

Raport z badań stanu środowiska wodnego wybranych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (rok 2023)



Opracowanie:

dr Kamil Nowiński

Pracownia Limnologii
Katedra Hydrologii
Uniwersytet Gdański

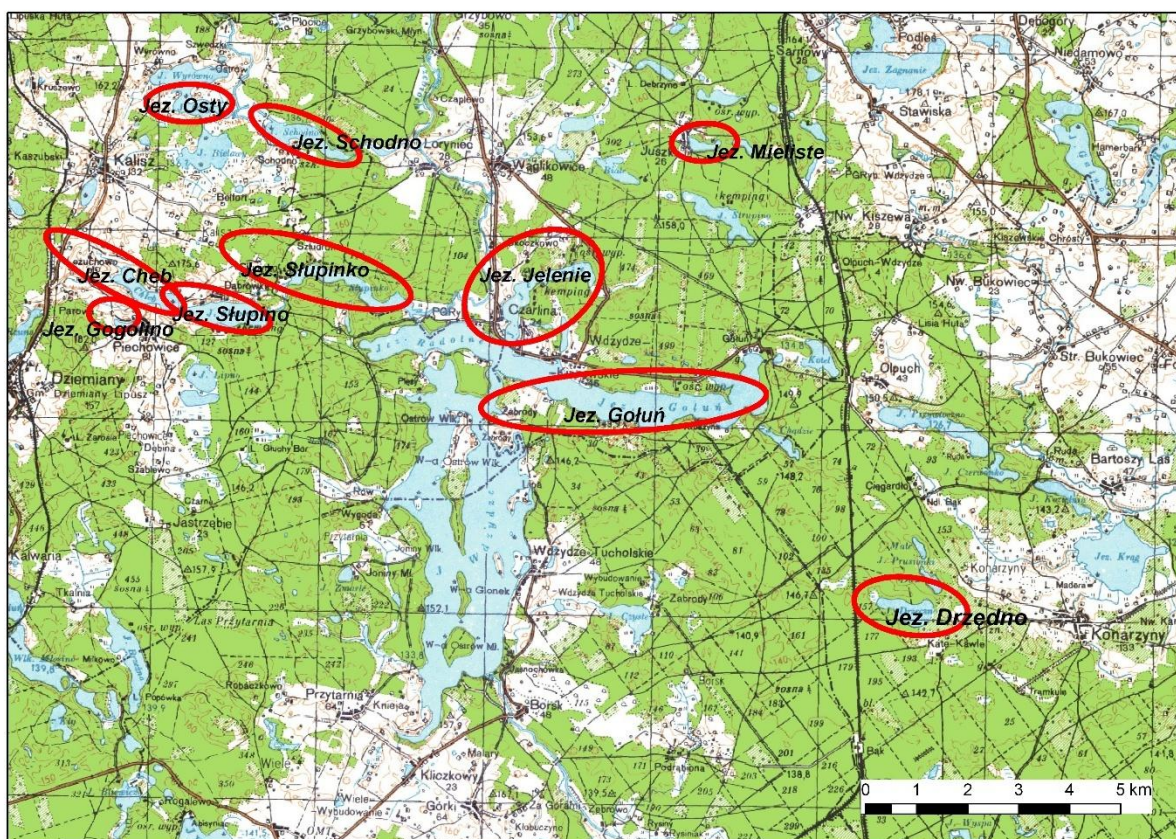
Dofinansowane ze środków
Wojewódzkiego Funduszu Ochrony
Środowiska i Gospodarki Wodnej
w Gdańsku



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

Metody badań

W 2023 roku przeprowadzono trzy serie pomiarów terenowych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (ryc. 1). Odbłyły się one w dniach: 6 – 8 maja, 28–30 lipca oraz 4 – 5 listopada. Podobnie jak w 2017 roku, 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.



Rycina 1. Lokalizacja badanych jezior

W czasie każdej serii pomiarowej 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 przeliczona do temperatury odniesienia 25°C [μS/cm] (sonda wieloparametrowa EXO2 firmy YSI),
- całkowitą zawartość soli mineralnych TDS [mg/dm³] (sonda wieloparametrowa 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:

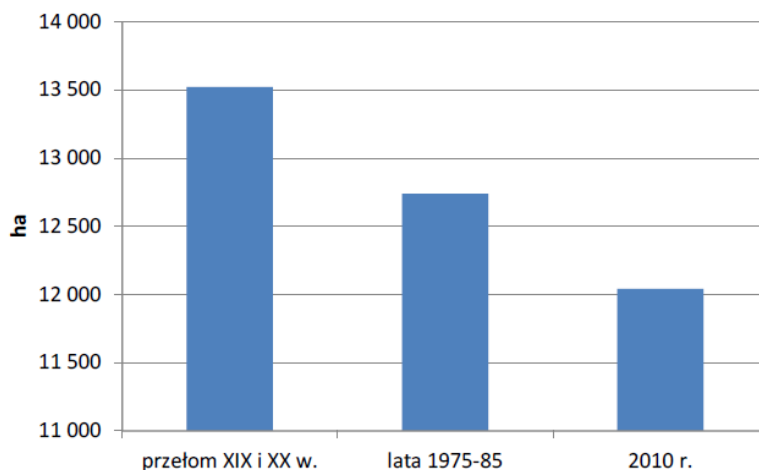
- barwę wody – wg skali platynowo-kobaltowej (PN-71/C-64551);
- fosfor ogólny – po mineralizacji, całkowite stężenie fosforu w wodzie oznaczono metodą fotometryczną zestawem Spectroquant Merck, pomiar spektrofotometrem UV-VIS Pharo 300 firmy Merck;
- azot ogólny – po mineralizacji, całkowite stężenie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

Zmiany powierzchni jezior zlewni Wdy na tle zlewni Wierzycy i Raduni

Jeziora należą do jednych z mniej trwałych elementów środowiska przyrodniczego. Lokalizacja jezior jest przeważnie związana z obszarami najniżej położonymi. Skutkuje to tym, że stają się one naturalnie miejscami akumulacji materii allochtonicznej, będąc jednocześnie obiektami, w których następuje często intensywna produkcja stanowiąca dodatkowe źródło substancji wypełniających misę jeziorną. Ze względu na te charakterystyki jeziora ulegają naturalnym przemianom, przeważnie zmniejszając swoją powierzchnię, głębokość i objętość. Procesy zaniku jezior są więc ich naturalną cechą, spotęgowaną jednak znacznie na skutek działalności człowieka.

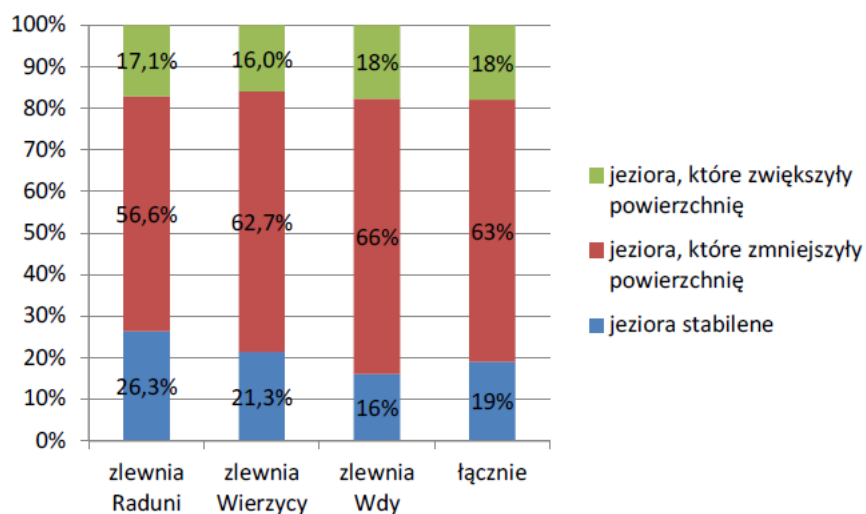
Proces zaniku jezior jest dobrze widoczny na obszarze Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego oraz terenach sąsiednich. Rycina 2 przedstawia zmniejszanie się powierzchni

jezior zlewni trzech rzek (Raduni, Wierzycy i Wdy) od przełomu XIX i XX wieku do 2010 roku. Łączna powierzchnia jezior uległa z tym okresie zmniejszeniu o około 1500 ha.



Rycina 2. Łączna powierzchnia jezior zlewni Raduni, Wierzycy i Wdy od przełomu XIX i XX wieku do 2010 roku (Czaja 2018)

Najczęstszym kierunkiem przemian było zmniejszanie powierzchni. W zlewni Wdy zanotowano taki kierunek przemian w przypadku 66% jezior (rycina 3). Jeziora, których powierzchnia nie uległa zmianie stanowią 16%, natomiast takie, które zwiększyły swoją powierzchnię około 18%. Porównując proces zaniku jezior w tych trzech zlewniach, rzuca się w oczy, że jest on najbardziej intensywny w zlewni Wdy.



Rycina 3. Udział jezior w poszczególnych formach przemian (Czaja 2018)

Przyczyny większego udziału jezior zmniejszających swoją powierzchnię są zarówno naturalne jak też antropogeniczne. Zlewnię Wdy stanowi w dużej części obszar sandrowy, charakteryzujący się piaszczystymi utworami powierzchniowymi, zwiększającymi podatność zlewni na uruchamianie ładunku obszarowego i jego dostawę do jeziora. Dodatkowo jeziora WPK charakteryzują się przeważnie niekorzystnymi cechami określającymi ich odporność. Kolejną niekorzystną cechą jest częsta przepływowość jezior umożliwiająca transport materii do jezior oraz często rolnicze zagospodarowanie zlewni. To wszystko potęgowane jest przez liczną zabudowę, presję turystyczną, transport rzekami dużej ilości zanieczyszczeń spoza granic Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego oraz dopływ niedostatecznie oczyszczonych ścieków z oczyszczalni.

Biorąc pod uwagę klasyfikację podatności zlewni na uruchamianie ładunku obszarowego i jego dostawę do jeziora (Bajkiewicz-Grabowska 2002) należy stwierdzić, że większość badanych jezior WPK odznacza się niestety zlewniami o przeciętnych warunkach uruchamiania ładunku obszarowego, co w zestawieniu z małą odpornością na wpływy z zewnątrz sprawia, że są one narażone na szybkie tempo eutrofizacji nawet przy niewielkiej antropopresji. Szybka eutrofizacja wód spowodowana niekorzystnymi warunkami cechuje geoeosystemy większości omawianych jezior: Cheb, Schodno, Mieliste, Słupino, Słupinko oraz Osty.

Termika i warunki tlenowe wód jezior

Warunki termiczne jezior są kształtowane przez dostawę energii słonecznej oraz jej rozprowadzanie na skutek zmian gęstości wody oraz dzięki mieszaniu wiatrowemu. Zasięg mieszania wiatrowego jest strefą aktywną w wewnętrznej strukturze systemów limnicznych podczas letniej stratyfikacji. W zależności od warunków morfometrycznych jezior oraz stopnia ekspozycji na działanie wiatru, zasięg epilimnionu może ograniczać się do przypowierzchniowej warstwy wody lub sięgać do kilku, kilkunastu metrów lub aż do dna płytkich jezior. Zasięg epilimnionu oraz temperatura wody powierzchniowej i przydennej są elementami uzależnionymi dodatkowo od warunków meteorologicznych, występujących na przełomie w czasie tworzenia się i trwania okresu stratyfikacji letniej. Występowanie słonecznej i bezwietrznej pogody będzie skutkowało szybkim tworzeniem się stratyfikacji, natomiast silne wiatry będą czynnikiem zwiększającym zasięg mieszania.

Tabela 1. Podstawowe parametry termiczne wód badanych jezior

Jezioro	Zasięg epilimnionu 2017 m	Zasięg epilimnionu 2023 m	Temp wody pow 2017 °C	Temp wody pow 2023 °C	Temp wody dno 2017 °C	Temp wody dno 2023 °C	Typ termiczno- dynamiczny
Cheb	do dna 1'	do dna 1'	21,0	21,1	18,5	17,6	polimiktyczne
Drzędno	do dna 2'	do dna 2'	20,9	21,4	16,8	18,4	polimiktyczne
Gogolino	2	2	21,1	21,0	7,1	6,0	eumiktyczne
Gołuń (Wdzydze Pn.)	7	5	20,4	21,5	17,3	13,0	tachymiktyczne/ polimiktyczne
Jelenie (Wdzydze Pn.)	6	6	20,6	21,6	7,2	6,7	tachymiktyczne
Mieliste	4	4	21,2	20,9	10,5	9,2	eumiktyczne
Schodno	do dna	do dna 1'	18,8	19,1	17,4	16,9	polimiktyczne
Słupinko	do dna	do dna 1'	19,9	22,0	19,2	19,5	polimiktyczne
Słupino	5	4	20,5	20,6	7,9	5,8	eumiktyczne
Osty	do dna	do dna	17,0	23,6	17,0	23,6	polimiktyczne

1' – krótkotrwały wysoki gradient termiczny pomiędzy 1 a 2 metrem spowodowany bezwietrzną, radiacyjną pogodą, 2' – krótkotrwały wysoki gradient termiczny pomiędzy 2 a 3 metrem

Na podstawie badań przeprowadzonych w 2017 i 2023 roku można stwierdzić, że pięć spośród omawianych jezior należy zaklasyfikować do typu polimiktycznego mimo, występujących w nich czasem, gradientów temperatury przekraczających 1 °C na 1 metr. Sytuacja taka jest spowodowana nagrzaniem przypowierzchniowej warstwy jeziora podczas słonecznej i bezwietrznej pogody i jest przeważnie krótkotrwała. Ze względu na zasięg turbulencyjnego oddziaływania wiatru sięgający do dna jeziora: Cheb, Schodno, Słupinko, Osty i Drzedno zostały więc sklasyfikowane jako polimiktyczne. Brak możliwości powstania letniej stratyfikacji termiczno-gęstościowej jest charakterystyczny przeważnie dla jezior płytkich, w których z tego powodu zachodzi wielokrotne w ciągu roku pełne wymieszanie mas wodnych.

W jeziorach Gołuń i Jelenie stwierdzono najbardziej rozległe epilimniony, o miąższości wynoszącej od 5 do 7 m (tabela 1). Jeziora te zostały więc sklasyfikowane jako tachymiktyczne czyli bardzo podatne na procesy miktyczne. Wysoka temperatura przydenna jeziora Gołuń w 2017 roku (~17,0°C) sugeruje możliwość wystąpienia wielokrotnego mieszania całej objętości wody także w okresie letnim.

Ogólnie miąższość epilimnionów latem 2017 i 2023 roku mieściła się w granicach od około 2 m (Drzędno, Gogolino) do 7 m (Gołuć). Jeziora, w których epilimnion nie przekracza 4 m można by uznać za bradymiktyczne, charakteryzujące się małym zasięgiem mieszania turbulencyjnego, jednak wysoka temperatura wód przydennych jezior Drzędno (16,8-18,4 °C) i Gogolino (7,1-6,0 °C) tego nie potwierdza. Stan taki jest incydentalny, spowodowany radiacyjną i bezwietrzną pogodą. Dość mały zasięg mieszania wiatrowego (do 4 m) stwierdzono też w Jeziorze Mieliste i jeziorze Słupino (4-5 m). Na tej podstawie jeziora te można zaklasyfikować jako eumiktyczne, odznaczające się równowagą pomiędzy czasem trwania faz cyrkulacyjnych i stagnacyjnych. Do grupy tej należy także jezioro Gogolino, którego temperatura wód przydennych wynosiła latem 2017 roku 7,1 °C natomiast latem 2023 roku 6,0 °C. Niższa temperatura wody przydennej świadczy o skracaniu się okresu homotermii wiosennej i stopniowemu przechodzeniu jeziora do grupy jezior bradymiktycznych.

Tabela 2. Podstawowe parametry struktury tlenowej wód badanych jezior

Jezioro	Średnie nasycenie tlenem epilimnionu lato 2017 %	Średnie nasycenie tlenem epilimnionu lato 2023 %	Głębokość stężenia tlenu ~/<1 mg·dm ⁻³ lato 2017 m	Głębokość stężenia tlenu ~/<1 mg·dm ⁻³ Lato 2023 m	Typ tlenowy
Cheb	177,5	161,9	3,0	4,0	klinograda
Drzędno	105,6	105,4	3,0	3,0	klinograda/ortograda
Gogolino	113,1	97,6	4,0	3,0	klinograda
Gołuć (Wdzydze Pn.)	101,0	108,8	8,0	7,0	klinograda
Jelenie (Wdzydze Pn.)	105,2	111,5	7,0	6,0	klinograda
Mieliste	100,1	97,1	7,0	7,0	klinograda
Schodno	109,2	140,7	3,2	2,5	klinograda/ortograda
Słupinko	99,0	134,2	-	2,7	klinograda/ortograda
Słupino	129,0	118,3	6,0	5,0	klinograda
Osty	89,0	159,8	-	-	ortograda

Omawiane jeziora WPK charakteryzują się złymi warunkami tlenowymi. W większości jezior stwierdzono deficyty tlenowe w wodach przydennych lub nawet tuż pod zasięgiem

mieszania wiatrowego. Stężenia tlenu poniżej $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ pojawiają się już na głębokości około 3-4 m w jeziorach Gogolino i Cheb (tabela 2). Potwierdzają to pionowe rozkłady stężeń tlenu, które w wodach większości jezior przyjmują kształt klinogrady (Załącznik 1). Świadczy to o intensywnym rozkładzie materii organicznej zgromadzonej w wodzie i osadach tych jezior. Zużywanie tlenu do rozkładu materii sprawia, że nawet w jeziorach polimiktycznych przy samym dnie występują znaczne ubytki tlenu.

Najgorsze warunki tlenowe stwierdzono w jeziorach Cheb i Gogolino, w których stężenie tlenu spadło poniżej $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ na głębokości około 3-4 m. Dobre natlenienie wód utrzymywało się właściwie jedynie w epilimnionie, poniżej którego następował gwałtowny spadek stężeń. Sytuacja taka wystąpiła na głębokości około 5-6 m w jeziorach Słupino i Jelenie oraz poniżej 7-8 m w jeziorze Gołń.

Nasylenie tlenem wód powierzchniowych może wskazywać na intensywność produkcji pierwotnej. Przy wysokich stężeniach związków biogenicznych, w odpowiedniej temperaturze i obecności światła następuje rozwój biomasy oraz intensywna fotosynteza, której wynikiem są przesycenia tlenowe. Bardzo duże przesycenia tlenowe, od 161,9% do 177,5%, zanotowano podczas sezonów letnich 2017 i 2023 roku w jeziorze Cheb. Latem 2023 roku wysokie wartości odnotowano także w jeziorach: Osty (159,8%), Schodno (140,7%) i Słupinko (134,2%).

Właściwości chemiczne wód jeziornych

Wody jezior WPK charakteryzują się wysokimi stężeniami związków biogenicznych. Zawartość związków fosforu w wodach większości jezior jest wysoka (tabela 3). Występująca wiosną zawartość związków biogenicznych jest punktem wyjściowym do rozpoczęcia sezonu wegetacyjnego, od której zależy intensywność zakwitów. Wyczerpanie puli związków biogenicznych i brak dostawy spowoduje ograniczenie produkcji materii organicznej i poprawę warunków optycznych. Niestety wszystkie badane jeziora należy uznać za zasobne w substancje odżywcze, zwłaszcza w związki fosforu.

Średnie wartości stężenia fosforu całkowitego w wodach powierzchniowych wahały się w 2017 roku od $0,026 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Mieliste) do $0,337 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Cheb). W 2023 roku najniższe stężenia stwierdzono także w Jeziorze Mieliste ($0,032 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), najwyższe dotyczyły oczywiście jeziora Cheb ($0,299 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$).

Wiosenne stężenia fosforu całkowitego w wodzie powierzchniowej badanych jezior wynosiły w 2017 roku od 0,033 mg·dm⁻³ (Drzędno) do 0,114 mg·dm⁻³ (Cheb) i 0,162 mg·dm⁻³ (Gogolino). Wiosną 2023 stężenia były również dość wysokie i wyniosły od 0,018 mg·dm⁻³ (Mieliste) i 0,030 mg·dm⁻³ (Gołuch) do aż 0,257 mg·dm⁻³ w jeziorze Cheb. Różnice pomiędzy stężeniami w poszczególnych latach wynikają z intensywności zasilania zewnętrznego, zasilania wewnętrznego oraz warunków, które panowały w momencie rozpoczęcia okresu wegetacyjnego i podczas wykonywania pomiarów. W czasie homotermii wiosennej 2017 roku nie stwierdzono znaczących różnic pomiędzy wartościami notowanymi w wodach przypowierzchniowych i przydennych (tabela 3). Wiosną 2023 roku stężenia w wodach przydennych były już przeważnie wyższe niż na powierzchni. Świadczy to o uwalnianiu związków fosforu z osadów dennych. Podczas obu sezonów letnich w wodach przydennych stwierdzono przeważnie wyższe stężenia związków fosforu dochodzące nawet do 0,929 mg·dm⁻³ (Cheb) i 1,740 mg·dm⁻³ (Gogolino).

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

Jezioro		Fosfor ogólny			Fosfor ogólny			
		25-26.04	20-22.08	Średnia	06-07	28-30.07	04-05	Średnia
		2017	2017		05.2023	2023	11.2023	
		[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]		[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	
Cheb /Chebdy/	pow	0,114	0,559	0,337	0,257	0,396	0,245	0,299
	dno	0,113	0,929	0,521	0,279	0,442	0,244	0,322
Drzędno	pow	0,033	0,028	0,031	0,036	0,032	0,051	0,040
	dno	0,056	0,032	0,044	0,044	0,035	0,034	0,038
Gogolino	pow	0,162	0,053	0,108	0,109	0,053	0,174	0,112
	dno	0,417	1,740	1,079	0,217	0,930	2,350	1,166
Gołuch (Wdzydze Pn.)	pow	0,052	0,046	0,049	0,030	0,036	0,115	0,060
	dno	0,040	0,335	0,188	0,035	0,269	0,080	0,128
Jelenie (Wdzydze Pn.)	pow	0,040	0,040	0,040	0,036	0,029	0,068	0,044
	dno	0,158	0,456	0,307	0,057	0,449	0,842	0,449
Mieliste	pow	0,046	0,006	0,026	0,018	0,045	0,032	0,032
	dno	0,016	0,112	0,064	0,034	0,027	0,017	0,026
Schodno	pow	0,048	0,097	0,073	0,051	0,080	0,029	0,053
	dno	0,052	0,101	0,077	0,040	0,116	0,020	0,059
Słupinko	pow	0,067	0,102	0,085	0,099	0,061	0,040	0,067
	dno	0,109	0,101	0,105	0,126	0,085	0,043	0,085
Słupino	pow	0,067	0,064	0,066	0,061	0,026	0,158	0,082
	dno	0,240	0,560	0,400	0,303	0,630	0,858	0,597
Osty (Wyrówny- Osty- Bielawy)	pow	0,039	0,063	0,051	0,031	0,100	0,029	0,053

Podczas stratyfikacji letniej stężenia fosforu całkowitego są przeważnie niższe niż w czasie sezonu wiosennego. Jest to wynikiem szczyptywania ich przez rozwijającą się biomasę. Taką sytuację stwierdzono w 2017 roku w jeziorach: Drzędno, Gogolino, Gołun, Mieliste i Słupino. W pozostałych jeziorach nastąpił wzrost stężeń spowodowany prawdopodobnie zwiększoną presją turystyczną. Największy wzrost stwierdzono w jeziorze Cheb, które jest dodatkowo obciążone dopływem zanieczyszczeń z oczyszczalni ścieków, otrzymującej w sezonie letnim znacznie większy ładunek ścieków. Zanotowano wtedy w wodzie tego jeziora stężenie fosforu na poziomie $0,0559 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Wzrost stężeń w sezonie letnim zaobserwowano także w 2023 roku. Zawartość fosforu całkowitego w wodach powierzchniowych wzrosło od $0,257$ do $0,396 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w jeziorze Cheb, od $0,031$ do $0,100 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Ostach, od $0,051$ do $0,080 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Schodnie oraz od $0,018$ do $0,045 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Mielistym oraz od $0,030$ do $0,036 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w jeziorze Gołun.

Podczas pomiarów jesiennych przeprowadzonych w listopadzie 2023 roku nie stwierdzono jeszcze pełnej homotermii jesiennej. Skutkowało to tym, że przy braku wymieszania i natlenienia warstw przydennych w wielu jeziorach występowało intensywne uwalnianie związków biogenicznych z osadów dennych. Stężenia fosforu całkowitego w tym okresie osiągnęło aż $2,350 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w jeziorze Gogolino, $0,858 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Słupinie oraz $0,842 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ w Jeziorze Jelenie.

Stężenia azotu ogólnego w wodach jeziora WPK można uznać za umiarkowane (tabela 4). Średnie stężenia tego pierwiastka w wodach powierzchniowych jezior mieściły się w 2017 roku w zakresie od $0,20 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Jelenie) do $1,25 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Drzędno). Średnie wartości stężeń uzyskane na podstawie pomiarów wykonanych w 2023 roku były wyższe. Najniższą wartością charakteryzuje się jezioro Gołun ($0,50 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$), najwyższą natomiast zanotowano w jeziorze Drzędno ($1,66 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$).

Wiosną 2017 roku w warstwie wód powierzchniowych stężenia mieściły się w granicach od około $0,2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Schodno i Słupinko) do $1,59 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Gogolino). W 2023 roku w czasie sezonu wiosennego stężenia były przeważnie wyższe, wynosząc od $0,56 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Gołun) do $2,24 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Drzędno) i $2,97 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Osty). W obu seriach pomiarów wiosennych wody przydenne charakteryzowały się podobnymi lub wyższymi stężeniami fosforu całkowitego. Zakres zmienności wynosił w 2017 roku od $0,16 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Schodno) do

2,50 mg·dm⁻³ (Gogolino), natomiast w 2023 roku od 0,43 mg dm⁻³ (Gołuć) do 3,40 mg·dm⁻³ (Słupino).

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

Jezioro		Azot ogólny			Azot ogólny		
		25-26.04 2017	20-22.08 2017	Średnia	06-07 05.2023	28-30.07 2023	04-05 11.2023
		[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]	[mg dm ⁻³]
Cheb /Chebdy/	pow	0,70	1,07	0,57	1,03	0,73	0,89
	dno	0,70	1,23	0,65	0,92	0,83	0,89
Drzędno	pow	1,42	1,08	1,25	2,24	1,32	1,42
	dno	1,10	1,39	1,25	2,30	1,54	1,45
Gogolino	pow	1,59	0,66	1,13	1,46	0,78	1,91
	dno	2,50	7,95	5,23	2,42	5,30	9,16
Gołuć (Wdzydze Pn.)	pow	0,43	0,15	0,29	0,56	0,52	0,43
	dno	0,42	0,62	0,52	0,43	0,63	0,46
Jelenie (Wdzydze Pn.)	pow	0,27	0,12	0,20	0,58	0,42	0,38
	dno	1,00	2,49	1,75	0,76	1,70	4,30
Mieliste	pow	0,62	0,09	0,36	0,60	0,56	0,48
	dno	0,68	2,13	1,41	3,00	0,68	0,57
Schodno	pow	0,19	0,35	0,27	0,78	0,57	0,48
	dno	0,16	0,24	0,20	0,74	1,08	0,48
Słupinko	pow	0,20	1,34	0,77	1,34	0,94	0,73
	dno	0,31	1,29	0,80	1,01	1,17	0,63
Słupino	pow	0,57	0,76	0,67	0,70	0,54	1,01
	dno	1,42	2,34	1,88	3,40	2,60	4,03
Osty (Wyrówna- Osty- Bielawy)	pow	0,60	0,63	0,62	2,97	0,71	0,45

Letnie stężenia azotu ogólnego w wodach powierzchniowych jezior wahały się w 2017 roku od 0,09 mg·dm⁻³ (Mieliste) do 1,34 mg·dm⁻³ (Słupinko). W wodach przydennych stężenia były tym razem znacznie wyższe. Najniższe wartości stwierdzono w jeziorze Schodno (0,24 mg·dm⁻³), najwyższe natomiast wystąpiły w jeziorze Gogolino (7,95 mg·dm⁻³). Latem 2023 roku najniższymi stężeniami na powierzchni odznaczało się Jezioro Jelenie (mg·dm⁻³), najwyższymi natomiast jezioro Drzędno (1,32 mg·dm⁻³). Stężenia azotu całkowitego w wodach przydennych w sezonie letnim 2023 wynosiły od 0,63 mg·dm⁻³ (Gołuć) do 5,30 mg·dm⁻³ (Gogolino). W tym

jeziorze podczas pomiarów przeprowadzonych w listopadzie 2023 roku stężenie azotu całkowitego osiągnęło wartość aż 9,16 mg·dm⁻³. Znaczny wzrost stężeń zanotowano także w jeziorach Słupino i Jelenie (odpowiednio: 4,03 mg·dm⁻³ i 4,30 mg·dm⁻³).

Tabela 5. Wybrane parametry fizyczno-chemiczne wody powierzchniowej i przydennej jezior WPK (zakres zmienności: wiosna-lato i wartości średnie) w 2017 i 2023 roku

Jezioro		<i>pH</i> 2017	<i>pH</i> 2023	Barwa 2017	Barwa 2023	<i>TDS</i> 2017	<i>TDS</i> 2023
Cheb	pow.	8,56-9,62 (9,09)	9,22-9,61 (9,42)	10,4-15,3 (12,9)	7,7-9,5 (8,6)	216-186 (201)	218-207 (213)
	dno	8,55-8,04 (8,30)	8,75-9,15 (8,95)	10,1-15,7 (12,9)	7,2-11,1 (9,2)	218-223 (221)	219-231 (225)
Drzędno	pow.	6,64-8,19 (7,32)	6,93-8,27 (7,60)	14,5-20,1 (17,3)	16,3-17,3 (16,7)	22-23 (23)	23-21 (22)
	dno	6,45-7,52 (6,99)	6,83-7,37 (7,10)	14,5-21,6 (18,1)	16,5-17,4 (16,8)	22-22 (22)	27-22 (25)
Gogolino	pow.	8,71-8,81 (8,76)	8,17-9,73 (8,95)	15-15,1 (15,1)	10,1-11,2 (10,8)	151-177 (164)	173-174 (174)
	dno	7,45-6,83 (7,14)	7,05-7,50 (7,28)	15,0-25,8 (20,4)	10,9-11,7 (11,2)	198-262 (230)	202-249 (226)
Gołun	pow.	8,48-8,58 (8,53)	8,26-8,89 (8,58)	9,6-10,0 (9,8)	5,5-5,8 (5,6)	173-195 (184)	186-168 (177)
	dno	8,42-7,54 (7,98)	7,61-8,55 (8,08)	9,7-9,9 (9,8)	5,3-5,8 (5,5)	195-198 (197)	191-202 (197)
Jelenie	pow.	8,59-8,66 (8,63)	8,32-8,96 (8,64)	8,7-8,8 (8,8)	5,2-5,9 (5,5)	170-193 (182)	187-168 (178)
	dno	7,36-7,55 (7,46)	7,17-8,12 (7,65)	9,5-10,5 (10,0)	5,7-7,6 (6,5)	201-224 (213)	194-219 (207)
Mieliste	pow.	7,83-8,42 (8,13)	7,88-9,05 (8,47)	6,1-6,3 (6,2)	4,2-4,9 (4,6)	120-130 (125)	136-122 (129)
	dno	7,69-7,87 (7,78)	7,21-7,93 (7,57)	6,1-6,5 (6,3)	4,8-5,7 (5,1)	132-147 (140)	143-174 (159)
Schodno	pow.	8,54-8,73 (8,64)	8,23-9,10 (8,67)	16,4-21,4 (18,9)	8,6-10,2 (9,3)	195-199 (197)	200-179 (190)
	dno	7,81-8,72 (8,27)	7,67-9,07 (8,37)	15,4-21,4 (18,4)	8,4-11,5 (9,7)	199-203 (201)	200-194 (197)
Słupinko	pow.	8,55-8,93 (8,74)	8,32-9,40 (8,86)	9,7-11,0 (10,4)	7,0-7,5 (7,2)	158-168 (163)	160-140 (150)
	dno	8,18-8,92 (8,55)	8,86-9,30 (9,08)	9,3-10,0 (9,7)	7,6-8,6 (7,8)	161-168 (165)	160-148 (155)
Słupino	pow.	8,91-9,11 (9,01)	8,16-9,31 (8,74)	10,5-12,0 (11,3)	5,4-7,4 (6,3)	154-185 (170)	160-146 (153)
	dno	7,32-7,72 (7,52)	7,25-7,87 (7,56)	10,6-10,7 (10,7)	6,0-7,5 (6,8)	197-215 (206)	198-217 (208)
Osty	pow.	7,87-8,49 (8,18)	8,88-9,15 (9,02)	11,5-18,5 (15,0)	7,8-13,2 (10,3)	189-196 (193)	182-131 (157)

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

Na podstawie składu jonowego zaklasyfikowano wody omawianych jezior do typu wodorowęglanowo-wapniowego, który jest najbardziej charakterystyczny dla jezior umiarkowanej strefy klimatycznej. Średnie wartości ogólnej mineralizacji wód powierzchniowych większości jezior wahały się w 2017 roku się od $125 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Mieliste) do $201 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Cheb). Jedynie w jeziorze Drzędno średnia suma jonów wynosiła zaledwie $23 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tabela 5). Świadczy to o wyraźnej przewadze zasilania tego jeziora wodami opadowymi. W 2023 roku wartości średnie tego parametru kształtowały się bardzo podobnie. Najniższe wartości odnotowano w Drzędnie ($22 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) oraz w Jeziorze Mieliste ($129 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), najwyższe ponownie w jeziorze Cheb ($2013 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Porównując średnie wartości ogólnej mineralizacji wody uzyskane podczas pomiarów w 2017 i 2023 roku nie widać znaczących różnic (tabela 5). Zestawiając jednak ze sobą wartości sezonowe można zauważyć, że mineralizacja wody wiosną 2023 roku jest wyższa niż wiosną 2017 roku, natomiast wartości letnie wykazują przeważnie tendencję odwrotną. Wyższe wartości wiosną świadczą o stopniowym wzroście mineralizacji wody, prawdopodobnie na skutek dopływu materii ze zlewni, zasilania wewnętrznego i ogólnego wzrostu żyzności wód jezior. Większe ubytki latem są wynikiem absorpcji jonów przez rozwijającą się biomasę.

Na wzrost żyzności wód jezior wskazują także rosnące wartości odczynu pH wód powierzchniowych. Zakres zmienności średniego pH w 2017 roku wynosił od 7,32 (Drzędno) do 9,09 (Cheb). W 2023 roku średnie wartości pH były już wyższe, mieszcząc się w granicach od 7,60 (Drzędno) do 9,42 (Cheb).

Odczyn wód powierzchniowych większości jezior wynosi ponad 8,5 w związku z tym zaliczają się one do grupy jezior alkalicznych i silnie alkalicznych (tabela 5). W badanej grupie jezior jedynie wody jeziora Drzędno można zaliczyć do alkalicznych (pH 7,5 – 8,5).

Barwa wody wynika z obecności rozmaitych substancji rozpuszczonych w wodzie (barwa rzeczywista) lub znajdujących się w niej zawiesin (barwa pozorna). W jeziorach głównymi czynnikami wpływającymi na barwę są np. glony i inne mikroskopijne organizmy roślinne, odpowiedzialne za barwę zieloną. Rdzawy kolor wody może być wynikiem znajdujących się w wodzie związków żelaza, natomiast dopływ substancji humusowych powoduje pojawienie się barwy brunatnej lub pomarańczowej. Niskie wartości rzeczywistej barwy wody omawianych jezior wskazują, że są one w małym stopniu zasilane substancjami

humusowymi i przebiega z nich głównie proces harmonijnej sukcesji limnologicznej w kierunku coraz bardziej zaawansowanej eutrofizacji.

Warunki zasilania jezior

Pod względem typologii hydrologicznej omawiane jeziora WPK to jeziora bezodpływowe i przepływowe (tabela 6). Jeziora bezodpływowe (Drzędno, Gogolin, Mieliste), 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 zaliczone zostały zbiorniki o współczynniku wymiany wody większym od 5. Są to jeziora: Cheb, Schodno i Słupinko (tabela 6). Największa aktywność hydrologiczna cechuje jezioro Schodno, w którym całkowita wymiana wody następuje przeciętnie raz na 12 dni. W jeziorze Cheb wymiana wody zachodzi co dwa miesiące, a w jeziorze Słupinko co 40 dni.

Przeciętny typ aktywności hydrologicznej stwierdzono z kolei w jeziorach: Gołuć, Jelenie (Wdzydze Pn.) oraz w jeziorze Słupino, w których to zbiornikach całkowita teoretyczna wymiana wody zachodzi raz na trzy lub osiem miesięcy. Szczególny przypadek małej aktywności hydrologicznej charakteryzuje cały zespół jezior przepływowych Wyrównno-Osty-Bielawy. Czas retencji wody w zespole tych trzech jezior szacowany jest na dwa lata. Wydzielając sztucznie z tego zespołu jezioro Osty, jego aktywność hydrologiczną można uznać za przeciętną. Szacunkowy teoretyczny czas wymiany wody liczony tylko dla tego jeziora wynosi około siedem miesięcy.

Tabela 6. Charakterystyka hydrologiczna omawianych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Jezioro	Typ hydrologiczny	Czas retencji	Wymiana wody	Typ aktywności hydrologicznej
		[rok]	[rok ⁻¹]	
Cheb	przepływowe	0,163	6,126	aktywny
Drzędno	bezodpływowe	–	0,000	pasywny
Gogolino	bezodpływowe	–	0,000	pasywny
Gołuć (Wdzydze Pn.)	przepływowe	0,328	3,060	przeciętny
Jelenie (Wdzydze Pn.)	przepływowe	0,328	3,060	przeciętny
Mieliste	bezodpływowe	–	0,000	pasywny
Schodno	przepływowe	0,033	32,26	aktywny
Słupinko	przepływowe	0,115	8,668	aktywny
Słupino	przepływowe	0,647	1,545	przeciętny
Osty	przepływowe	<u>0,588</u>	<u>1,701</u>	przeciętny
Zespół Wyrównno-Osty-Bielawy	przepływowe	2,353	0,425	pasywny

Właściwości optyczne jezior

Omawiane jeziora Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego charakteryzują się typową dla silnie zeutrofizowanych zbiorników małą przezroczystością wody. Średnia widzialność krążka Secchego omawianych jezior (średnia ze wszystkich pomiarów w 2017 i 2023 roku) wynosi zaledwie 1,48 m. Zakres zmienności średnich wartości przezroczystości większości jezior wynosi od 0,7 m w jeziorze Słupinko do 2,0 m w jeziorze Gołuń. Wyjątkiem jest jedynie Mieliste, w którym średnia widzialność krążka osiągnęła aż 3,6 m (tabela 7).

Tabela 7. Widzialność krążka Secchiego jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Jezioro	Głębokość Secchiego (SD)					Średnia
	25-26 04.2017	20-22 08.2017	06-07 05.2023	28-30 07.2023	04-05 11.2023	
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
Cheb	1,9	0,6	0,7	0,5	0,9	0,9
Drzędno	1,5	1,0	1,4	1,0	1,5	1,3
Gogolino	1,0	1,3	0,9	1,4	2,0	1,3
Gołuń (Wdzydze Pn.)	1,6	2,2	2,4	1,7	1,9	2,0
Jelenie (Wdzydze Pn.)	1,5	1,6	2,2	1,7	1,5	1,7
Mieliste	3,6	3,5	3,3	3,1	4,5	3,6
Schodno	1,2	1,2	0,9	0,9	2,1	1,3
Słupinko	1,1	0,6	0,6	0,5	0,8	0,7
Słupino	1,4	0,9	1,3	0,8	1,7	1,2
Osty (Wyrównno-Osty- Bielawy)	1,0	0,6	0,9	0,6	0,7	0,8

W 2017 roku przezroczystość wody badanych jezior mieściła się w zakresie od 0,6 (Cheb, Słupinko, Osty) do 3,6 m (Jezioro Mieliste). Średnia przezroczystość wody w tym okresie wyniosła 1,5 m, a wartość mediany niecałe 1,3 m. W czasie pomiarów w 2023 roku stwierdzono pogorszenie warunków optycznych. Średnia wartość z sezonów wiosennego i letniego 2023 roku wyniosła już tylko 1,34 m a mediana 1,10 m. Świadczy to o wzroście mętności wody oraz postępującej eutrofizacji.

Konsekwencją małej przezroczystości wody są bardzo płytkie zasięgi strefy świetlnej (tabela 8). W 2017 r. i 2023 r. najrozleglejsze strefy świetlne stwierdzono w jeziorach: Gołuń, Jelenie i Mieliste. W 2017 roku w tych wszystkich jeziorach strefy świetlne przekraczały 5 m, osiągając maksymalną wartość w jeziorze Mieliste (7,9 m). W 2023 roku zasięg strefy świetlnej w Jeziorze Jelenie był podobny, jednak w jeziorze Gołuń zmniejszył się z 5,9 m do 5,1 m natomiast w Jeziorze Mieliste z 7,9 m do 7,3 m.

Tabela 8. Zasięg strefy świetlnej jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Jezioro	Zasięg strefy świetlnej (z_{eu}) lato 2017	Zasięg strefy świetlnej (z_{eu}) lato 2023	Zmiana zasięgu strefy świetlnej (z_{eu}) w sezonach letnich 2017-2023
	[m]	[m]	[m]
Cheb	1,2	1,1	-0,1
Drzędno	2,3	2,3	0,0
Gogolino	2,5	2,7	0,2
Gołuć (Wdzydze Pn.)	5,9	5,1	-0,8
Jelenie (Wdzydze Pn.)	5,0	5,1	0,1
Mieliste	7,9	7,3	-0,6
Schodno	1,8	1,6	-0,2
Słupinko	1,3	1,2	-0,1
Słupino	2,0	1,9	-0,1
Osty (Wyrównno-Osty- Bielawy)	0,6	0,6	0,0

Najmniejszy zasięg strefy świetlnej stwierdzono w jeziorze Osty (0,6 m). W przypadku tego bardzo płytkiego jeziora warunki przenikania światła są zdeterminowane dużymi stężeniami barwnej rozpuszczonej materii organicznej (CDOM) i płytkim zaleganiem uwodnionych osadów dennych. W pozostałych jeziorach rozległość strefy świetlnej wahała się w 2017 roku od 1,2 m (Cheb) do 2,5 m (Gogolino). W 2023 roku także w tych jeziorach stwierdzono ograniczenie głębokości, do której dociera promieniowanie słoneczne, przeważnie o około 0,1 m. Niewielki wzrost zasięgu strefy świetlnej wystąpił w Jeziorze Jelenie (o 0,1 m) oraz jeziorze Gogolino (o 0,2 m).

Stan troficzny i ekologiczny jezior

Wielkość produkcji pierwotnej w jeziorach jest związana ze stanem zaawansowania trofii jeziora, który można określić na podstawie wybranych cech środowiska wodnego: stężenia fosforu całkowitego, stężenia chlorofilu a , widzialności krążka Secchiego i dodatkowo stężenia azotu całkowitego (Carlson 1977, Kratzer i Brezonik 1981).

Na podstawie wyników badań wykonanych w 2017 i 2023 roku można stwierdzić, że wartości ogólne indeksu TSI jezior wskazują na wysoki poziom zaawansowania sukcesji limnologicznej (tabela 9 i tabela 10). Wartość TSI równa 50 uznawana jest za graniczną pomiędzy stadium mezotrofii i eutrofii. Większość omawianych jezior WPK to jeziora eutroficzne.

Tabela 9. Stan troficzny jezior WPK (sierpień 2017)

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>			
Cheb	79,8	95,4	67,4	80,9	hipertrofia	55,4	2
Drzędno	65,0	52,2	60,0	59,1	eutrofia	55,6	39
Gogolino	66,5	61,4	56,2	61,4	eutrofia	48,5	12
Gołuć (Wdzydze Pn.)	61,6	59,4	48,6	56,5	eutrofia	27,1	3
Jelenie (Wdzydze Pn.)	58,2	57,4	53,2	56,2	eutrofia	23,9	3
Mieliste	45,1	30,0	41,9	39,0	mezotrofia	19,7	15
Schodno	72,5	70,1	57,4	66,7	eutrofia	39,3	4
Słupinko	63,5	70,9	67,4	67,2	eutrofia	58,7	13
Słupino	69,5	64,2	61,5	65,1	eutrofia	50,5	12
Osty (Wyrównno-Osty-Bielawy)	49,6	63,9	67,4	60,3	eutrofia	47,8	10

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 2023)

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>			
Cheb	64,1	90,4	70,0	74,8	hipertrofia	49,9	2
Drzędno	53,4	54,2	60,0	55,9	eutrofia	58,5	41
Gogolino	57,8	61,4	55,1	58,1	eutrofia	50,9	15
Gołuć (Wdzydze Pn.)	47,1	55,8	52,3	51,8	eutrofia	45,0	14
Jelenie (Wdzydze Pn.)	49,6	52,7	52,3	51,6	eutrofia	41,9	14
Mieliste	43,5	59,1	43,7	48,8	mezotrofia	46,1	12
Schodno	62,4	67,4	60,3	63,3	eutrofia	46,3	7
Słupinko	58,9	63,5	70,0	64,1	eutrofia	53,6	15
Słupino	55,2	51,2	63,2	56,5	eutrofia	45,6	21
Osty (Wyrównno-Osty-Bielawy)	40,1	70,6	67,4	59,4	eutrofia	49,5	7

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

TSI ogólne ośmiu jezior, obliczone na podstawie badań z 2017 roku, mieściło się w zakresie od 56,2 (Jelenie) i 56,5 (Gołuć) do 67,2 (Słupinko) wskazując na eutroficzny

charakter wód jezior. Badania wykonane w 2023 roku potwierdzają eutroficzny charakter jezior, jednak porównując uzyskane wyniki można zauważyć, że średnie TSI z 2023 roku są nieznacznie niższe od tych z 2017 roku. Zakres zmienności w grupie jezior eutroficznych wynosił od 52,3 (Jelenie, Gołuń) do 64,1 (Słupinko). Różnice w wartościach TSI wynikają z panującej sytuacji hydrometeorologicznej, zaawansowania okresu wegetacyjnego i intensywności mieszania, panujących przed i w czasie pobierania próbek.

Początkowe stadium eutrofii stwierdzono w jeziorach: Jelenie, Gołuń i Drzędno. Dość dobre warunki troficzne, z wartościami średniego indeksu TSI około 59-60, występują też w jeziorze Osty. Natomiast parametry zanotowane w jeziorach: Słupinko, Schodno i Słupino zaczynają już zbliżać się do poziomu hipertrofii.

Jeziora Mieliste i Cheb wyróżniają się wyraźnie na tle omawianej grupy jezior. Mimo wyraźnego wzrostu wartości TSI, najlepsze warunki, charakterystyczne dla poziomu mezotrofii, stwierdzono w Jeziorze Mieliste (w 2017 roku TSI średnie = 39, w 2023 roku TSI średnie = 48,8). Najwyższą wartość wskaźnika TSI (w 2017 roku TSI średnie = 80,9, w 2023 roku TSI średnie 74,8) stwierdzono natomiast w jeziorze Cheb. Wskaźnik TSI powyżej 70 wskazuje na stan hipertrofii i degradacji jeziora.

Zależności i proporcje pomiędzy wartościami TSI dla stężeń fosforu, zawartości chlorofilu *a* i widzialności krążka Secchiego określają warunki funkcjonowania ekosystemu jeziornego limitujące produkcję pierwotną i wpływające na wartości mierzonych parametrów. Analiza poszczególnych wartości indeksów TSI pozwala określić, który z nich ma największy wpływ na obecny poziom trofii i ewentualny wzrost tempa sukcesji limnologicznej. Główną przyczyną wysokich wartości ogólnego TSI w 2017 roku, w przypadku większości jezior, były bardzo wysokie stężenia chlorofilu *a*. W jeziorach: Cheb i Słupinko głównym czynnikiem podwyższającym stan troficzny była wtedy nadmierna ilość znajdującego się w wodzie fosforu. W 2023 roku stężenia chlorofilu *a* nie były aż tak wysokie jak w 2017 i w siedmiu przypadkach stężenie fosforu było najważniejszym elementem wpływającym na wysoką wartość TSI. W jeziorach Drzędno, Słupinko i Słupino była to widzialność krążka Secchiego.

Występujące w wodzie stężenia fosforu całkowitego umożliwiają intensywną produkcję biomasy i przyspieszenie tempa eutrofizacji. Presja zlewni, z występującymi punktowymi i obszarowymi emitarami związków biogenicznych oraz zasilanie wewnętrzne na skutek uwalniania soli biogenicznych, zgromadzonych wcześniej w osadach dennych,

powodują zanieczyszczenie wód powierzchniowych. To z kolei wpływa na stężenie chlorofilu *a*, dlatego w jeziorach, w których związki fosforu i azotu występują obficie, stwierdzono też występowanie dużej ilości fitoplanktonu.

W 2017 roku, pod względem indeksu TSI obliczonego dla widzialności krążka Secchiego, omawiane jeziora wypadły nieco lepiej. W tym czasie, biorąc pod uwagę tylko ten wskaźnik, oprócz Jeziora Mieliste, jako mezotroficzne można było zaklasyfikować także jeziora Gołuń i Jelenie. W 2023 roku parametry optyczne jezior były już jednak znacznie gorsze.

W omawianych jeziorach wartości wskaźnika TSI uzyskane na podstawie stężeń azotu ogólnego w wodzie jezior były dość niskie. Wynika to prawdopodobnie ze zużycia zasobów przez rozwijającą się bardzo intensywnie biomasę. Na podstawie stosunku stężeń azotu ogólnego do fosforu ogólnego, można określić który z tych pierwiastków limituje produkcję pierwotną w jeziorze. W 2017 roku najniższe wartości ($TN:TP < 10$), zanotowano w jeziorach: Cheb, Gołuń, Jelenie i Schodno. Wskazują one na limitację rozwoju biomasy obecnością azotu. Rozwój biomasy warunkowany obecnością zarówno fosforu jak i azotu stwierdzono natomiast w jeziorach: Gogolino, Mieliste, Słupinko i Słupino. Jedynie, stwierdzone w jeziorze Drzędno wartości powyżej 20 wskazują na limitację rozwoju biomasy fosforem. W 2023 roku produkcja pierwotna w jeziorach Gołuń i Jelenie mogła być już jednak limitowana przez stężenia obu związków biogenicznych, natomiast jezioro Słupino, wraz z jeziorem Drzedno, obecnością fosforu.

Tabela 11. Ocena stanu troficznego jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego na podstawie kryterium hydrooptycznego (Borowiak 2011)

Jezioro	Zakres współczynnika $K_{d,PAR}$	Współczynnik $K_{d,PAR}$ 2017	Współczynnik $K_{d,PAR}$ 2023	Typ troficzny
Cheb /Chebdy/	> 2.5	3,716	3,824	hypertrofia
Drzędno	1.51-2.50	2,030	1,963	hypertrofia
Gogolino	1.51-2.50	1,812	1,704	hypertrofia
Gołuń (<i>Wdzydze Pn.</i>)	0.71-1.50	0,786	0,674	eutrofia
Jelenie (<i>Wdzydze Pn.</i>)	0.71-1.50	0,930	0,861	eutrofia
Mieliste	0.36-0.70	0,582	0,687	mezotrofia
Schodno	0.71- 2.5	2,524	2,436	hypertrofia
Słupinko	> 2.5	3,529	3,624	hypertrofia
Słupino	1.51-2.50	2,267	2,312	hypertrofia
Osty (<i>Wyrównno-Osty- Bielawy</i>)	> 2.5	6,155	6,164	hypertrofia

Silny związek statystyczny pomiędzy współczynnikiem osłabiania promieniowania słonecznego ($K_{d,PAR}$) a stężeniem zawiesiny fitoplanktonowej pozwala traktować wartości współczynników jako hydrooptyczną miarę stanu troficznego zbiorników. Wyniki współczynników osłabiania światła z letnich serii pomiarowych w 2017 i 2023 r. wskazują na bardzo silne zeutrofizowanie badanych jezior (tabela 11). Według kryterium hydrooptycznego są to głównie zbiorniki hypertroficzne. Za eutroficzne uznane mogą być jeziora Gołuć i Jelenie, a za mezotroficzne tylko Jezioro Mieliste.

Ocena jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego pod względem stanu ekologicznego, dokonana na podstawie wspierających elementy biologiczne parametrów fizyczno-chemicznych, wskazuje na stan poniżej dobrego. W każdym z sezonów pomiarowych parametrami decydującymi o niezadowalającym stanie ekologicznym badanych jezior są mała przezroczystość wody, złe warunki tlenowe oraz podwyższone stężenia fosforu ogólnego (Tabele 12-14).

Tabela 12. Ocena stanu ekologicznego stratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2017 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Gogolino		Gołuć		Jelenie		Mieliste		Słupino	
	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	1.2	>II	1.9	II	1.6	>II	3.6	I	1.2	>II
Nasycenie hypol. O ₂ [%]	1.1	>II	1.9	>II	0.2	>II	2.9	>II	0.5	>II
CON 25°C [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	253	I	283	I	280	I	193	I	261	I
TN [mg dm^{-3}]	1.13	I-II	0.29	I-II	0.20	I-II	0.36	I-II	0.67	I-II
TP [mg dm^{-3}]	0.11	>II	0.05	II	0.04	I	0.03	I	0.07	II
Stan jeziora	słaby/zły		dobry/umiark.		umiarkowany		dobry/umiark.		umiarkowany	
Typ abiotyczny	2A		3A		3A		2A		3A	

Tabela 13. Ocena stanu ekologicznego niestratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2017 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Cheb		Drzędno		Schodno		Słupinko		Osty	
	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	1.3	II	1.3	>II	1.2	II	0.9	>II	0.8	>II
Tlen rozp. [mg dm^{-3}]	0.21	>II	0.35	>II	0.66	>II	1.97	>II	8.02	I-II
CON 25°C [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	309	I	35	I	303	I	252	I	295	I
TN [mg dm^{-3}]	0.89	I-II	1.25	I-II	0.27	I-II	0.77	I-II	0.62	I-II
TP [mg dm^{-3}]	0.34	>II	0.03	II	0.07	II	0.09	II	0.05	I
Stan jeziora	umiarkowany		umiarkowany		dobry/umiark.		umiarkowany		dobry/umiark.	
Typ abiotyczny	3B		1B		3B		3B		3B	

Tabela 14. Ocena stanu ekologicznego stratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2023 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Gogolino		Gołuń		Jelenie		Mieliste		Słupino	
	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	1,2	>II	2,1	II	2,0	II	3,2	I	1,1	II
Nasycenie hypol. O ₂ [%]	1,9	>II	1,7	>II	1,6	>II	3,6	>II	1,5	>II
CON 25°C [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	268	I	272	I	274	I	199	I	235	I
TN [mg dm^{-3}]	1,38	I-II	0,50	I-II	0,46	I-II	0,55	I-II	0,75	I-II
TP [mg dm^{-3}]	0,11	>II	0,06	II	0,04	I	0,03	I	0,08	II
Stan jeziora	słaby/zły		dobry/umiark.		umiarkowany		dobry/umiark.		umiarkowany	
Typ abiotyczny	2A		3A		3A		2A		3A	

Tabela 15. Ocena stanu ekologicznego niestratyfikowanych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego za rok 2023 dokonana na podstawie parametrów fizykochemicznych (wspierających)

Parametr	Cheb		Drzędno		Schodno		Słupinko		Osty	
	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa
Widzialność [m]	0,6	>II	1,2	>II	0,9	>II	0,6	>II	0,8	>II
Tlen rozp. [mg dm^{-3}]	0,56	>II	0,73	>II	0,99	>II	1,86	>II	9,56	I-II
CON 25°C [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	327	I	33	I	292	I	232	I	232	I
TN [mg dm^{-3}]	0,88	I-II	1,66	I-II	0,61	I-II	1,00	I-II	1,38	I-II
TP [mg dm^{-3}]	0,30	>II	0,04	II	0,05	II	0,07	II	0,05	I
Stan jeziora	umiarkowany		umiarkowany		dobry/umiark.		umiarkowany		dobry/umiark.	
Typ abiotyczny	3B		1B		3B		3B		3B	

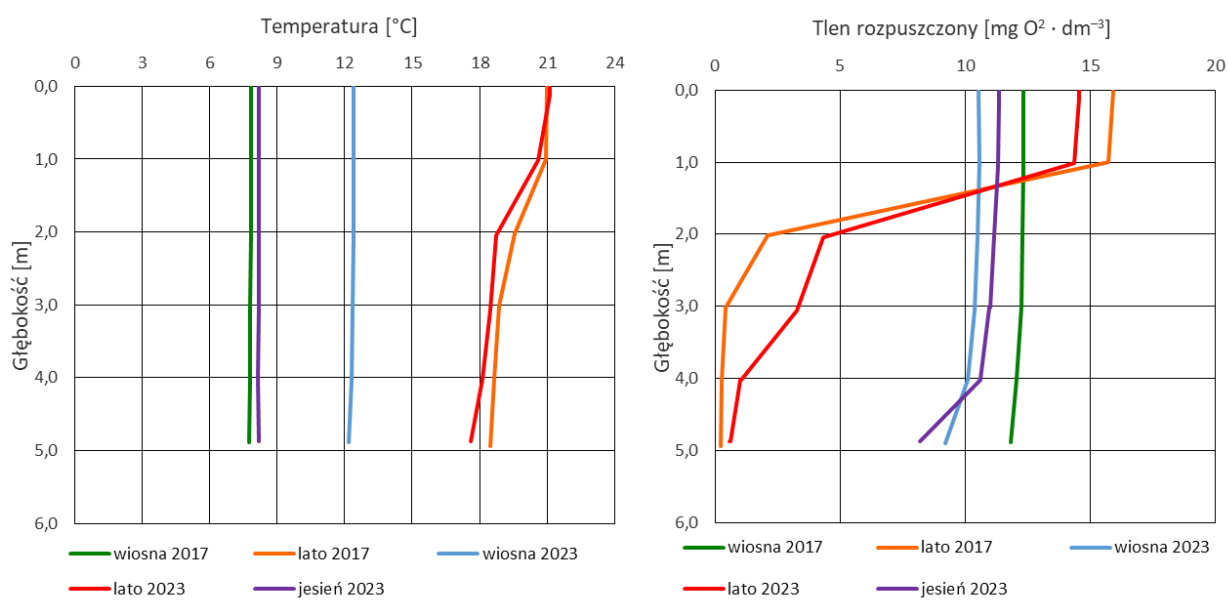
Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., 2002, Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych, Wydaw. WGiSR UW, Warszawa, 274 s.
- Borowiak D., 2011, Właściwości optyczne wód jeziornych pomorza, Wydaw. UG, Gdańsk 275 s.
- Carlson R.F., 1977, A trophic index for lakes, limnol. Oceanogr. 22(2): 361-369.
- Czaja K., 2018, Zmiany powierzchni jezior w zlewniach Raduni, Wierzycy i Wdy od końca XIX wieku, *Praca doktorska wykonana pod kierunkiem prof. nadzw. dr hab. Joanny Fac-Benedy, Katedra Hydrologii Uniwersytet Gdański, Gdańsk 330 s.*
- 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.

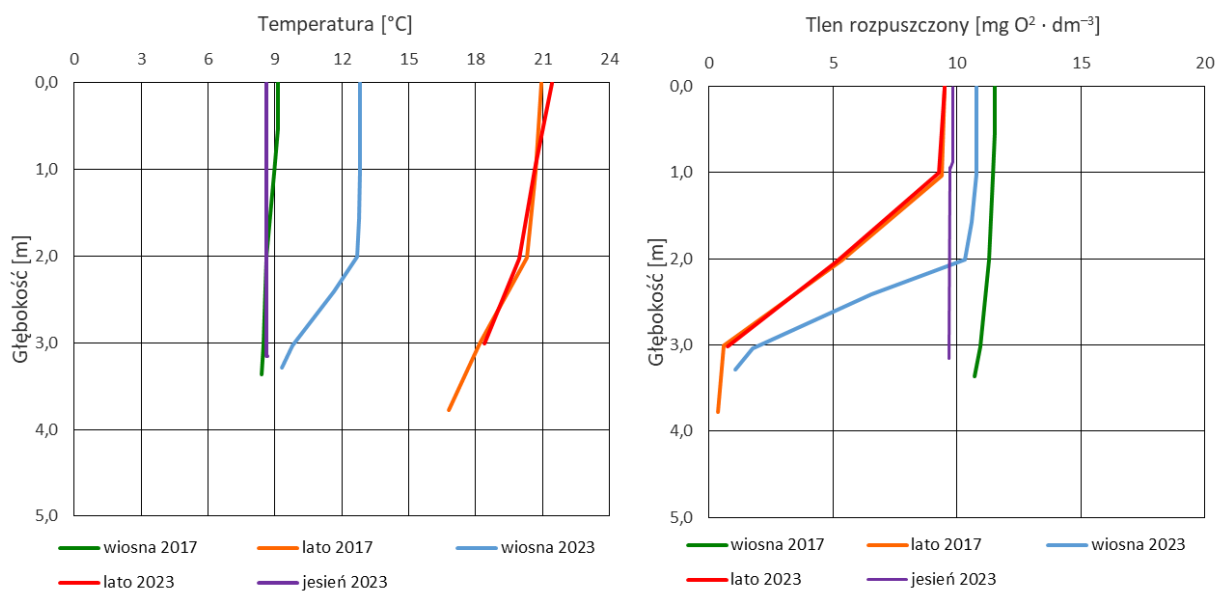
Załącznik 1

Pionowe rozkłady temperatury i stężenia tlenu wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego w 2017 i 2023 roku

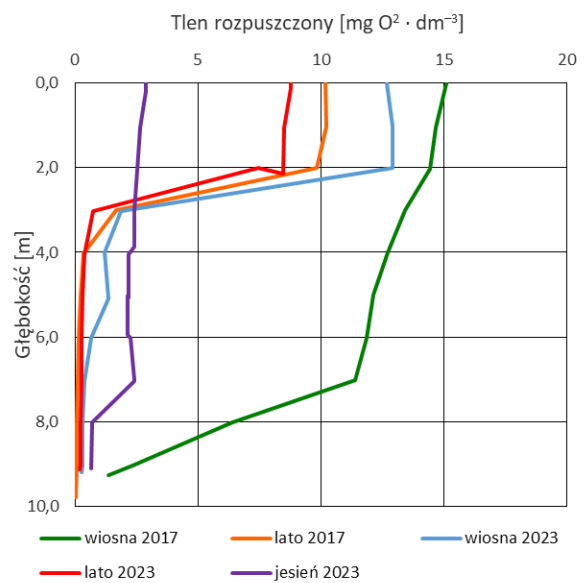
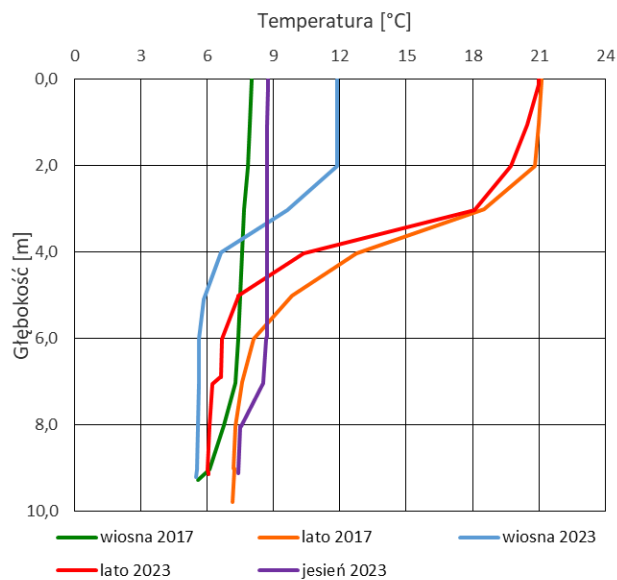
Jezioro Cheb



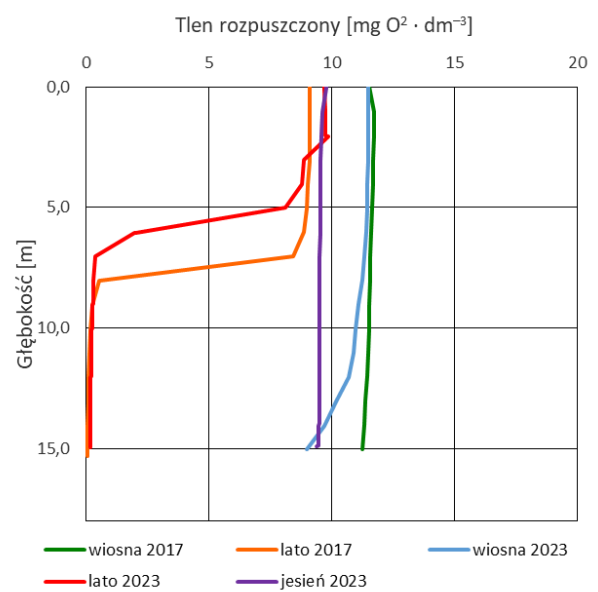
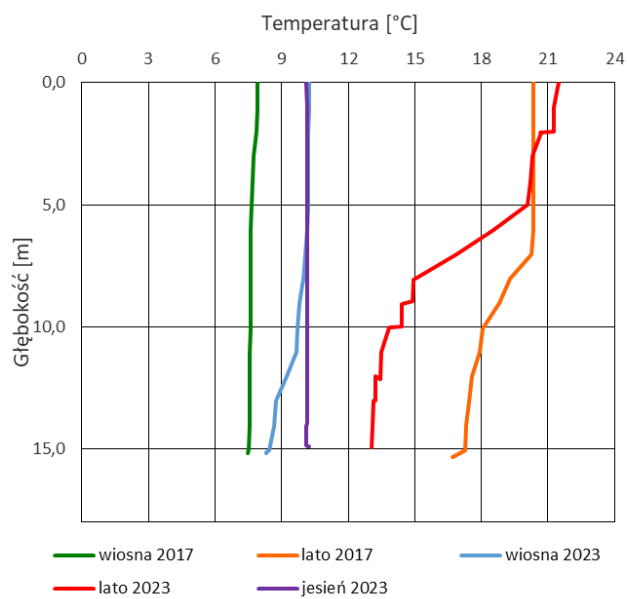
Jezioro Drzędno



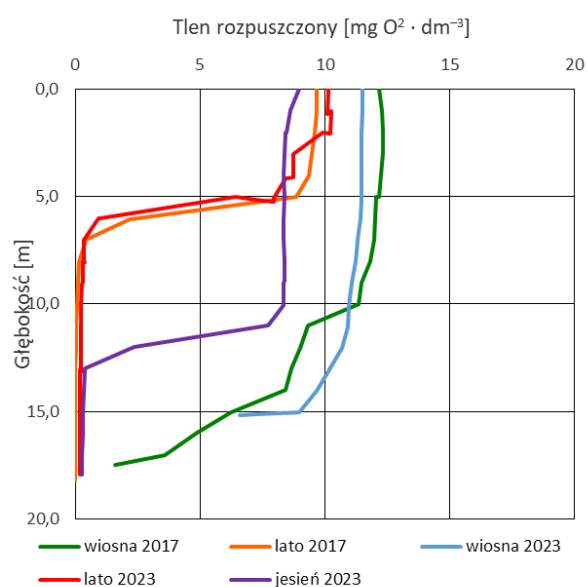
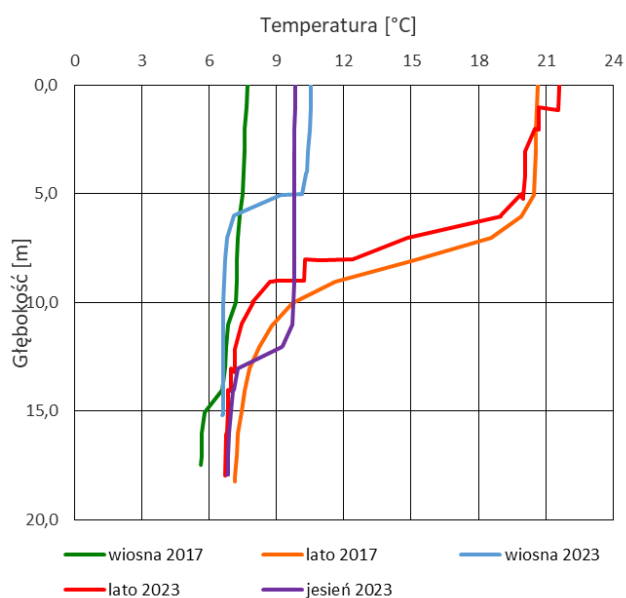
Jezioro Gogolino



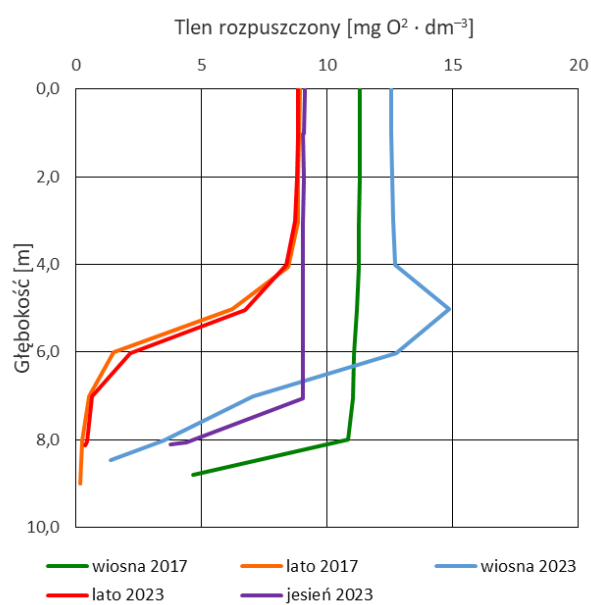
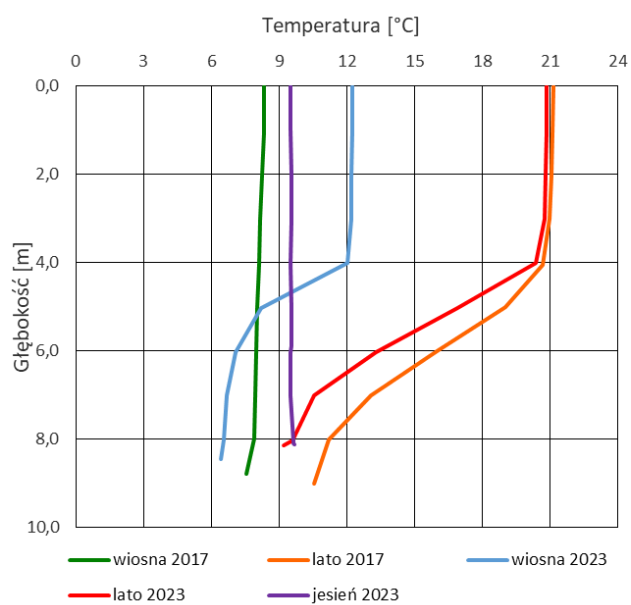
Jezioro Gołun



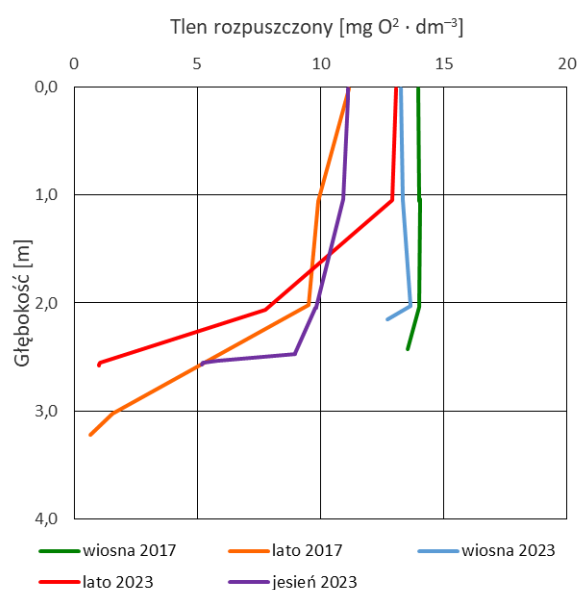
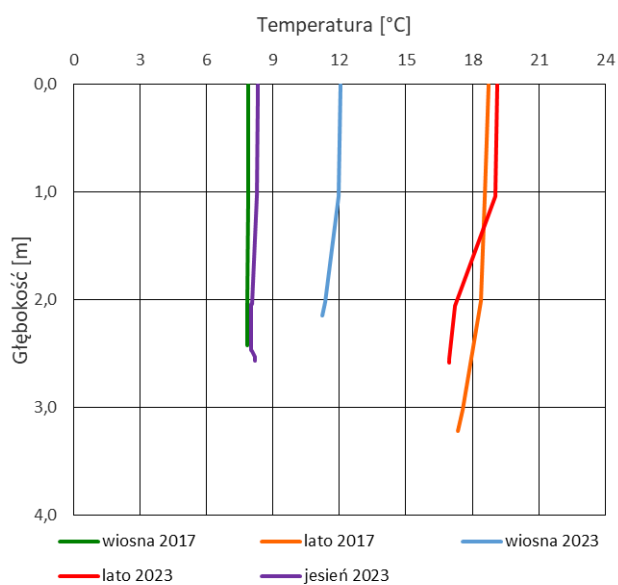
Jezioro Jelenie



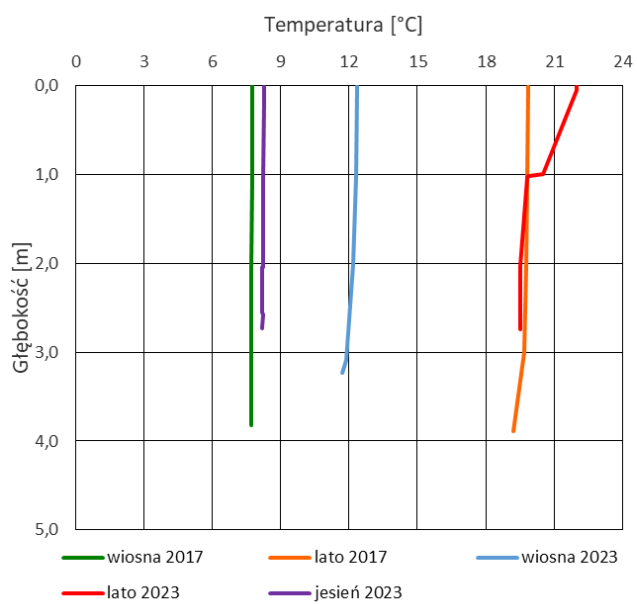
Jezioro Mieliste



Jezioro Schodno



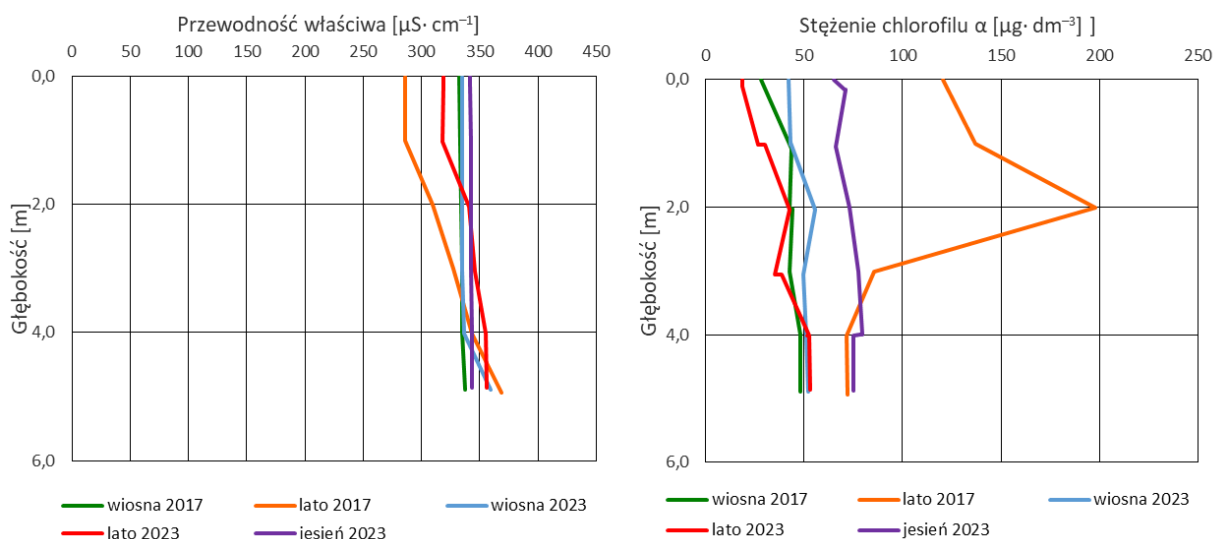
Jezioro Słupinko



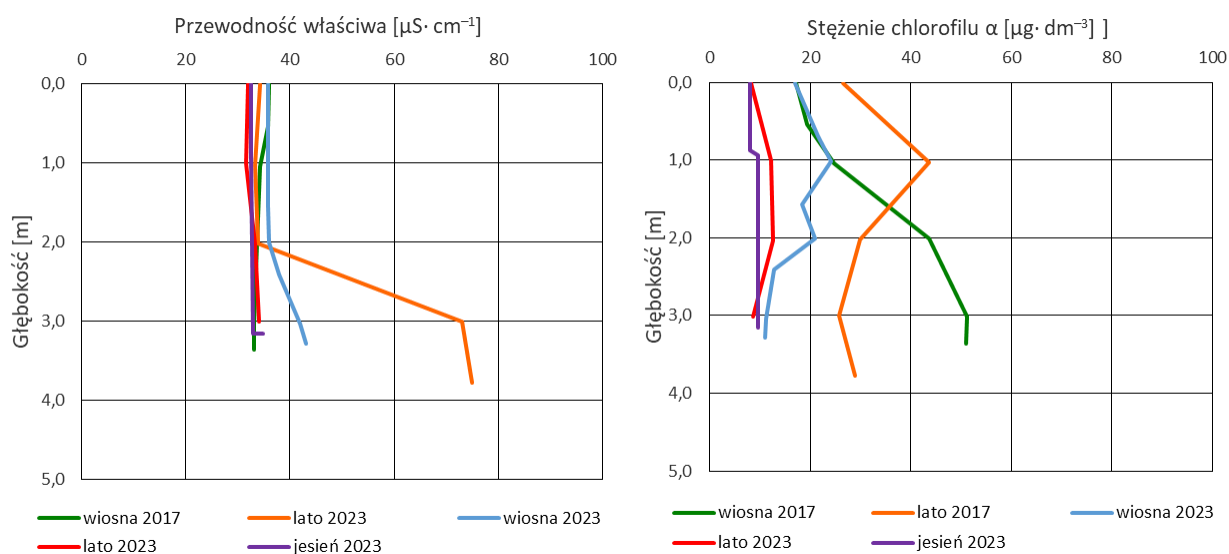
Załącznik 2

Pionowe rozkłady przewodności właściwej i stężenia chlorofilu α wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego w 2017 i 2023 roku

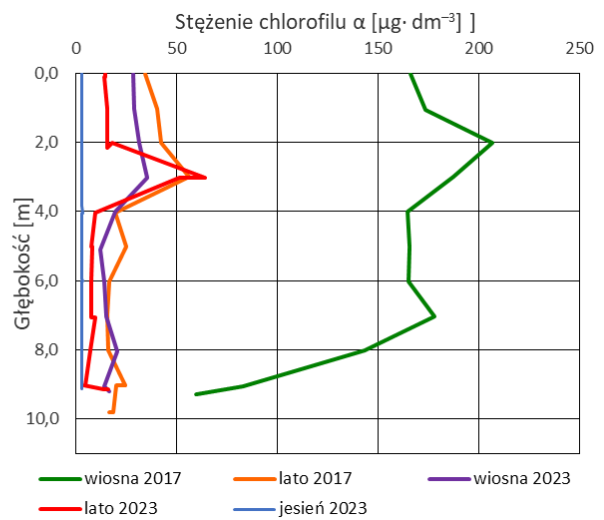
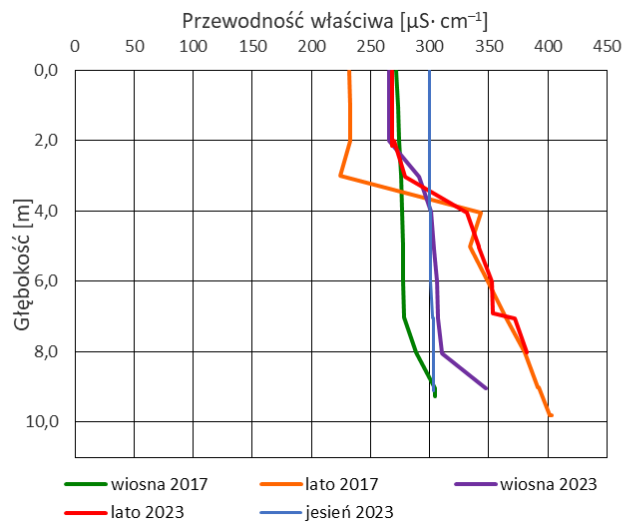
Jezioro Cheb



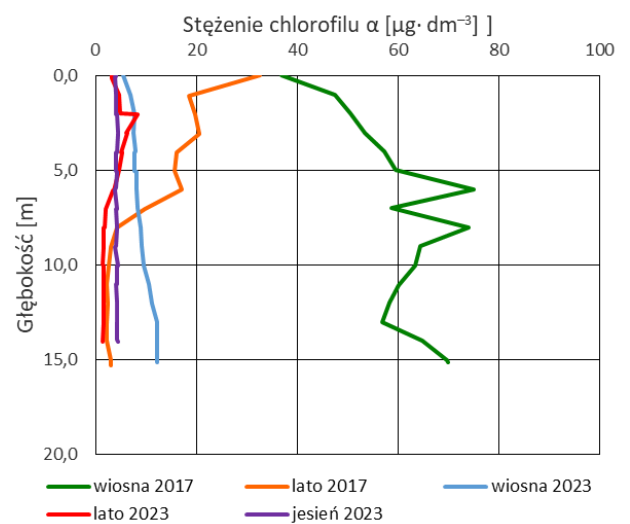
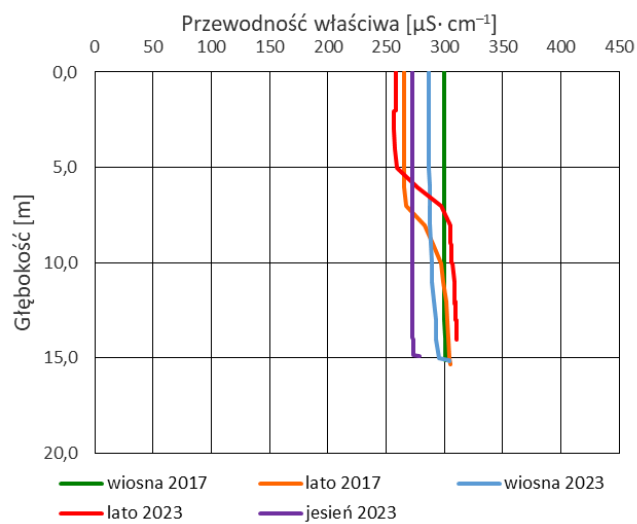
Jezioro Drzędno



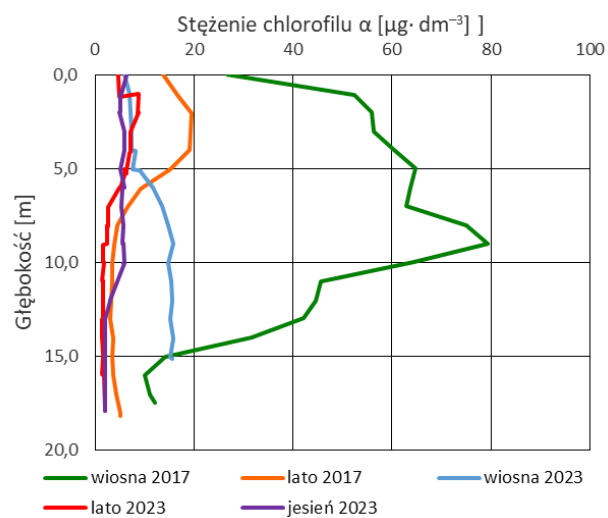
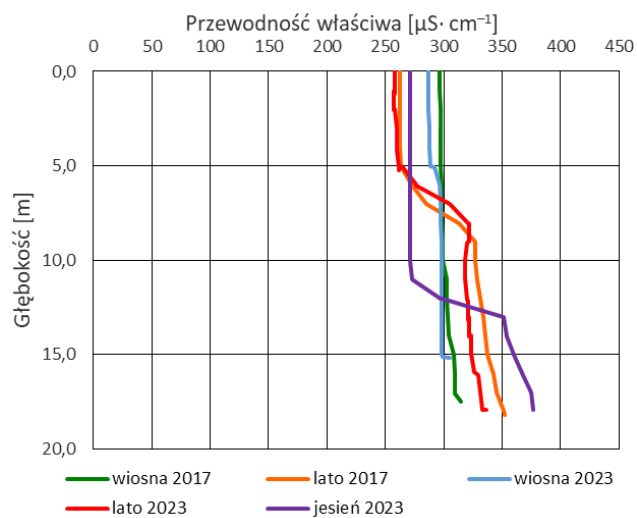
Jezioro Gogolino



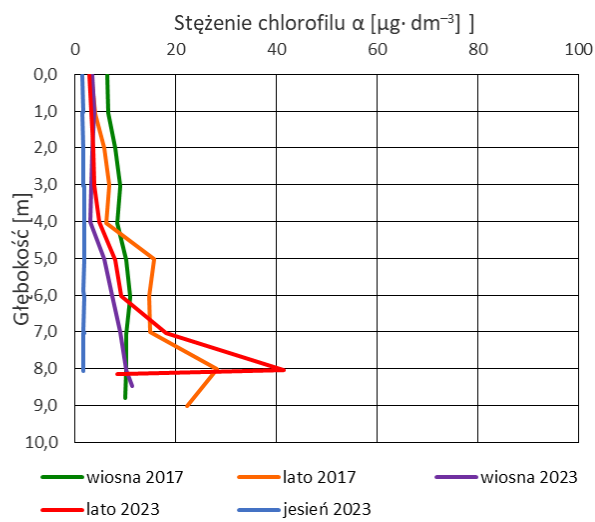
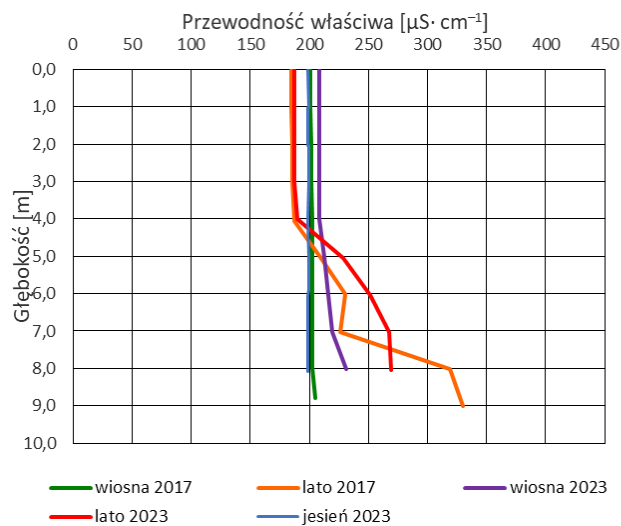
Jezioro Gołuń



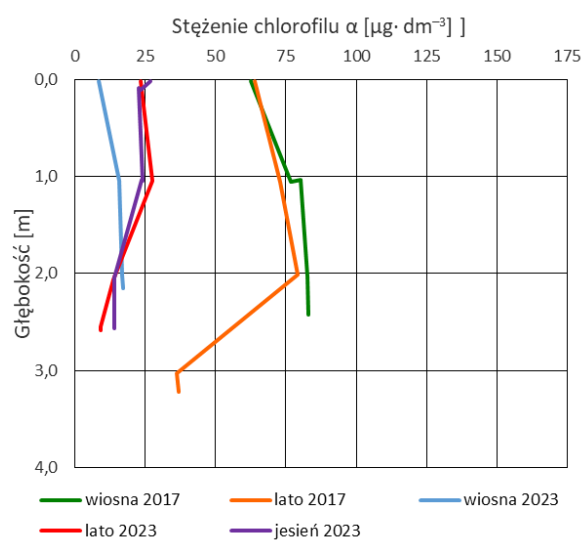
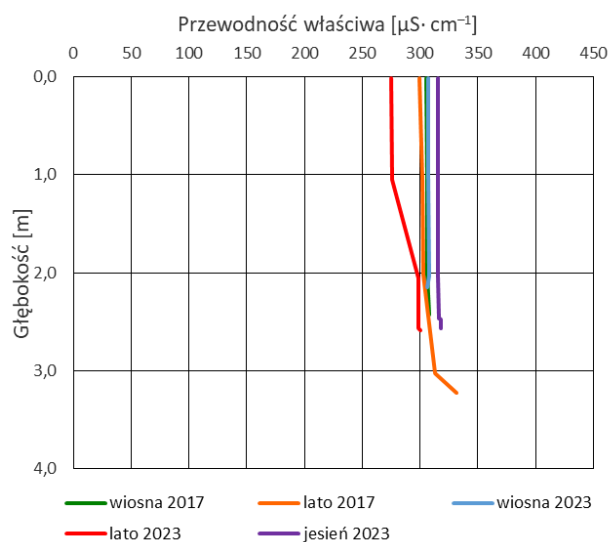
Jezioro Jelenie



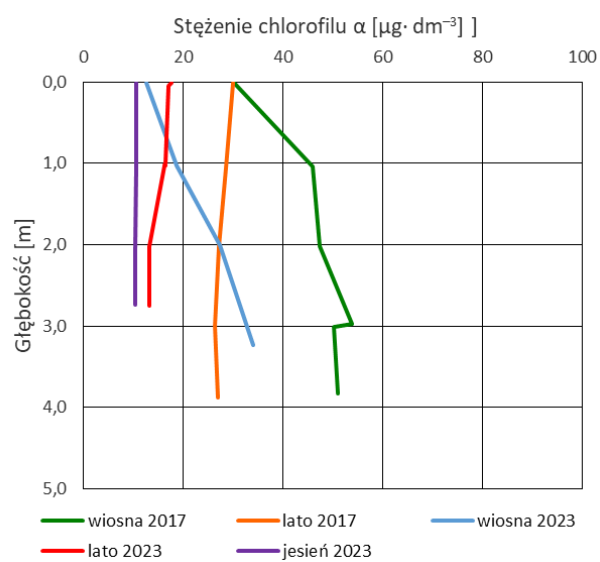
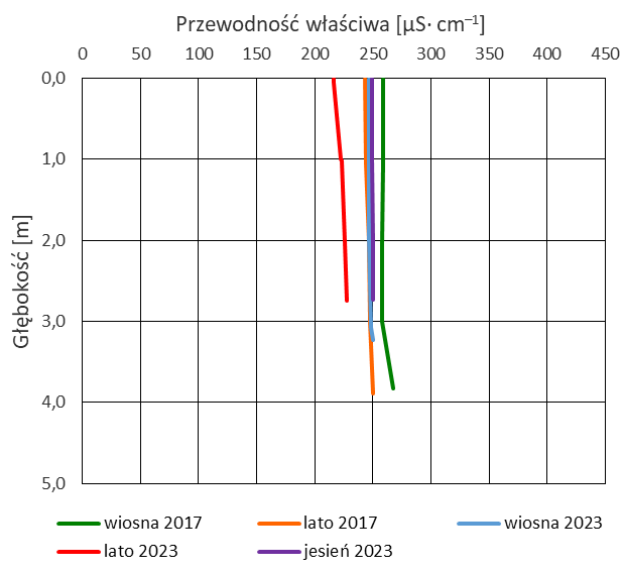
Jezioro Mieliste



Jezioro Schodno



Jezioro Słupinko



Załącznik 3

Zalecenia i działania ochronne na obszarze Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Ochrona jakości wód jeziornych na obszarze Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

1. Obszary o zabudowie zwartej niepodłączone do kanalizacji sanitarnej oraz obszary o zabudowie rozproszonej i rekreacyjnej

- a. Zwiększenie kontroli i skuteczna egzekucja przepisów wynikających z Ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminie w zakresie prawidłowego gromadzenia i odprowadzania ścieków z zabudowy mieszkalnej oraz letniskowej.
- b. Prowadzenie systematycznej ewidencji bezodpływowych zbiorników ścieków domowych (szamb) oraz przydomowych oczyszczalni ścieków.
- c. Wdrożenie harmonogramu wywozu nieczystości płynnych i osadów ściekowych z przydomowych oczyszczalni oraz kontrola jego przestrzegania.
- d. Ograniczenie nowej zabudowy rekreacyjnej w pasie przybrzeżnym jezior o szerokości do 100 metrów.
- e. Obowiązkowe wyposażenie pól biwakowych i kąpielisk gminnych w toalety przenośne oraz regularne kontrole prawidłowego zagospodarowania ścieków.
- f. Zachęcanie do stosowania nowoczesnych, ekologicznych systemów oczyszczania ścieków, np. hydrofitowych oczyszczalni ścieków.

2. Obszary o zabudowie zwartej wyposażone w kanalizację sanitarną i podłączone do oczyszczalni ścieków

- a. Poprawa jakości wód rzeki Wdy oraz jej głównych dopływów poprzez:
 - uporządkowanie gospodarki ściekowej w zlewniach jezior i rzeki Wdy,
 - zaostrzenie norm odprowadzania ścieków z istniejących oczyszczalni,
 - modernizację oczyszczalni ścieków (Lipusz, Parowa, Wdzydze Kiszewskie, Kalisz, Schodno),
- b. Regularny monitoring jakości ścieków odprowadzanych do wód powierzchniowych w celu identyfikacji potencjalnych zagrożeń.
- c. Kontrola ilości wytwarzanych osadów ściekowych i sposobów ich zagospodarowania.
- d. Poszerzanie zasięgu sieci kanalizacyjnej na kolejne obszary.
- e. Wprowadzenie systemu informowania mieszkańców i turystów o stanie jakości wód i działaniach ochronnych (np. tablice informacyjne, aplikacja mobilna, raporty online).

3. Obszary użytkowane rolniczo

a. Stosowanie zaleceń Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej w zakresie redukcji punktowych zanieczyszczeń wód:

- Budowa i utrzymywanie płyt oraz zbiorników do przechowywania odchodów i odpadów gospodarskich (gnojowica, obornik, komposty).
- Zakaz przechowywania obornika w przyzmach polowych oraz składowania kiszonek bezpośrednio na gruncie.
- Minimalizacja ilości gnojowicy produkowanej w gospodarstwie.

b. Redukcja obszarowych zanieczyszczeń wód poprzez:

- Stosowanie nawozów (naturalnych i mineralnych) w okresach minimalizujących ryzyko spływu do wód powierzchniowych i podziemnych.
- Ograniczenie stosowania nawozów mineralnych azotowych wyłącznie do okresów wzmożonego zapotrzebowania roślin.
- Zakaz stosowania nawozów naturalnych i mineralnych azotowych na gruntach zamrzniętych, zalanych wodą lub o nachyleniu terenu powyżej 10%.
- Zakaz stadnego wypasu zwierząt gospodarskich w okresach nadmiernej wilgotności gleby oraz w pasie 100 metrów od brzegu jezior.
- Zakaz pojenia zwierząt bezpośrednio w jeziorach.
- Wsparcie dla rolników w zakresie wdrażania ekologicznych metod uprawy oraz alternatywnych metod nawożenia, np. biowęgla, nawozy organiczne.

4. Rekomendacje ogólne

a. Ochrona strefy brzegowej jezior w celu zachowania naturalnej roślinności przybrzeżnej i przeciwdziałania degradacji zbiorowisk roślinnych.

b. Wprowadzenie fitosanitarnych stref buforowych o szerokości 15-20 metrów w formie pasów zadrzewień i zakrzaczeń wzdłuż linii brzegowej jezior na gruntach użytkowanych rolniczo.

c. Zakaz wycinki drzew w naturalnie ukształtowanych strefach buforowych.

d. Wprowadzenie zakazu sztucznego zanęcania ryb przez wędkarzy.

e. Propagowanie zasad Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej wśród lokalnej społeczności rolniczej.

f. Działania edukacyjne skierowane do turystów, właścicieli ośrodków wypoczynkowych i mieszkańców.

g. Rozwój programów edukacyjnych dla dzieci i młodzieży (np. warsztaty ekologiczne, ścieżki edukacyjne wokół jezior).

- h. Kampanie społeczne promujące proekologiczne zachowania, np. ograniczenie stosowania detergentów zawierających fosforany.
- i. Rozwój i promocja ekoturystyki jako alternatywy dla intensywnej działalności rekreacyjnej.

Propozycje działań mających na celu minimalizację transportu zanieczyszczeń do jezior (dotyczące oddziaływania oczyszczalni ścieków zlokalizowanych w zlewniach jezior)

1. Modernizacja oczyszczalni ścieków:

- Zainwestowanie w nowoczesne technologie, które lepiej usuwają zanieczyszczenia ze ścieków.
- Regularne przeglądy i konserwacja urządzeń w oczyszczalni, aby zapewnić ich maksymalną wydajność.

2. Ograniczenie ilości ścieków:

- Wprowadzenie programów edukacyjnych dla mieszkańców i turystów, aby zachęcać do oszczędzania wody.
- Wprowadzenie infrastruktury do zbierania i ponownego wykorzystywania wody deszczowej.

3. Ochrona terenów wodnych:

- Tworzenie i utrzymanie stref ochronnych wokół jezior, które mogą działać jako naturalne filtry.
- Zasadzenie roślinności wokół zbiorników wodnych, która może pomóc w absorpcji niektórych zanieczyszczeń.

4. Monitoring i badania:

- Regularne monitorowanie jakości wody w jeziorach, aby szybko reagować na zmieniające się warunki.
- Współpraca z naukowcami i ekspertami ds. ochrony środowiska w celu opracowania długoterminowych strategii ochrony.

5. Zwiększenie świadomości:

- Organizowanie kampanii informacyjnych, aby podnieść świadomość o problemie zanieczyszczenia wśród społeczności lokalnej i turystów.

6. Wsparcie finansowe:

- Zabezpieczenie funduszy od rządu, organizacji pozarządowych i firm prywatnych na realizację projektów związanych z ochroną środowiska.

7. Zagospodarowanie rowu odprowadzającego oczyszczone ścieki:

- Roślinne Filtry: Zasadzenie odpowiednich roślin wodnych i bagiennych w rowie, które mogą działać jako naturalne filtry i pochłaniać zanieczyszczenia.
- Strefy Retencji: Stworzenie stref retencji wzdłuż rowu, gdzie woda może się zatrzymać i osadzać zanieczyszczenia przed dotarciem do jeziora.
- System Filtracyjny: Instalacja mechanicznych filtrów lub systemów oczyszczania w strategicznych punktach rowu, które mogą usuwać większe zanieczyszczenia przed wejściem do jeziora.
- Zwiększenie Przepływu: Poprawa przepływu w rowie, co może pomóc w rozcieńczaniu zanieczyszczeń i ograniczeniu ich wpływu na jeziora.
- Monitorowanie i Utrzymanie: Regularne monitorowanie i utrzymanie rowu, aby zapewnić, że nie zatyka się on i że systemy oczyszczania działają efektywnie.
- Edukacja Społeczna: Zachęcanie mieszkańców i turystów do dbania o czystość rowu i nie wrzucania śmieci, które mogą go zatkać i zwiększać poziom zanieczyszczeń.