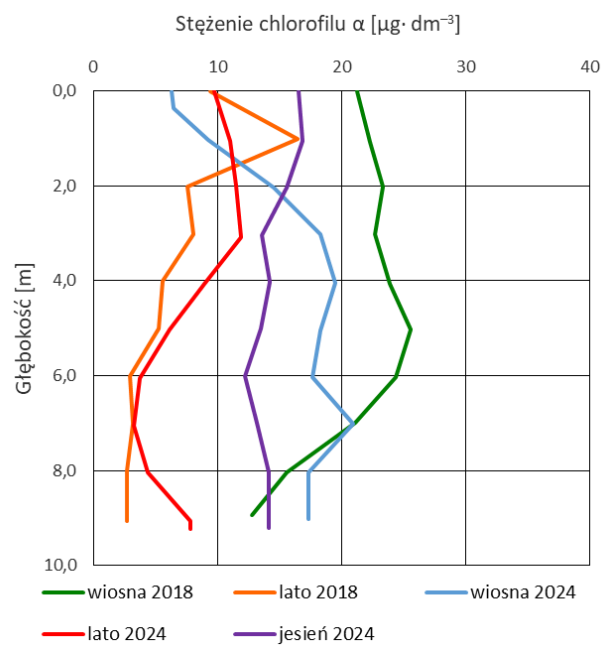
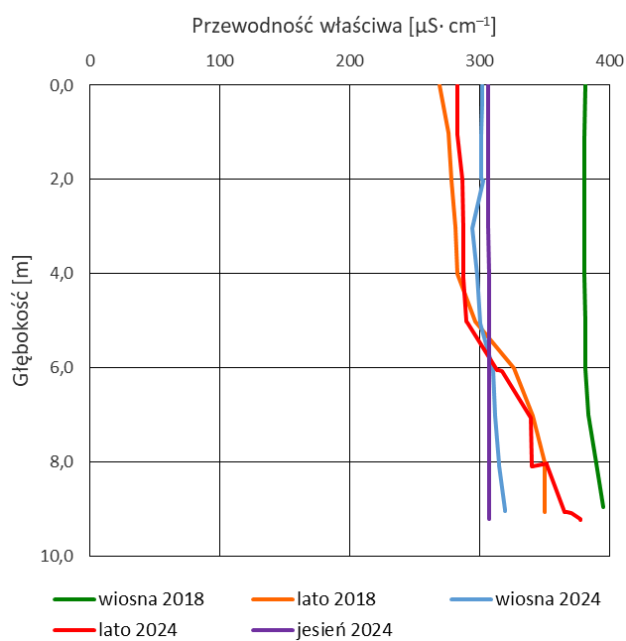
Jezioro Lipno



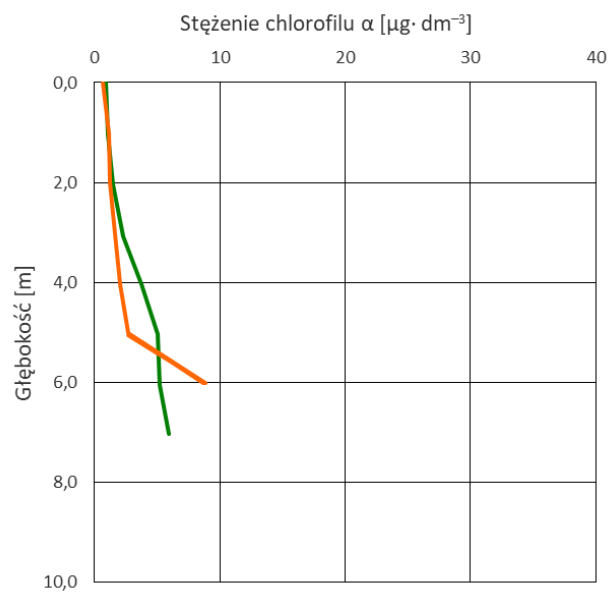
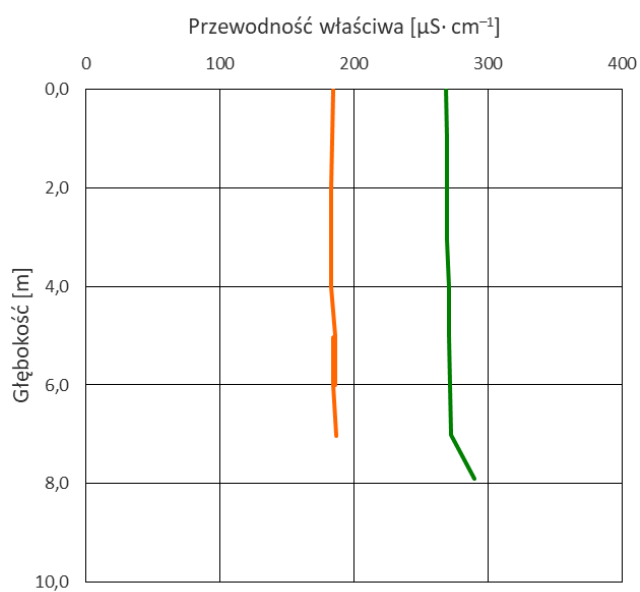
Jezioro Pomarczyn



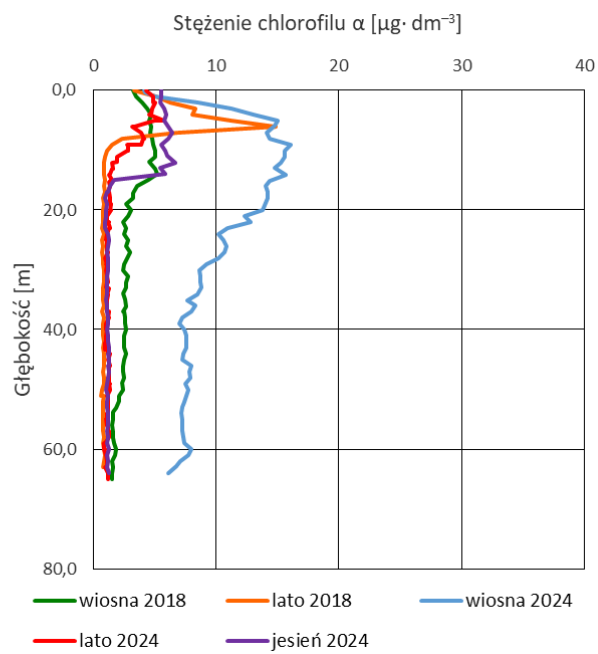
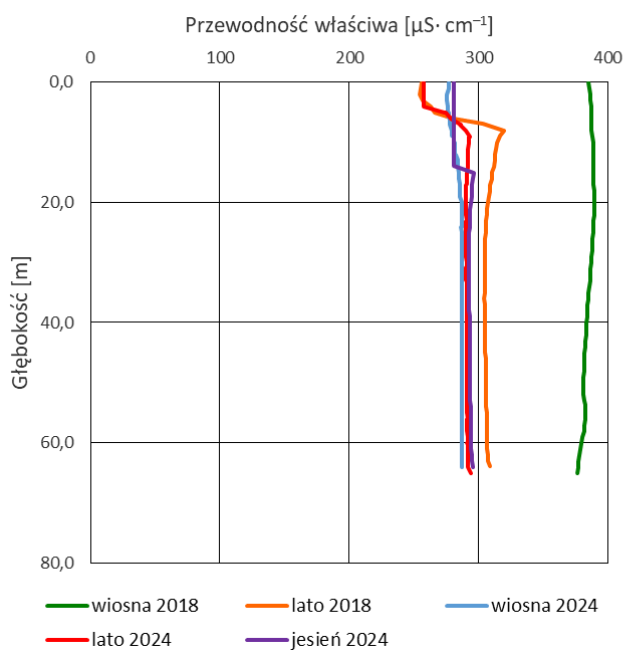
Jezioro Radolne



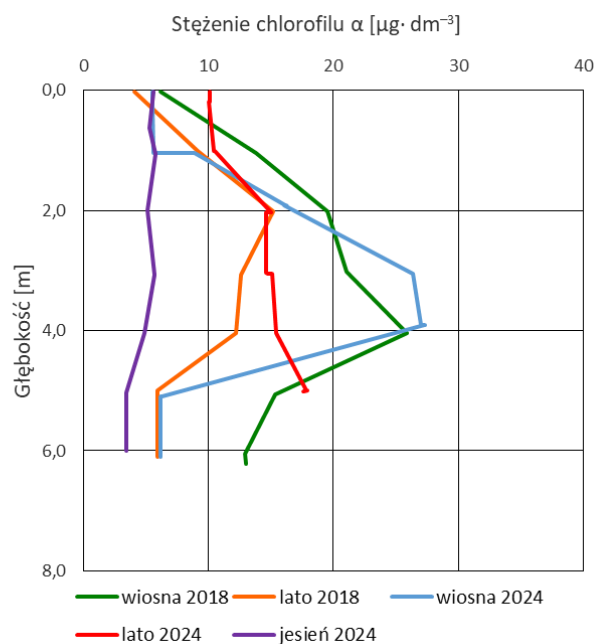
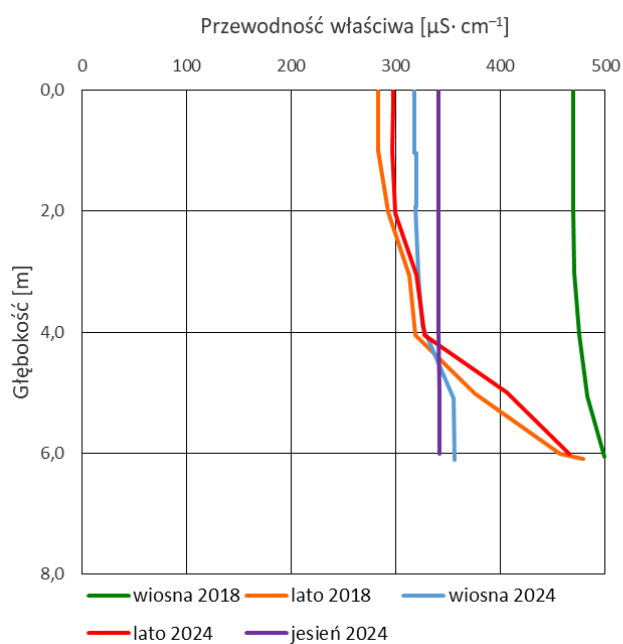
Jezioro Strupino



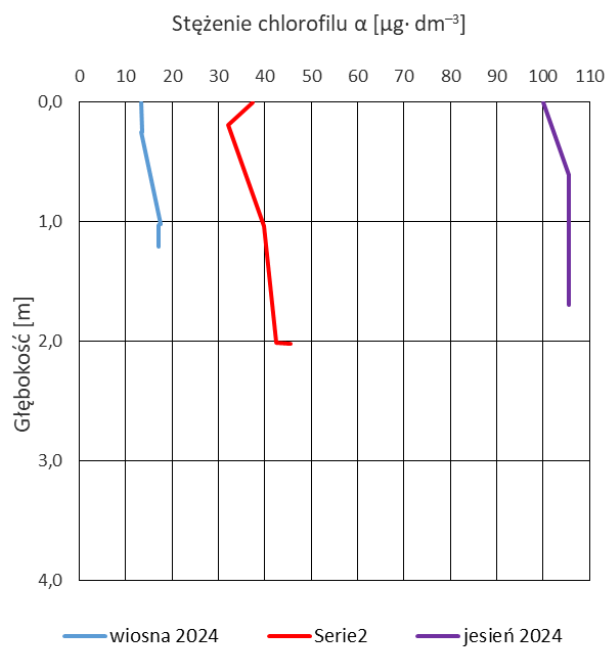
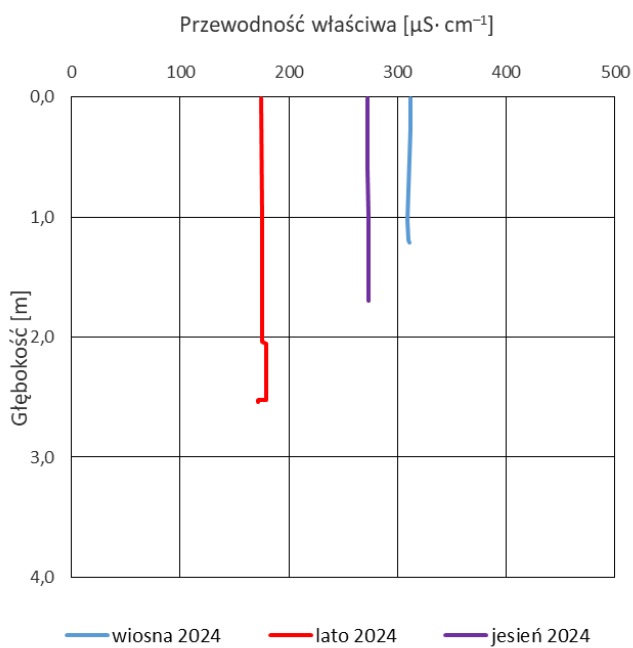
Jezioro Wdzydze Południowe



Jezioro Żołnowo



Jezioro Jeziorko Wdzydzkie



Zalecenia i działania ochronne na obszarze Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Aby zapewnić długotrwałą ochronę i zachowanie ekosystemów jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego, konieczne jest wdrożenie szeregu zintegrowanych działań. Kluczowe zalecenia ochronne obejmują:

1. Uporządkowanie gospodarki ściekowej: Zapewnienie, że wszystkie budynki w pobliżu jezior są podłączone do odpowiednich sieci kanalizacyjnych lub wyposażone w szczelne zbiorniki bezodpływowe, które są regularnie opróżniane.
2. Tworzenie stref buforowych: Wprowadzenie pasów roślinności (drzew i krzewów) o szerokości 15-20 metrów wzdłuż linii brzegowych jezior, co pomoże w zatrzymywaniu zanieczyszczeń spływających z terenów rolniczych i zabudowań.
3. Ograniczenie użytkowania rolnego w zlewniach bezpośrednich: Przekształcenie użytków rolnych na pastwiska i łąki oraz wprowadzenie ekologicznych praktyk rolniczych.
4. Monitoring jakości wód: Regularne badania jakości wód jezior w celu wczesnego wykrywania potencjalnych zagrożeń i podejmowania odpowiednich działań naprawczych.
5. Edukacja i współpraca lokalna: Organizowanie kampanii informacyjnych dla mieszkańców i turystów na temat ochrony jezior oraz współpraca z lokalnymi rolnikami i przedsiębiorstwami w celu minimalizowania wpływu działalności ludzkiej na ekosystemy wodne.
6. Zakaz sztucznego zanęcania ryb oraz kontrola i egzekucja przepisów związanych z połowem ryb, wędkarstwem i użytkowaniem rekreacyjnym jezior.

Wdrożenie powyższych działań pozwoli na zachowanie różnorodności biologicznej oraz utrzymanie dobrej jakości wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego, przyczyniając się do ich zrównoważonego rozwoju i ochrony na przyszłe pokolenia.

Jezioro Białe

Jezioro Białe to mezotroficzne jezioro, którego największym zagrożeniem jest dopływ potencjalnych zanieczyszczeń ze zlewni bezpośredniej. Główne źródła zanieczyszczeń to:

- **Użytki rolne:** Zlokalizowane na zachodniej części zlewni, mogą przyczyniać się do dopływu zanieczyszczeń.
- **Zabudowa letniskowa:** Znajduje się nad wschodnim brzegiem jeziora i może przyczynić się do eutrofizacji poprzez zasilanie jeziora związkami biogenicznymi (fosfor i azot).
- **Pozostałości po zabudowaniach rekreacyjnych:** Wichura w 2017 roku zniszczyła letniska przy południowym brzegu jeziora, które nie posiadały kanalizacji ściekowej.

Zalecenia ochronne dla Jeziora Białego

1. **Eliminacja zabudowy rekreacyjnej i użytków rolnych** w zlewni bezpośredniej jeziora.
2. **Strefy buforowe** wzdłuż brzegów jeziora z zakazem wycinki drzew.
3. **Zakaz sztucznego zanęcania ryb** przez wędkarzy oraz połowu ryb przy wykorzystaniu sieci ciągnionych.

Jezioro Lipno

Jezioro Lipno, charakteryzujące się zaawansowaną trofią, jest cenne ze względu na walory krajobrazowe i jako ostoja ptactwa. Najważniejsze źródła zanieczyszczeń to:

- **Grunty rolne z rozproszoną zabudową:** Znajdujące się w zachodniej części zlewni.
- **Użytkowanie rybackie i wycinka drzew** w strefie brzegowej.

Zalecenia ochronne dla Jeziora Lipno

1. **Likwidacja użytkowania rolnego** w zlewni bezpośredniej jeziora lub przekształcenie na pastwiska i łąki.
2. **Fitosanitarne strefy buforowe:** Pasy zadrzewień i zakrzaczeń o szerokości 15-20 metrów w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej.
3. **Zakaz wycinki drzew** (szczególnie zrębów zupełnych) oraz wykorzystywania sieci ciągnionych.

Jezioro Pomarczyn

Jezioro Pomarczyn, położone w niekorzystnych warunkach zlewniowych, jest zagrożone dopływem ścieków rolniczych oraz ścieków bytowych z gospodarstw domowych. Znaczna

deniwelacja obszaru przyczynia się do szybkiego transportu materii do jeziora, co skutkuje przyspieszoną eutrofizacją.

Zalecenia ochronne dla Jeziora Pomarczyn

1. **Fitosanitarne strefy buforowe** o szerokości 15-20 metrów w formie pasów zadrzewień i zakrzaczeń wzdłuż brzegów jeziora.
2. **Płyty i zbiorniki** do przechowywania odchodów i odpadów gospodarskich oraz zakaz przechowywania obornika w przyzmach polowych.
3. **Kontrola i egzekucja obowiązków** w zakresie gromadzenia i odprowadzania ścieków.

Jezioro Radolne

Jezioro Radolne, na którego obszarze dominują lasy, jest zasilane przez rzekę Wda, która drenuje znacznie większy obszar, co stanowi główne zagrożenie dla jeziora.

Zalecenia ochronne dla Jeziora Radolnego

1. **Strefy buforowe** wokół jeziora z zakazem wycinki drzew.
2. **Płyty i zbiorniki** do przechowywania odchodów i odpadów gospodarskich.
3. **Kontrola i egzekucja obowiązków** w zakresie gromadzenia i odprowadzania ścieków.
4. **Poprawa jakości wód Wdy** poprzez uporządkowanie gospodarki ściekowej w jej zlewniach oraz stosowanie zaleceń Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej.

Jezioro Wdzydze Południowe

Jezioro Wdzydze Południowe, charakteryzujące się dużą odpornością na czynniki degradacyjne, jest zagrożone ze względu na presję ze strony zlewni. Zasilanie rzeczne odgrywa ważną rolę w bilansie wodnym jeziora.

Zalecenia ochronne dla Jeziora Wdzydze Południowe

1. **Blokowanie rozwoju zabudowy** stałej i rekreacyjnej w strefie przybrzeżnej o szerokości do 100 metrów.
2. **Uporządkowanie gospodarki ściekowej** w istniejącej zabudowie.
3. **Zmniejszenie presji rekreacyjnej:** Zakaz używania silników spalinowych na jeziorze, wyposażenie pól biwakowych w toalety przenośne.
4. **Zrównoważona gospodarka rybacka oraz rolna i leśna** w obszarze zlewni aktywnej jeziora.

Jezioro Żołnowo

Jezioro Żołnowo, zasilane głównie przez dopływ z zespołu jezior Sudoń-Mielnica, jest zagrożone transportem zanieczyszczeń z odległych obszarów. Intensywność dopływu rzecznej sprawia, że wymiana wody w jeziorze jest bardzo częsta.

Zalecenia ochronne dla Jeziora Żołnowo

1. **Uporządkowanie gospodarki ściekowej** w całej zlewni.
2. **Strefy buforowe** wokół jezior oraz racjonalne gospodarowanie wodami i przyległymi gruntami.
3. **Poprawa jakości wód rzek dopływających** do jeziora poprzez ograniczenie zanieczyszczeń ze zlewni Sudomia i Mielnicy.

Jezioro Jeziorko Wdzydzkie

Jezioro Jeziorko Wdzydzkie to bezodpływowe jezioro zlokalizowane w miejscowości Wdzydze Kiszewskie, w Wdzydzkim Parku Krajobrazowym.

Główne zagrożenia dla jeziora

Jezioro Jeziorko jest narażone na zanieczyszczenia pochodzące ze zlewni bezpośredniej. Do głównych emitorów tych zanieczyszczeń należą:

- **Zabudowa mieszkalna i rekreacyjna:** Obecność domów mieszkalnych i letniskowych w pobliżu jeziora może prowadzić do przedostawania się ścieków bytowych do wód jeziora, szczególnie w przypadku braku odpowiedniej infrastruktury kanalizacyjnej.
- **Użytki rolne:** Pola uprawne w okolicy jeziora mogą być źródłem spływu powierzchniowego zawierającego nawozy sztuczne i pestycydy, co przyczynia się do eutrofizacji wód.

Zalecenia ochronne dla Jeziora Jeziorko

Aby zachować dobry stan ekologiczny Jeziora Jeziorko, zaleca się wdrożenie następujących działań:

1. **Uporządkowanie gospodarki ściekowej:** Zapewnienie, że wszystkie budynki w pobliżu jeziora są podłączone do odpowiedniej sieci kanalizacyjnej lub wyposażone w szczelne zbiorniki bezodpływowe, które są regularnie opróżniane.

2. **Tworzenie stref buforowych:** Wprowadzenie pasów roślinności (drzew i krzewów) o szerokości 15-20 metrów wzdłuż linii brzegowej jeziora, co pomoże w zatrzymywaniu zanieczyszczeń spływających z pól uprawnych.