Raport z przeprowadzonych w 2018 roku badań wybranych jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Opracowanie:

dr hab. prof. UG Dariusz Borowiak **dr Kamil Nowiński**

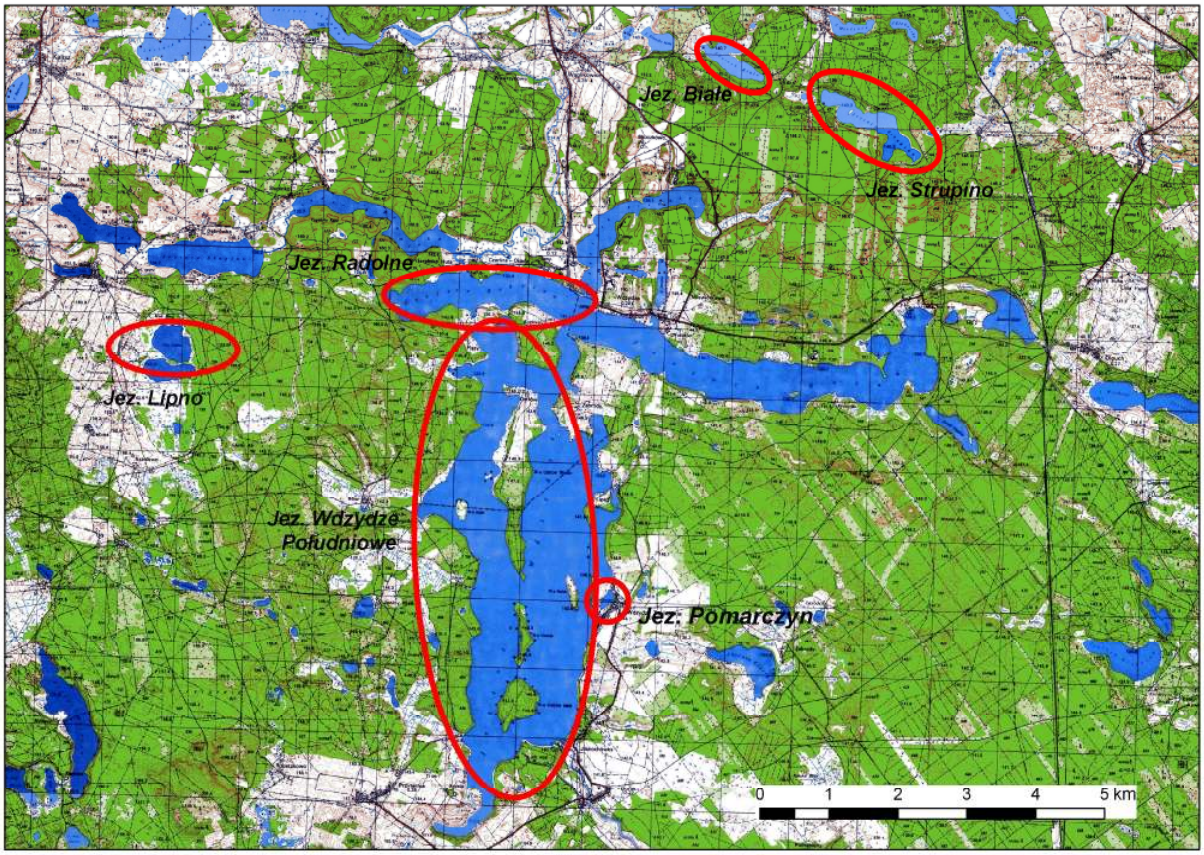
Katedra Limnologii

Uniwersytet Gdański

Gdańsk 2018

Metody badań

W kwietniu i lipcu 2018 roku przeprowadzono dwie serie badań terenowych wybranych jezior Wdzydzkiego parku Krajobrazowego. Uzyskane wyniki posłużyły do oceny warunków środowiska wodnego siedmiu jezior: Białe, Lipno, Pomarczyn, Radolne (Wdzydze Pn), Strupino, Wdzydze Południowe, Żołnowo. Badania na jeziorach wykonywano z łodzi pontonowej, zakotwiczonej w miejscu zbliżonym do maksymalnej głębokości danego jeziora. Lokalizację głęboczków przeprowadzono za pomocą echosondy Lowrance LMS480M. W ich obrębie wytypowano punkty kontrolne, w których zostały pobrane próbki wody, o objętości 1,5 dm^3, 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

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

- temperatura wody [°C] (sonda wieloparametrowa YSI-6800),

- nasycenie wody tlenem [%] i stężenie tlenu rozpuszczonego [mg O_2/dm^3] (sonda wieloparametrowa YSI-6800),
- odczyn pH (sonda wieloparametrowa YSI-6800),
- mętność wody (sonda wieloparametrowa YSI-6800),
- przewodność elektrolityczna właściwa przeliczona do temperatury odniesienia 25ºC [µS/cm] (sonda wieloparametrowa YSI-6800),
- całkowitą zawartość soli mineralnych TDS [mg/dm^3] (sonda wieloparametrowa YSI-6800),
- stężenie chlorofilu α [mg/dm^3] (fluorymetr Chelsea MiniTracka II),
- zasięg strefy świetlnej (radiometr PER-700),
- przezroczystość (krążek Secchiego).

Pobrane z jeziora próbki wódy 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.

Na odpływach z jezior oraz w głównych ciekach dopływających do jezior wykonano pomiary natężenia przepływu przy użyciu elektromagnetycznego czujnika prędkości Nautilus C 2000 firmy OTT Messtechnik.

Termika i warunki tlenowe wód jezior

Jedną z głównych charakterystyk opisujących strukturę termiczną jezior jest zasięg epilimnionu. Głębokość, do której oddziałuje mieszanie wiatrowe można uznać za strefę aktywną struktury wewnętrznej systemów limnicznych. W grupie omawianych jezior, pięć zbiorników należy zaklasyfikować do typu dymiktycznego, charakteryzującego się dwukrotną w ciągu roku pełną cyrkulacją wód. Zasięg epilimnionów jezior dymiktycznych mieścił się latem 2018 r. w granicach od około 3 m (Żołnowo) do 5,5 m (Wdzydze Południowe). Jeziora, w których epilimnion nie przekracza 4 m można uznać za bradymiktyczne, czyli charakteryzujące się małym zasięgiem mieszania turbulencyjnego. W 2018 roku małe miąższości epilimnionów były jednak spowodowane wyjątkowo ciepłą pogodą, utrzymującą się juz od końca kwietnia. Spowodowało to szybkie ustabilizowanie się stratyfikacji z wysoka temperaturą wód powierzchniowych. Spowodowało to powstanie dużych gradientów termicznych płytko pod powierzchnią wody i skrócenie zasięgu epilimnionów o co najmniej 1 m. O naturalnie eumiktycznym lub nawet tachymiktycznym charakterze ustrojów termicznych jezior świadczą wysokie temperatury wód przydennych jezior (Załącznik 1). Na tej podstawie zaklasyfikowano poszczególne jeziora dymiktyczne jako tachymiktyczne (Żołnowo, Strupino, Radolne) i eumiktyczne (Białe, Wdzydze Południowe). Dwa jeziora (Lipno i Pomarczyn) należy uznać za polimiktyczne. W jeziorach tych zasięg turbulencyjnego oddziaływania wiatru sięga wiele razy w ciągu roku do dna. Występująca w tych płytkich jeziorach, latem 2018 r., szczątkowa stratyfikacja jest sytuacją incydentalną, spowodowaną radiacyjną i bezwietrzną pogodą.

Pionowe rozkłady stężeń tlenu nawiązują do rozkładów temperatury i w wodach większości jezior przyjmują kształt klinogrady (Załącznik 1). Świadczy to o intensywnym rozkładzie materii organicznej zgromadzonej w wodzie i osadach tych jezior. Sprawia to, że nawet w jeziorach polimiktycznych przy samym dnie występują znaczne ubytki tlenu. Inny niż klinogradowy pionowy rozkład tlenu występuje w Jeziorze Białym i jeziorze Wdzydze Południowe. W pierwszym z nich krzywa przyjmuje kształt heterograd dodatniej z maksimum tlenowym w strefie występowania maksymalnych gradientów termicznych (Załącznik 1). Z uwagi na występujące tam zagęszczenie biomasy i dobre warunki optyczne wód jeziora, stężanie tlenu na głębokości 6 m osiągają 10,6 mg dm^{-3}. W jeziorze Wdzydze występuje natomiast heterograda ujemna z minimum tlenowym o wartości 0,8 mg dm^{-3} na

głębokości 8 m. Stan taki jest związany z rozkładem materii organicznej zgromadzonej na skutek wzrostu gęstości wody w metalimnionie.

W trzech jeziorach WPK stwierdzono złe warunki tlenowe. Jednym z nich jest jezioro Pomarczyn, w którym mimo polimiktyczności, poniżej 2 m od powierzchni stężenie tlenu spada poniżej 1 $mg \cdot dm^{-1}$. Tak niskie stężenia pojawiają się także w jeziorze Żołnowo (od 4 m od powierzchni) i Radolnym (poniżej 5 m). Pozostałe jeziora odznaczają się dobrymi warunkami tlenowymi. W Jeziorze Białym strefa beztlenowa obejmuje właściwie tylko warstwę wody 1 m nad dnem. W jeziorze Strupino nasycenie tlenem warstwy przydennej wynosi około 10%, natomiast we Wdzydzach Południowych przekracza 35%.

Właściwości chemiczne wód jeziornych

Tempo eutrofizacji jezior jest uzależnione od ilości dostępnych form tzw. związków biogenicznych (głównie fosforu i azotu). Ich zawartość w środowisku wodnym jezior jest wypadkową wielkości ich dopływu ze zlewni oraz efektem wewnętrznego zasilania poprzez ich uwalnianie z osadów dennych. Szacuje się, że dopływ do jeziora 1 kg fosforu jest ilością wystarczająca do rozwoju około 1 tony glonów. Podczas rozwoju biomasy spada stężenie mineralnej postaci biogenów, ale jednocześnie wzrasta ilość formy organicznej, która jest następnie akumulowana w osadach. Rozkład tej substancji powoduje zużywanie tlenu w głębszych warstwach jeziora oraz ponowne włączenie materii biogenicznej do obiegu.

Stężenie związków fosforu w wodach większości omawianych jezior WPK jest dość niskie (Tabela 1). Wiosną w wodzie powierzchniowej stężenia fosforu ogólnego wynosiły od 0,009 mg dm^{-3} (Jezioro Białe) do 0,086 mg dm^{-3} (Wdzydze Południowe) i 0,087 mg dm^{-3} (Lipno). Podczas pomiarów przypadających na okres homotermii wiosennej nie stwierdzono znaczących różnic pomiędzy wartościami notowanymi w wodach przypowierzchniowych i przydennych.

Tabela 1. Wartości terminowe i średnie stężenia biogenów (azot, fosfor) w wodach powierzchniowych i przydennych jezior WPK

Jezioro		Azot ogólny			Fosfor ogólny		
		13-14.04	23-24.07	Średnia	13-14.04	23-24.07	Średnia
		[mg dm^{-3}]	[mg dm^{-3}]	[mg dm^{-3}]	[mg dm^{-3}]	[mg dm^{-3}]	[mg dm^{-3}]
Białe	pow	0,48	0,59	0,54	0,009	0,015	0,012
	dno	0,50	0,62	0,56	0,009	0,034	0,022
Lipno	pow	0,87	0,91	0,89	0,087	0,103	0,095
	dno	0,87	1,10	0,99	0,088	0,112	0,100
Pomarczyn	pow	0,84	1,43	1,14	0,055	0,105	0,080
	dno	0,90	1,56	1,23	0,058	0,313	0,186
Radolne	pow	0,46	0,55	0,51	0,043	0,051	0,047
	dno	0,47	1,21	0,84	0,045	0,726	0,386
Strupino	pow	0,44	0,31	0,38	0,021	0,028	0,025
	dno	0,45	0,52	0,49	0,022	0,011	0,017
Wdzydze Pd	pow	0,52	0,64	0,58	0,086	0,037	0,062
	dno	0,35	0,50	0,43	0,082	0,122	0,102
Żołnowo	pow	0,57	0,46	0,52	0,052	0,036	0,044
	dno	0,61	1,05	0,83	0,054	0,125	0,090

Podczas stratyfikacji letniej 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). Wyższe stężenia fosforu

całkowitego stwierdzono w wodach przydennych. W jeziorze Pomarczyn stężenie fosforu ogólnego nad dnem wynosiło latem 2018 roku 0,313 mg dm^{-3}. Jeszcze wyższe wartości zanotowano w wodach przydennych Jeziora Radolnego (0,726 mg dm^{-3}).

Stężenia azotu ogólnego w wodach jezior były dość niskie. W warstwie wód powierzchniowych wartości wahały się wiosną od 0,44 mg dm^{-3} (Strupino) do 0,87 mg dm^{-3} (Lipno). Wody przydenne charakteryzowały się przeważnie podobnymi stężeniami tego pierwiastka. Zakres zmienności wynosił od 0,35 mg dm^{-3} (Wdzydze Południoweo) do 0,90 mg dm^{-3} (Pomarczyn).

Tabela 2. Wybrane parametry fizyczno-chemiczne oraz skład jonowy wody powierzchniowej i przydennej jezior WPK (zakres zmienności: wiosna-lato i wartości średnie)

Jezioro		*pH*	*TDS*	Barwa	*Ca*	*Mg*	HCO_3	SO_4	*Cl*
			[mg dm^{-3}]						
Białe	pow.	8,3-8,5 (8,4)	183-131 (157)	6,5-8,6 (7,6)	33,2-35,1 (34,2)	2,2-1,5 (1,8)	102,5-107,4 (104,9)	0,0-2,9 (1,5)	2,6-2,3 (2,4)
	dno	7,6-8,1 (7,9)	211-136 (174)	7,2-9,0 (8,1)	33,3-35,6 (34,2)	2,2-1,7 (2,0)	103,1-106,1 (104,6)	1,6-4,2 (2,9)	2,6-2,1 (2,4)
Lipno	pow.	5,1-5,9 (5,5)	59-35 (47)	225-214 (219,5)	2,9-2,0 (2,5)	1,7-1,5 (1,6)	7,3-10,4 (8,8)	19,5-15,8 (17,7)	1,8-5,3 (3,6)
	dno	4,9-5,5 (5,2)	58-34 (46)	231-226 (228,5)	2,9-2,2 (2,6)	1,7-16 (1,7)	7,3-1,2 (9,3)	19,5-16,1 (17,8)	1,7-5,7 (3,7)
Pomarczyn	pow.	9,2-8,7 (9,0)	285-173 (229)	11,4-10,1 (10,8)	48,0-27,3 (37,6)	9,5-7,0 (8,2)	165,9-104,9 (135,4)	13,9-16,1 (15,0)	17,2-17,0 (17,1)
	dno	8,8-8,3 (8,6)	306-214 (260)	12,2-12,0 (12,1)	48,9-29,4 (39,2)	9,5-7,2 (8,4)	169,7-145,3 (157,5)	14,0-16,5 (15,3)	17,5-18,1 (17,8)
Radolne	pow.	8,6-8,3 (8,5)	248-175 (212)	13,0-9,3 (11,2)	51,5-43,6 (47,6)	6,1-5,2 (5,7)	164,7-137,9 (151,3)	10,8-11,0 (10,9)	5,6-5,7 (5,7)
	dno	8,6-7,6 (8,1)	254-227 (241)	13,8-12,3 (13,1)	51,8-54,9 (53,3)	6,1-5,9 (6,0)	165,7-180,6 (173,1)	10,9-10,0 (10,5)	5,8-6,0 (5,9)
Strupino	pow.	8,1-8,5 (8, 3)	175-120 (148)	7,2-4,9 (6,1)	28,2-30,8 (29,5)	1,9-1,7 (1,8)	87,8-86,6 (87,2)	0,2-4,8 (2,5)	2,1-2,5 (2,3)
	dno	7,9-7,7 (7,8)	177-121 (149)	7,5-5,1 (6,3)	28,4-31,3 (29,8)	1,9-1,7 (1,8)	88,0-89,1 (88,5)	0,6-5,0 (2,8)	2,3-2,6 (2,4)
Wdzydze Pd	pow.	8,4-8,6 (8,5)	250-166 (208)	10,3-7,3 (8,8)	48,1-38,5 (43,3)	6,2-5,2 (5,7)	150,1-113,5 (131,8)	11,0-11,3 (11,2)	5,5-6,1 (5,8)
	dno	7,7-7,2 (7,5)	244-199 (222)	10,1-7,5 (8,8)	47,5-49,4 (48,5)	5,3-5,5 (5,4)	148,8-151,3 (150,1)	12,1-10,8 (11,5)	5,4-5,2 (5,3)
Żołnowo	pow.	8,7-8,3 (8,5)	305-184 (245)	9,3-5,9 (7,6)	53,7-42,3 (48,0)	6,7-5,3 (6,0)	172-134,2 (153,1)	14,6-11,8 (13,2)	6,8-7,8 (7,3)
	dno	8,5-7,7 (8,1)	314-244 (279)	9,4-7,8 (8,6)	53,9-52,8 (53,3)	6,7-6,1 (6,4)	174,3-169,6 (169,6)	14,9-16,0 (15,5)	7,0-7,8 (7,4)

Oznaczenia: pH – odczyn wody, TDS – mineralizacja ogólna (wartości średnie), Barwa – rzeczywista barwa wody w mg Pt dm^3, Ca – stężenia jonów wapnia, Mg – stężenia jonów magnezu, HCO_3- stężenia wodorowęglanów, SO_4- stężenia siarczanów, Cl – stężenia chlorków

Letnie stężenia azotu ogólnego w wodach powierzchniowych jezior wahały się od 0,31 mg dm^{-3} (Strupino) do 1,43 mg dm^{-3} (Pomarczyn). W wodach przydennych stężenia były tym razem przeważnie wyższe. Najniższe wartości stwierdzono w jeziorze Wdzydze Południowe (0,50 mg dm^{-3}), najwyższe natomiast wystąpiły w jeziorze Pomarczyn (1,56 mg dm^{-3}).

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. Ogólna mineralizacja wód powierzchniowych większości jezior waha się od 148 mg dm^{-3} (Strupino) do 245 mg dm^{-3} (Żołnowo). Pod względem mineralizacji, w grupie omawianych jezior, wyraźnie wyróżnia się jezioro Lipno, w którym suma jonów wynosiła zaledwie 47 mg dm^{-3} (Tabela 2). Świadczy to o wyraźnej przewadze zasilania tego jeziora wodami opadowymi.

Odczyn wód zależny jest od stosunku zdysocjowanych jonów H^+ i OH^-. Większość wód naturalnych wykazuje pH od około 6,0 do 8,5, czyli od słabo kwaśnego, przez obojętny do słabo alkalicznego. Czyste wody słodkie są przeważnie obojętne (pH 6,5 – 7,5). Średni odczyn wód powierzchniowych badanych jezior, określony na podstawie badań wykonanych 2018 roku, mieści się w zakresie od 5,5 (Lipno) do 9,0 (Pomarczyn). Jezioro Lipno charakteryzuje się więc wodami o odczynie kwaśnym, natomiast Pomarczyn wodami o odczynie alkalicznym i silnie alkalicznym. Wody pozostałych jezior posiada wody o odczynie słabo alkalicznym (pH 7,5 – 8,5).

Wody omawianych jezior WPK odznaczają przeważnie niskimi wartościami rzeczywistej barwy wody. Zakres zmienności tego parametru w większości przypadków wynosi od 6,1 mg Pt dm^{-3} (Strupino) do 11,2 mg Pt dm^{-3} (Radolne). Wskaźnik humusowy HSI, obliczony na podstawie barwy wody, właściwie nie przekracza więc wartości 30, skazując na ultraoligohumusowy typ wód tych jezior. Wyjątek stanowi jezioro Lipno, którego wskaźnik humusowy osiągnął wartość HSI 78, klasyfikując to jezioro jako polihumusowe.

Warunki zasilania jezior

Przeprowadzone wiosną i latem w 2018 roku pomiary natężenia przepływu na głównych dopływach i odpływach z jezior (Tabela 3) wykorzystano do oceny charakterystyki hydrologicznej jezior WPK. Pod względem typologii hydrologicznej są to jeziora bezodpływowe, odpływowe i przepływowe (Tabela 4).

Tabela 3. Zestawienie wyników pomiarów przepływu wykonanych w kwietniu i lipcu 20187 r. wraz z obliczonymi na ich podstawie przepływami średnimi i całkowitymi odpływami rocznymi w ciekach zasilających i odwadniających jeziora Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Rzeka	Stanowisko	Jezioro	Przepływ			Odpływ roczny
			13-14.04	23-24.07	Średni	
			[$dm^3 s^{-1}$]	[$dm^3 s^{-1}$]	[$dm^3 s^{-1}$]	[dam^3]
Trzebiocha	Grzybowo	J. Żołnowo (odpływ)	1965,9	1362,4	1664,1	52480
Trzebiocha	Sycowa Huta	J. Żołnowo (dopływ z J. Mielnica)	2121,9	1362,6	1742,3	54944
b.n.	Grzybowo	J. Żołnowo (dopływ z kier. NW)	19,1	0,0	9,6	301
b.n.	Kloc	J. Lipno (odpływ)	9,8	2,1	6,0	188
b.n.	Szenajda	J. Strupino (dopływ)	9,8	0,25	5,0	159
Wda	Przerębska Huta	J. Radolne (dopływ)	5153,5	3681,1	4417,3	139305
b.n.	Przerębska Huta Wyb.	J. Radolne (dopływ)	3,8	3,3	3,5	112
Wda	Kozłowiec	J. Radolne (odpływ)	–	–	~4535,9	143044,1
Wda	Borsk	J. Wdzydze Pd (odpływ)	6252,0	4168,0	5210,0	164303

Jeziora bezodpływowe (Białe, Pomarczyn, Strupino), 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 (Tabela 4). 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 (Wdzydze Pn.), w których to zbiornikach całkowita teoretyczna wymiana wody zachodzi raz na cztery i dziewięć miesięcy.

Tabela 4. Charakterystyka hydrologiczna jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

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

Podatność zlewni na dostawę materii oraz naturalna odporność jezior

Klasyfikacja podatności zlewni na uruchamianie ładunku obszarowego i jego dostawę do jeziora, zaproponowana przez E. Bajkiewicz-Grabowską (2002), opiera się na ocenie takich parametrów dotyczących obszaru alimentacji, jak: struktura użytkowania, rodzaj utworów powierzchniowych, średni spadek, gęstość sieci rzecznej oraz udział obszarów bezodpływowych. W ocenie tej uwzględnia się także typ bilansowy jeziora i współczynnik jeziora jako miarę wskazującą na powiązanie jeziora z jego zlewnia całkowitą. Zgodnie z tą klasyfikacją, zlewnię tylko jednego spośród omawianych jezior WPK można zaklasyfikować do 1 grupy podatności, która odznacza się ograniczonym spływem obszarowym i niemal brakiem możliwości dostawy materii do jeziora. Tego typu korzystne warunki zlewniowe dotyczą jeziora Strupino (Tabela 5).

Małą podatnością na uruchamianie i dostawę ładunku obszarowego do zbiornika (grupa 2) odznaczają się zlewnie jezior Białego i Lipna. Czynnikami ograniczającymi spływ powierzchniowy są w tym przypadku: brak sieci rzecznej, znaczny udział obszarów bezodpływowych w zlewni oraz użytkowanie zlewni.

Tabela 5. Ocena podatności zlewni na dostawę materii

Jezioro	Oceniane cechy							Liczba punktów								Grupa
	LI	BT	DD	CS	CA	G	U	LI	BT	DD	CS	CA	G	U	Średnia	
Białe	52	B	0,11	6,9	94	p	L	2	2	0	1	0	3	0	1,1	**2**
Lipno	21	O	0,38	16,0	49	gp	LR	1	1	0	2	1	2	1	1,1	**2**
Pomarczyn	6	B	0,00	25,0	31	gp	RZ	0	2	0	3	2	2	3	1,7	**3**
Radolne (*Wdzydze Pn.)*	91	P	0,15	5,1	38	p	RLZ	2	3	0	1	2	3	2	1,9	**3**
Strupino	24	B	0,11	7,8	82	p	L	1	2	0	1	0	3	0	1,0	**1**
Wdzydze Pd.	55	P	0,53	9,4	54	p	LZ	2	3	1	1	1	3	2	1,9	**3**
Żołnowo	719	P	0,31	15,4	11	pg	LZ	3	3	0	2	3	1	2	2,0	**4**

Objaśnienia: LI – współczynnik jeziora, BT – typ bilansowy jeziora (B – bezodpływowe, P - przepływowe), DD – gęstość sieci rzecznej ($km \cdot km^{-2}$), CS – spadek zlewni (%), CA – udział obszarów bezodpływowych (%), G – geologia zlewni (P – piaszczysta, TP – torfiasto-piaszczysta), U – użytkowanie zlewni (RLZ – rolniczo-leśna z zabudową, RZ – rolnicza z zabudową, LZ – leśna z zabudową, LR – leśno-rolnicza, RL – rolniczo-leśna, LRZ – leśno-rolnicza z zabudową)

Cztery spośród badanych jezior WPK odznaczają się zlewniami o przeciętnych warunkach uruchamiania ładunku obszarowego, klasyfikując się w grupie 3. Przyczyną tego jest przeważnie niekorzystny typ bilansowy jezior oraz geologia i użytkowanie zlewni.

Zlewnia jeziora Żołnowo należy do grupy 4 czyli odznacza się dużą podatnością na uruchamianie ładunku obszarowego. Głównymi czynnikami wpływającymi na taki wynik są: bardzo duża powierzchnia zlewni całkowitej, typ bilansowy oraz mały udział obszarów bezodpływowych.

Analiza podatności zlewni na uruchamianie i transport materii wykazała, że większość omawianych jezior jest zagrożona czynnikami przyspieszającymi proces eutrofizacji. Przeciętna i duża możliwość spływu substancji ze zlewni w połączeniu z często niską naturalną odpornością jezior, może doprowadzić do ich degradacji.

Na postawie cech morfometrycznych mis jeziornych, powierzchni zlewni i warunków wymiany wody można określić stopień naturalnej podatności jezior na degradację (Bajkiewicz-Grabowską 2002). Do I kategorii odporności zalicza się jeziora wysoce odporne na wpływy z zewnątrz, w II kategorii znajdują się natomiast jeziora średnio odporne. Na mało odporne jeziora wskazuje kategoria III, natomiast jeziora silnie narażone na czynniki degradacyjne wskazuje kategoria IV.

Pod względem naturalnej odporności na czynniki degradacyjne jako bardzo odporne (kategoria I) można zaklasyfikować tylko jezioro Wdzydze Południowe (Tabela 6). Najkorzystniejszymi parametrami charakteryzującymi odporność tego jeziora są: duża głębokość średnia (19,6 m), stratyfikacja wód pozwalająca na odizolowanie znacznej ich części od wpływów zewnętrznych, mała powierzchnia dna czynnego w stosunku do objętości epilimnionu oraz mała wartość współczynnika Schindlera (stosunek powierzchni zlewni do objętości jeziora). Do grupy jezior średnio odpornych (kategoria II) można zaliczyć Jezioro Białe i Jezioro Radolne, stanowiące część Wdzydz Północnych. Jeziora te odznaczają się małą powierzchnią dna czynnego w stosunku do objętości epilimnionu oraz niskim współczynnikiem Schindlera.

Do III kategorii należą dwa jeziora: Strupino i Żołnowo. W przypadku obu jezior niekorzystnie wypada stosunek pojemności mis do długości linii brzegowej. W Strupinie występują ponadto niekorzystne warunki wymiany wody. Żołnowo charakteryzuje się małą głębokością średnią, co wpływa m.in. na brak dobrze wykształconej stratyfikacji i potencjalną możliwość

uruchamiania związków biogenicznych z osadów dennych. Jezioro to charakteryzuje się też bardzo wysokim współczynnikiem Schindlera.

W grupie badanych jezior najmniej odporne na degradację są Lipno i Pomarczyn. Jeziora te są bardzo płytkie i kumulują małą objętość wód, co w połączeniu z niekorzystnymi warunkami wymiany wody powoduje wysoki stopień podatności na wpływy zewnętrzne.

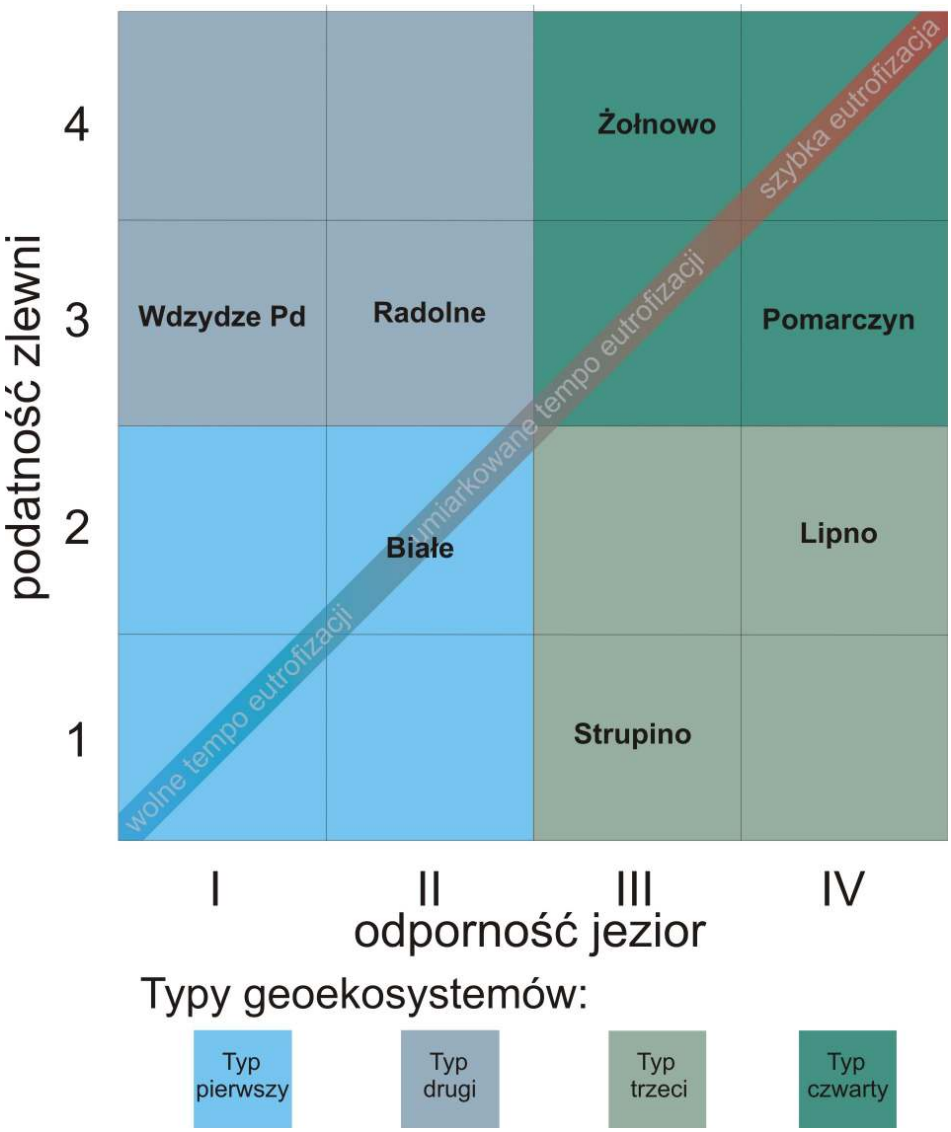
Tabela 6. Ocena naturalnej odporności jezior

Jezioro	Oceniane cechy						Liczba punktów							Grupa
	MD	V/L	S	AEV	FR	SI	MD	V/L	S	AEV	FR	SI	Średnia	
Białe	5,6	0,5	47	0,13	0,0	9	1	3	0	1	3	0	1,3	**II**
Lipno	0,5	0,1	0	1,96	1,4	43	3	3	3	3	2	2	2,7	**IV**
Pomarczyn	1,9	0,1	0	0,53	0,0	4	3	3	3	3	3	0	2,5	**IV**
Radolne (*Wdzydze Pn.)*	7,6	1,2	10	0,08	3,1	12	1	2	3	0	2	1	1,5	**II**
Strupino	4,7	0,4	19	0,12	0,0	5	2	3	2	1	3	0	1,8	**III**
Wdzydze Pd.	19,6	5,0	73	0,04	0,9	3	0	1	0	0	3	0	0,7	**I**
Żołnowo	2,2	0,2	11	0,42	87,0	328	3	3	0	3	0	3	2,3	**III**

Objaśnienia: MD – głębokość średnia (m), V/L – pojemność jeziora do długości linii brzegowej ($hm^3 \cdot m^{-1}$), S – stratyfikacja wód (%), AEV – powierzchnia dna czynnego do objętości epilimnionu ($m^2 \cdot m^{-3}$), FR – intensywność wymiany wody (rok^{-1}), SI – współczynnik Schindlera ($m^2 \cdot m^{-3}$)

Jeżeli presja zewnętrzna nie przekroczy naturalnej odporności jezior to proces eutrofizacji może przebiegać w tempie zbliżonym do naturalnego. 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 Jezioro Białe (Rycina 2).



Rycina 2. Typy geoekosystemów jeziornych

Typ drugi charakteryzuje geoekosystemy W typie drugim klasyfikują się geoekosystemy, w których niekorzystne warunki zlewniowe są równoważone przez wysoka 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.

Typ trzeci to układ ekologiczny zlewnia-jezioro, w którym zlewnia jest mało aktywna w dostarczaniu materii ale jezioro jest podatne na wpływy z zewnątrz. Sytuacja taka może gwarantować 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.

Typ czwarty to układ ekologiczny, w którym zarówno warunki zlewniowe jak i odporność jeziora są niekorzystne. W jeziorach tego typu może zachodzić szybkie tempo naturalnej eutrofizacji. Duża podatność jezior na degradację jezior w połączeniu z cechami zlewni sprzyjającymi uruchamianiu spływu materii, powoduje szybką sukcesję limnologiczną, nawet przy niewielkiej antropopresji. Geoekosystemami typu czwartego są jeziora Żołnowo i Pomarczyn.

Typy geoekosystemów odzwierciedlają sytuację potencjalnej możliwości dopływu materii do jezior oraz ich naturalnego poziomu tolerancji. W momencie przekroczenia tego poziomu przez ładunek dostarczony ze zlewni (np. na skutek działalności człowieka), następuje wzrost produktywności zbiornika i postępująca degradacja środowiska wodnego.

Właściwości optyczne jezior

Oceny warunków optycznych jezior WPK dokonano na podstawie pomiarów przezroczystości wody (wiosna, lato) oraz letnich rozkładów podwodnego pola światła radiometrem PER700, które wykorzystano do obliczeń rzeczywistych (obserwowanych) zasięgów strefy świetlnej. Wyniki tych pomiarów przedstawiono w Tabeli 7. Badane jeziora charakteryzują się bardzo zróżnicowaną przezroczystością wody, od typowej dla silnie zeutrofizowanych zbiorników do wartości charakterystycznych dla jezior mezotroficznych. Podczas pomiarów letnich, przezroczystość wody badanych jezior mieściła się w zakresie od 0,5 (Pomarczyn) do 4,4 m (Strupino). Średnia przezroczystość wody w całym badanym okresie wyniosła 2,2 m, a wartość mediany 1,6 m. Średnia dla okresu wiosennego wynosi 2,5 m (mediana 1,8 m) natomiast dla pomiarów letnich juz tylko 1,9 m (mediana 1,1 m). Świadczy to o ogólnie słabych warunkach optycznych części mawianych jezior. Podczas letniej serii pomiarowej stwierdzono wyjątkowo niska przeźroczystość wody w jeziorze Wdzydze Południowe (1,3 m). Wiosną wody tego jeziora charakteryzowały się najlepszą widzialnością krążka Sechciego. Pozwala to wysunąć wniosek, że niska przezroczystość latem jest sytuacją incydentalną.

Tabela 7. Charakterystyka hydrooptyczna jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego

Jezioro	Głębokość Secchiego (SD)			Letni zasięg strefy świetlnej (z_{eu})
	25-26.04	20-22.08	Średnia	
	[m]	[m]	[m]	[m]
Białe	3,90	4,10	4,00	8,8
Lipno	0,65	0,70	0,68	0,7
Pomarczyn	1,50	0,50	1,00	1,4
Radolne (*Wdzydze Pn.)*	1,70	1,00	1,35	3,8
Strupino	3,60	4,40	4,00	9,0
Wdzydze Pd.	4,30	1,30	2,80	1,6
Żołnowo	1,80	1,10	1,45	3,1

Konsekwencją zróżnicowanej przezroczystości wody są bardzo różne zasięgi strefy świetlnej. Średni zasięg strefy świetlnej omawianych jezior WPK świetlej latem 2018 roku wynosi 4,06 m (mediana 3,1 m). Najrozleglejsze strefy świetlne stwierdzono w jeziorach: Białe i Strupino, w których to akwenach przekraczały 8 m, osiągając maksymalną wartość w jeziorze Strupino

(9 m). W jeziorach: Radolne i Żołnowo zasięgi strefy świetlnej zawierały się w granicach 3,1 – 3,8 m. W pozostałych trzech jeziorach (Lipno, Pomarczyn i Wdzydze Pd) rozległość strefy świetlnej była mniejsza od 1,6 m, z minimum obserwowanym w jeziorze Lipno (0,7 m). W przypadku tego ostatniego, bardzo płytkiego jeziora, warunki przenikania światła są zdeterminowane dużymi stężeniami barwnej rozpuszczonej materii organicznej (CDOM) i płytkim zaleganiem uwodnionych osadów dennych. Określony na podstawie letnich pomiarów związek pomiędzy zasięgiem strefy świetlnej (z_{eu}) a głębokością widzialności krążka Secchiego (*SD*) określa następująca relacja: z_{eu} = 1,86 *SD*.

Stan troficzny i ekologiczny jezior

Produkcja biomasy w jeziorach jest ściśle związana ze stanem zaawansowania trofii jeziora, który można określić na podstawie wybranych cech środowiska wodnego (Carlson 1977). Metoda ta opiera się na wynikach badań stężenia fosforu ogólnego w wodzie, zawartości chlorofilu *a* oraz widzialności krążka Secchiego. Stopień eutrofizacji jezior wyraża średni wskaźnik trofii TSI (Trophic State Index), stanowiący średnią z trzech następujących wskaźników szczegółowych:

$$TSI\ (SD) = 10\ (6 - \ln SD / \ln 2)$$

$$TSI\ (Chl) = 10\ [\ 6 - (2{,}04 - 0{,}68 \ln Chl) / \ln 2]$$

$$TSI\ (TP) = 10\ [\ 6 - \ln (48 / TP) / \ln 2]$$

gdzie: SD – zasięg widzialności krążka Secchiego [m],

Chl – stężenie chlorofilu *a* [mg m^{-3}],

TP – stężenie fosforu całkowitego w wodzie powierzchniowej [mg m^{-3}].

Wartości ogólne indeksu TSI jezior wskazują na ogólnie wysoki poziom zaawansowania sukcesji limnologicznej (Tabela 8). Wartość TSI równa 50 uznawana jest za graniczną pomiędzy stadium mezotrofii i eutrofii. Średnie wartości wskaźników trofii omawianych jezior zawierają się w przedziale od 38,2 do 66,5. Najniższym zaawansowaniem trofii (na poziomie mezotrofii) odznaczają się jeziora Białe i Strupino. Początkowe stadium eutrofii wykazuje Jezioro Wdzydze Południowe, natomiast jeziora Żołnowo, Radolne i Lipno charakteryzują się warunkami typowymi dla jezior eutroficznych. Najwyższą wartość wskaźnika TSI (66,5) stwierdzono w jeziorze Pomarczyn. Wskazuje to na postępujące procesy degradacyjne i hipertrofię wód tego jeziora.

Szczegółowe indeksy wskazują, który z nich ma największy wpływ na obecny poziom trofii i ewentualny wzrost tempa sukcesji limnologicznej. Ponadto 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.

Tabela 8. Stan troficzny jezior WPK (sierpień 2017)

Jezioro	TSI				Typ troficzny	$TSI(TN)$	$TN:TP$
	Chl	TP	SD	$\overline{TSI}$			
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 – stężeń chlorofilu *a*, TP – stężeń fosforu całkowitego, SD – widzialności krążka Sechciego, TN – azotu całkowitego; TN:TP – stosunek stężeń azotu i fosforu

Analiza wartości poszczególnych wskaźników TSI pozwala stwierdzić, że podstawową przyczyną wysokich wartości TSI w większości jezior są bardzo wysokie stężenia fosforu całkowitego. Wysoka wartość wskaźnika TSI odnosząca się do zawartości fosforu w jeziorach świadczy o dużej presji zlewni, z występującymi punktowymi i obszarowymi emitorami 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. Rozwój biomasy jest natomiast czynnikiem ograniczającym przenikania światła, w związku z tym widzialności krążka Secchiego potwierdzają zaawansowanie trofii jezior.

Niższe wartości wskaźnika TSI uzyskano na podstawie stężeń azotu ogólnego w wodzie jezior. 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.

Stosunek stężeń azotu ogólnego do fosforu ogólnego, pozwala określić który z tych pierwiastków limituje produkcję pierwotną w jeziorze. Najniższą wartość (TN:TP <10), zanotowano w jeziorze Lipno. Wskazuje ona na limitację rozwoju biomasy obecnością azotu. W większości jezior (Pomarczyn, Radolne, Strupino, Wdzydze Pd, Żołnowo) rozwój biomasy

warunkowany obecnością zarówno fosforu jak i azotu. W Jeziorze Białym stosunek azotu do fosforu wyniósł 39, co wskazuje na limitację rozwoju biomasy fosforem.

Ocena stanu ekologicznego omawianych jezior WPK, dokonana na podstawie wspierających elementy biologiczne parametrów fizykochemicznych, wskazuje na zróżnicowanie w zakresie od stanu umiarkowanego do bardzo dobrego (Tabele 9-10). Najlepsze warunki panują w jeziorach Białe i Strupino, których stan ekologiczny można określić jako bardzo dobry. Jezioro Wdzydze Południowe, mimo pogarszających się parametrów jakościowych wody, nadal znajduje się na granicy pomiędzy 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. Parametrami decydującymi o niezbyt dobrych warunkach tych jezior są przeważnie małe przezroczystości wody oraz złe warunki tlenowe. W przypadku jeziora Lipno niekorzystnie wypada także stężenie fosforu ogólnego .

Tabela 9. 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 10. 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	

Zalecenia i ewentualne zabiegi ochronne

Jezioro Białe

Największym zagrożeniem dla mezotroficznego Jeziora Białego jest dopływ potencjalnych zanieczyszczeń ze zlewni bezpośredniej. Emitorami zanieczyszczeń w tej strefie są użytki rolne, zlokalizowane zachodniej części zlewni oraz zabudowa letniskowa nad wschodnim brzegiem jeziora. Nasilona rekreacja może być znaczącym źródłem zasilania z związki biogeniczne (głównie związki fosforu i azotu), przyspieszając eutrofizację jeziora. Pojedyncze zabudowania rekreacyjne znajdowały się także przy południowym brzegu jeziora. Zostały one zniszczone w 2017 r. przez wichurę, jednak ich pozostałości pozostały do tej pory. Letniska te znajdowały się przy samym brzegu jeziora, nie posiadały kanalizacji ściekowej i stanowiły kolejne źródło związków biogenicznych. Kolejnym, pośrednim emitorem zanieczyszczeń jest miejscowość Juszki położona poza zlewnią aktywną. Główne niebezpieczeństwo dla jeziora stanowi więc dopływ związków biogenicznych z obszarów wykorzystywanych rolniczo, rekreacji, rybołówstwa i wędkarstwa, a także potencjalne wylesienie zlewni.

W celu utrzymania dobrego stanu troficznego Jeziora Białego należałoby w zlewni bezpośredniej wyeliminować zabudowę rekreacyjną oraz użytki rolne. Ponadto, niezbędne jest wprowadzenie wzdłuż brzegów stref buforowych z zakazem wycinki drzew, wprowadzenie zakazu sztucznego zanęcania ryb przez wędkarzy oraz połowu ryb przy wykorzystaniu sieci ciągnionych.

Jezioro Lipno

W zachodniej części zlewni jeziora znajdują się grunty rolnicze z rozproszoną zabudową. Obszary te stanowią najważniejszy emitor związków biogenicznych trafiających do jeziora. Jezioro charakteryzuje się już zaawansowaną trofią, jednak jest to obiekt bardzo cenny ze względu na walory krajobrazowe i jako ostoja ptactwa. Potencjalnie niebezpieczne dla funkcjonowania jeziora może być też użytkowanie rybackie oraz wycinka drzew w strefie brzegowej.

Idealną formą ochrony tego jeziora byłaby likwidacja użytkowania rolnego w zlewni bezpośredniej lub przynajmniej dopuszczenie jedynie form zagospodarowania w postaci pastwisk i łąk. Ważnym elementem jest też wprowadzenie fitosanitarnych stref buforowych o szerokości przynajmniej 15-20 metrów w formie pasów zadrzewień i/lub zakrzaczeń w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej na odcinkach przylegających do gruntów

użytkowanych rolniczo. Zaleca się też stosowanie zakazu wycinki drzew (zwłaszcza zrębów zupełnych) w bezpośrednim sąsiedztwie jeziora oraz wykorzystywania sieci ciągnionych, powodujących resuspensję osadów dennych.

Jezioro Pomarczyn

Jezioro położone jest w bardzo niekorzystnych warunkach zlewniowych. Dominującą formę zagospodarowania zlewni stanowi zabudowa i grunty rolne miejscowości Wdzydze Tucholskie. Zagrożenie dla jeziora stanowi więc dopływ ścieków rolniczych oraz ścieków bytowych z gospodarstw domowych. Znaczna deniwelacja obszaru powoduje bardzo szybki transport materii do jeziora, co w przypadku tak nieodpornego zbiornika skutkuje przyspieszoną eutrofizacją.

Jezioro Pomarczyn jest już jeziorem w znacznym stopniu zdegradowanym i pod względem jakości wody stanowi jeden z najgorszych obiektów WPK. Ewentualne zabiegi ochronne powinny objąć: wprowadzenie fitosanitarnych stref buforowych o szerokości 15-20 metrów w formie pasów zadrzewień i/lub zakrzaczeń w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej całego jeziora; stosowanie płyt i zbiorników do przechowywania stałych oraz płynnych odchodów i odpadów gospodarskich (gnojowica, obornik, komposty, odpady gospodarskie) oraz zakaz przechowywania obornika w pryzmach polowych oraz składowania pasz soczystych (kiszonki) bezpośrednio na gruncie; wzmożenie kontroli oraz egzekucja obowiązków w zakresie gromadzenia i odprowadzania ścieków; prowadzenie ewidencji bezodpływowych zbiorników ścieków domowych (szamb) oraz przydomowych oczyszczalni ścieków oraz kontrola wywozu nieczystości.

Jezioro Radolne

W przypadku Jeziora Radolnego użytkowanie zlewni bezpośredniej nie stanowi poważnego niebezpieczeństwa dla jego prawidłowego funkcjonowania. Na obszarze tym dominują lasy, nielicznie występuje zabudowa oraz fragmenty użytkowane rolniczo. Głównym zagrożeniem dla jeziora jest Wda, stanowiąca główne źródła zasilania tego jeziora. Rzeka drenuje obszar kilkadziesiąt razy większy od powierzchni jeziora, niosąc znaczne ilości materii (w tym zanieczyszczeń).

Stan czystości Jeziora Radolnego jest ściśle związana z jakością wód Wdy. W związku z tym zakres działań ochronnych powinien znacznie wykraczać poza zlewnię bezpośrednią jeziora. Poprawa jakości wód jest możliwa na skutek uporządkowania gospodarki ściekowej w

zlewniach Wdy i jej dopływów oraz stosowanie zaleceń Kodeksu Dobrej Praktyki Rolniczej w zakresie redukcji punktowych i obszarowych źródeł zanieczyszczenia wód.

Mimo tego, że główny emitor zanieczyszczeń stanowi punktowy dopływ rzeczny, nie można zaniechać ochrony zlewni bezpośredniej. Podstawowymi zaleceniami są: wprowadzenie stref buforowych wokół jeziora z zakazem wycinki drzew; stosowanie płyt i zbiorników do przechowywania stałych oraz płynnych odchodów i odpadów gospodarskich; zakaz przechowywania obornika i kiszonki bezpośrednio na gruncie w strefie brzegowej jeziora; wzmożenie kontroli oraz egzekucja obowiązków w zakresie gromadzenia i odprowadzania ścieków; wyposażenie pól biwakowych oraz kąpielisk w toalety przenośne, a także prowadzenie działań kontrolnych w zakresie utylizacji ścieków; zakaz stosowania nawozów naturalnych w postaci płynnej oraz mineralnych azotowych na gruntach zamarzniętych, zalanych wodą, a także na gruntach pozbawionych okrywy roślinnej, których nachylenie jest większe niż 10%; zakaz stadnego wypasania zwierzą gospodarskich w okresach nadmiernego uwilgotnienia gleb oraz w pasie 100 metrów od brzegu jezior; zakaz stadnego pojenia zwierząt bezpośrednio przy jeziorze; wprowadzenie zakazu sztucznego zanęcania ryb przez wędkarzy.

Jezioro Strupino

Jezioro Strupino, obok Jeziora Białego, stanowi drugi zbiornik charakteryzujący się wodą o bardzo dobrych parametrach jakościowych. Najbliższe otoczeni jeziora stanowią lasy, jednak we wschodniej części zlewni aktywnej znajdują się zabudowania i grunty rolne miejscowości Szenajda. Stanowią one emitor potencjalnych zanieczyszczeń za pośrednictwem rowu melioracyjnego biegnącego przez mokradło do wschodniego brzegu jeziora. Poza tym, zagrożenie stanowić może także nadmierna rekreacja, rybactwo i wędkarstwo oraz niewłaściwa gospodarka leśna (np. rębnie zupełne w zlewni aktywnej, wycinka znacznej liczby drzew w strefie brzegowej itp.).

Podstawowym zadaniem ochronnym dla tego jeziora powinno być odcięcie dopływu rowem melioracyjnym, poprzez zasypanie lub wybudowanie zastawki. Pozwoli to na zatrzymanie potencjalnych zanieczyszczeń w mokradle, które naturalnie stanowiło obszar bezodpływowy. Ochrona jeziora Strupino powinna obejmować ponadto utrzymanie zadrzewienia strefy brzegowej (zakaz wycinki drzew itp.), zakaz sztucznego zanęcania ryb przez wędkarzy oraz połowu ryb przy wykorzystaniu sieci ciągnionych.

Jezioro Wdzydze Południowe

Jezioro Wdzydze Południowe odznacza się bardzo dużą odpornością na czynniki degradacyjne, jednak presja ze strony zlewni przekroczyła już zdolność jego naturalnej tolerancji. Spowodowało to znaczne pogorszenie się jakości wód. Jezioro posiada bardzo dużą zlewnię całkowitą (55 razy większą od powierzchni jeziora). Powoduje to, że zasilanie rzeczne stanowi ważny element bilansu wodnego oraz bilansu związków biogenicznych. Zagrożenia i zalecenia dotyczące ochrony jeziora są podobnie jak w przypadku Jeziora Radolnego. Poprawa jakości wód rzeki Wdy przyczyni się do poprawy jakości wód jezior składających się na zespół Wdzydz Północnych, co wpłynie następnie na stan Wdzydz Południowych. Zabiegi ochronne dotyczące zlewni bezpośredniej jeziora powinny dotyczyć głównie: blokowania rozwoju zabudowy stałej i rekreacyjnej w strefie przybrzeżnej o szerokości do 100 m; bezwzględnego uporządkowania gospodarki ściekowej w istniejącej zabudowie; zmniejszenie presji ze strony wykorzystania rekreacyjnego (zakaz używania silników spalinowych na jeziorze, wyposażenie pól biwakowych oraz kąpielisk gminnych w toalety przenośne, a także prowadzenie działań kontrolnych w zakresie utylizacji ścieków); zrównoważona gospodarka rybacka oraz rolna i leśna na obszarze zlewni aktywnej jeziora.

Jezioro Żołnowo

Pod względem zasilania Jezioro Żołnowo znajduje się w podobnej sytuacji jak Jezioro Radolne. Głównym źródłem zasilania tego jeziora jest dopływ z zespołu jezior Sudomie-Mielnica. Zlewnia całkowita jeziora Żołnowo jest ponad 700 razy większa od powierzchni jeziora. Drenują ją głównie rzeki Pilica i Graniczna, zmieniając nazwę na Trzebiocha w jeziorze Sudomie. Ze względu na rozmiar obszaru alimentacji, do jeziora mogą być więc transportowane zanieczyszczenia z obszarów bardzo odległych. Intensywność dopływu rzecznego sprawia, że wymiana wody w jeziorze następuje niemal 90 razy w ciągu roku. Odznacza to, że poprawa jakości wód rzek dopływających do jeziora może skutkować poprawą jakości wód jeziora Żołnowo. Jest to możliwe, o ile jeziora Sudomie i Mielnica nie będą eksportowały zanieczyszczeń ze swoich zlewni bezpośrednich oraz z zasilania wewnętrznego (materia zgromadzona w osadach dennych).

Działania ochronne dotyczące jeziora Żołnowo powinny dotyczyć zlewni bezpośredniej jeziora oraz zlewni Mielnicy i Sudomia, które stanowią obiekty tranzytowe dla materii płynącej ze bardzo dużej zlewni całkowitej. Zalecenia dotyczące zlewni całkowitej i

bezpośredniej jeziora Żołnowo oraz zlewni bezpośrednich Mielnicy i Sudomia są identyczne jak w przypadku Jeziora Radolnego i Wdzydz Południowych. Należy doprowadzić do uporządkowania gospodarki ściekowej w całej zlewni, dbać o powstanie i zabezpieczenie stref buforowych wokół jezior oraz o racjonalne gospodarowanie wodami i przyległymi gruntami.

Literatura

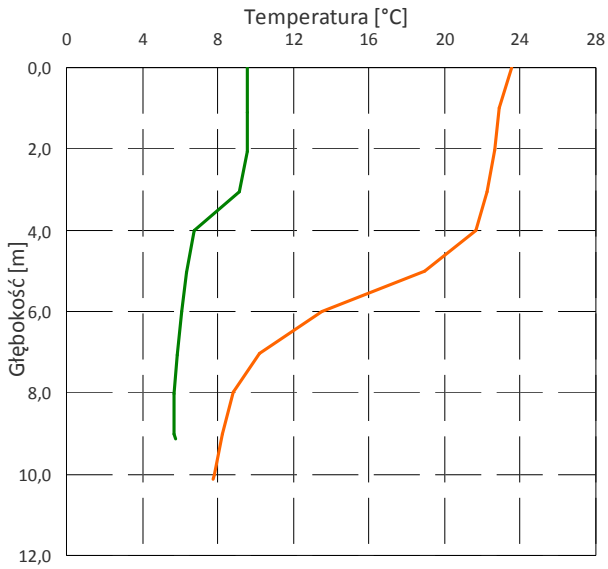
Bajkiewicz-Grabowska E., 2002, Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych, Wydaw. WGiSR UW, Warszawa, 274 s.

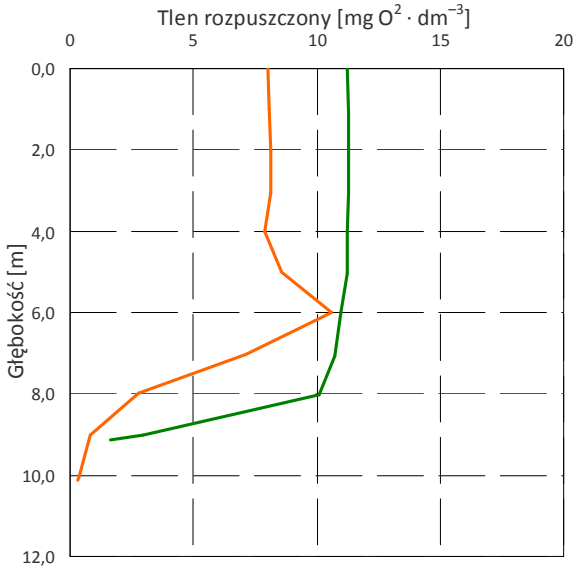
Carlson R.F., 1977, A trophic index for lakes, limnol. Oceanogr. 22(2): 361-369.

Załącznik 1

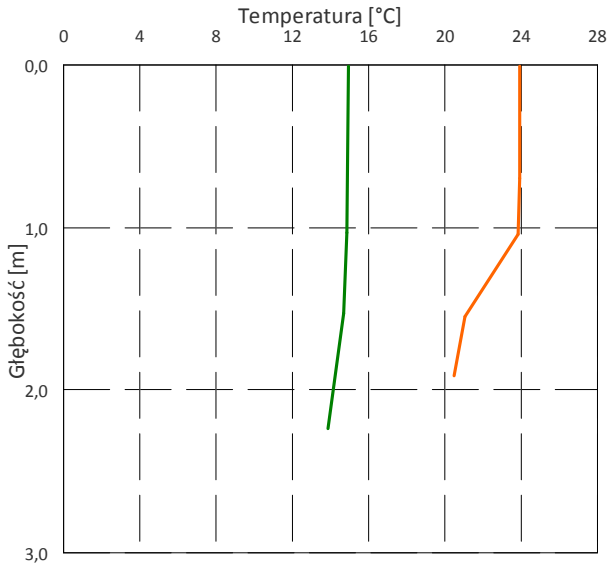
Pionowe rozkłady temperatury i stężenia tlenu wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (kolor zielony – kwiecień 2018, kolor pomarańczowy – lipiec 2018)

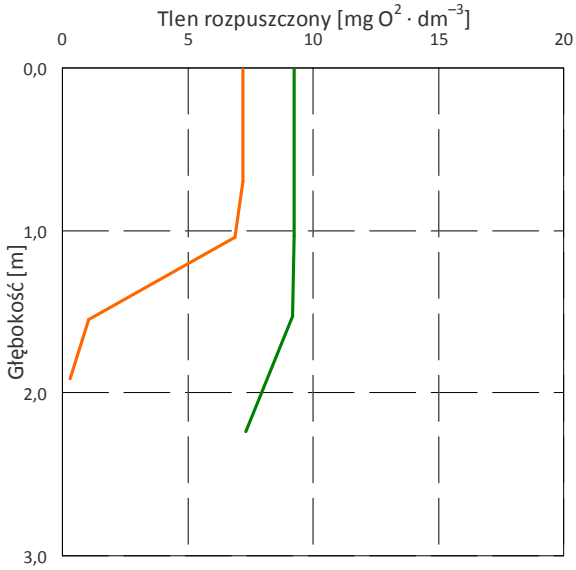
Jezioro Białe



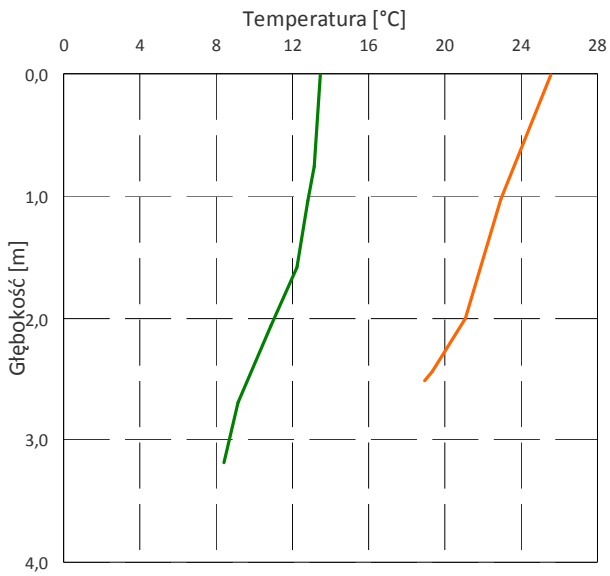


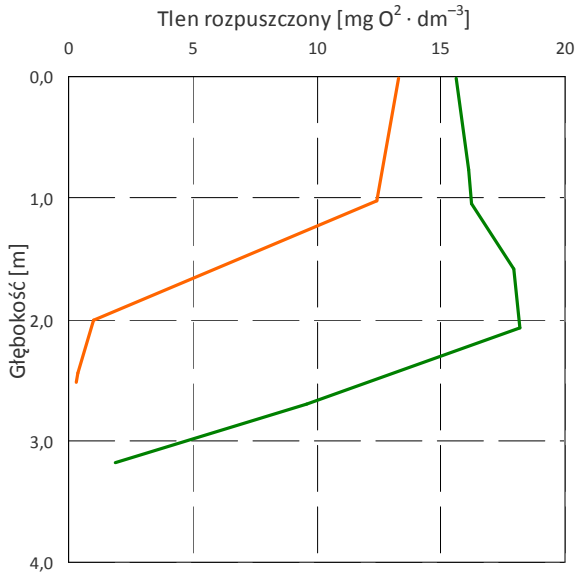
Jezioro Lipno



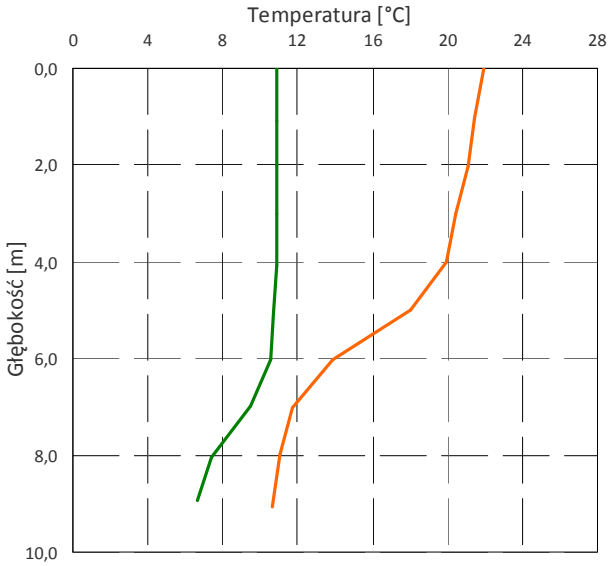


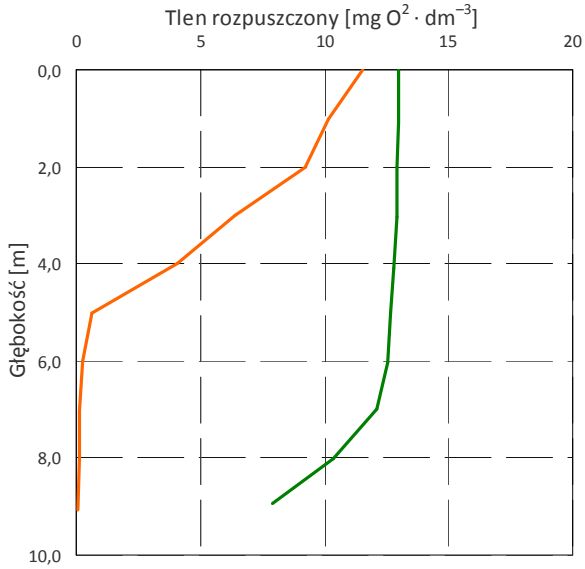
Jezioro Pomarczyn



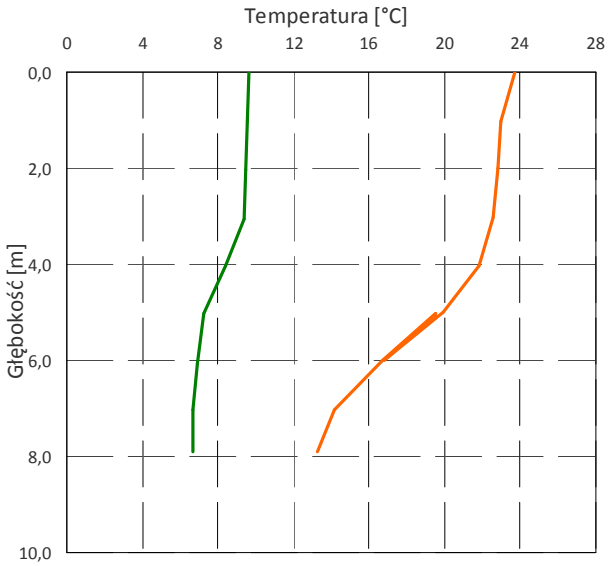


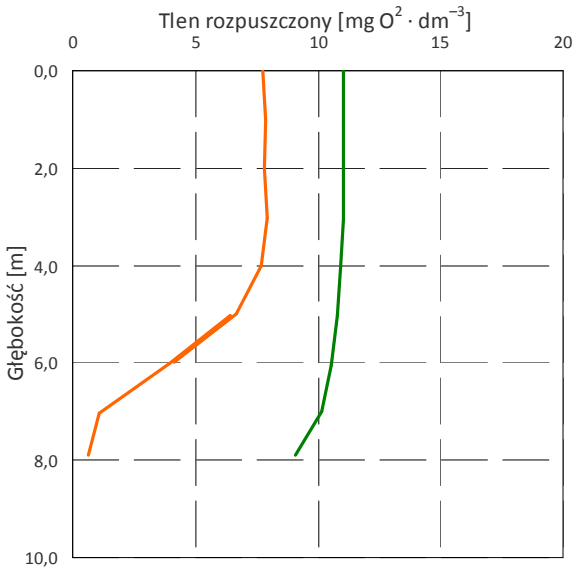
Jezioro Radolne



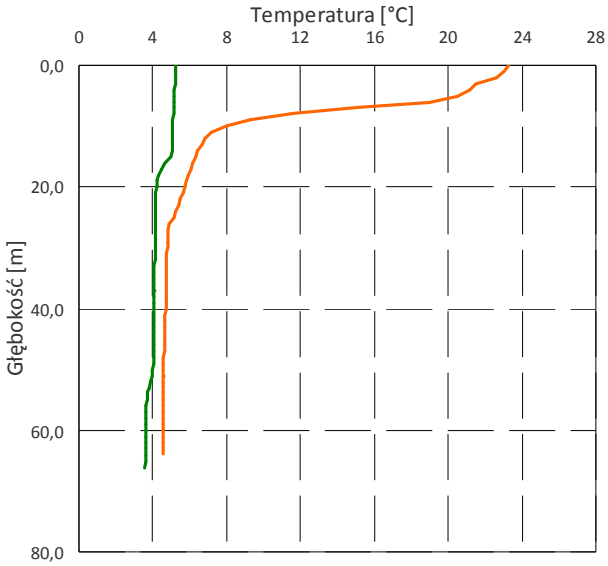


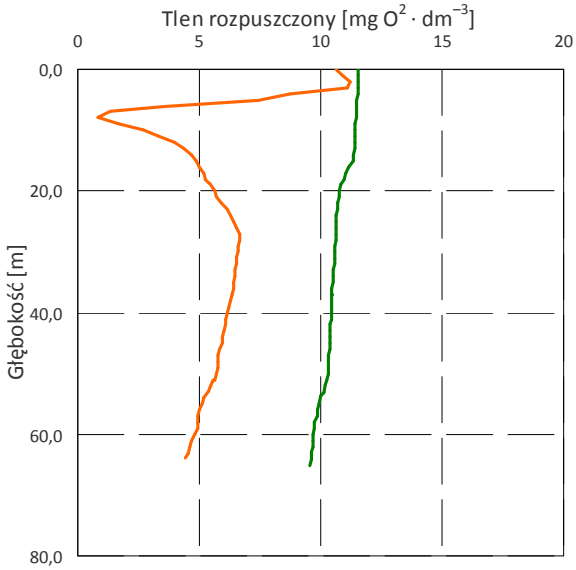
Jezioro Strupino



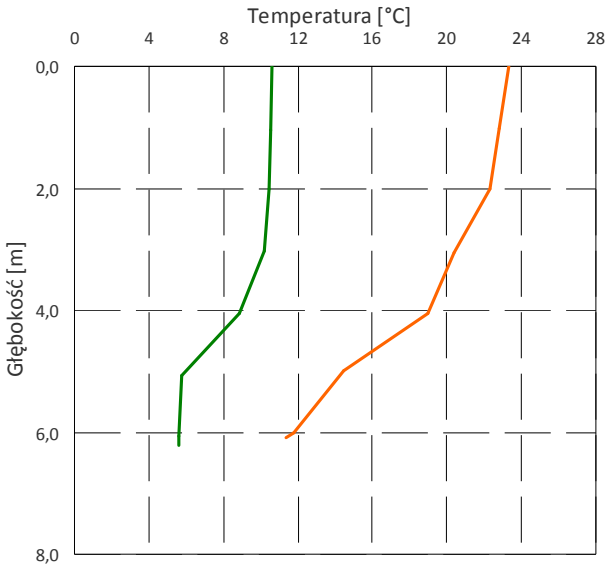


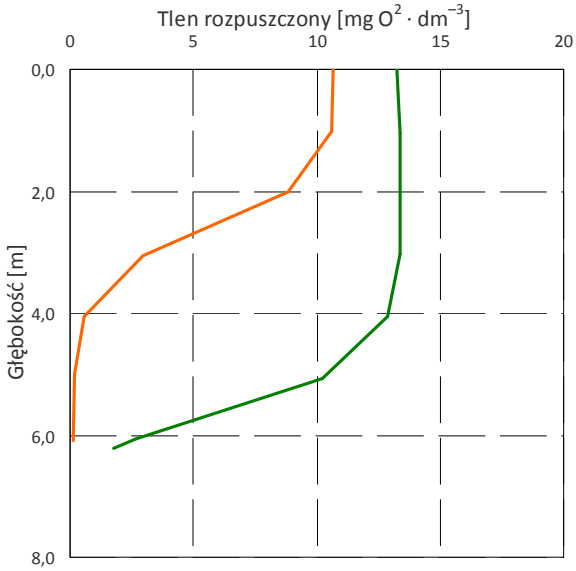
Jezioro Wdzydze Południowe





Jezioro Żołnowo

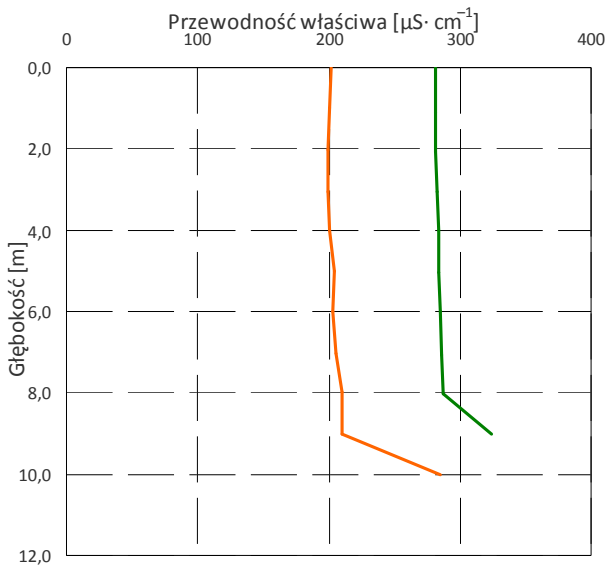


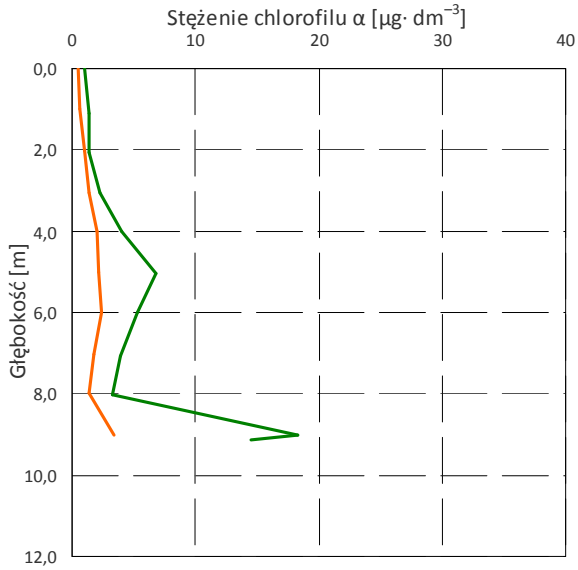


Załącznik 2

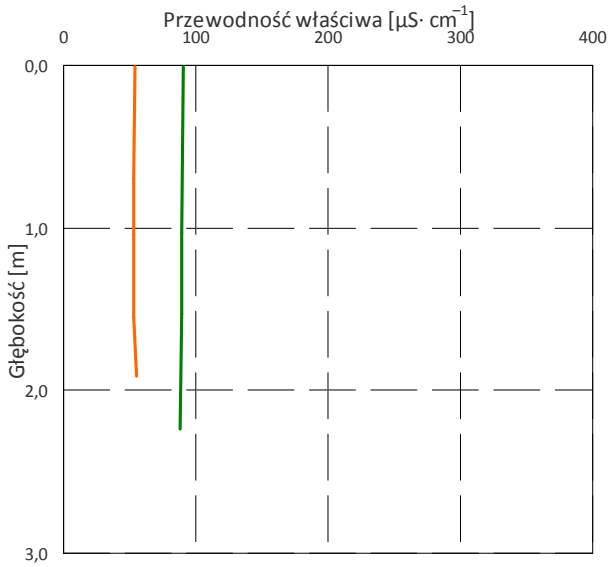
Pionowe rozkłady przewodności właściwej i stężenia chlorofilu *a* wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (kolor zielony – kwiecień 2018, kolor pomarańczowy – lipiec 2018)

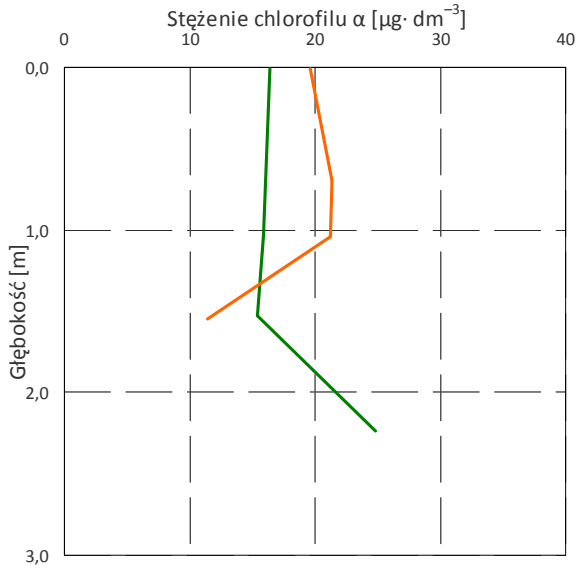
Jezioro Białe



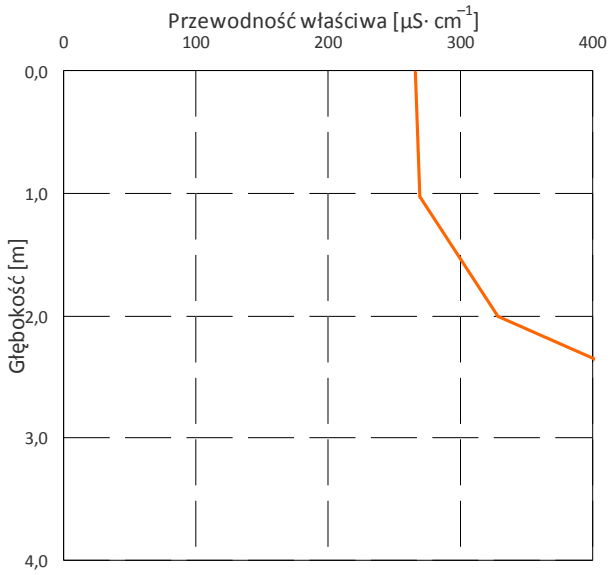


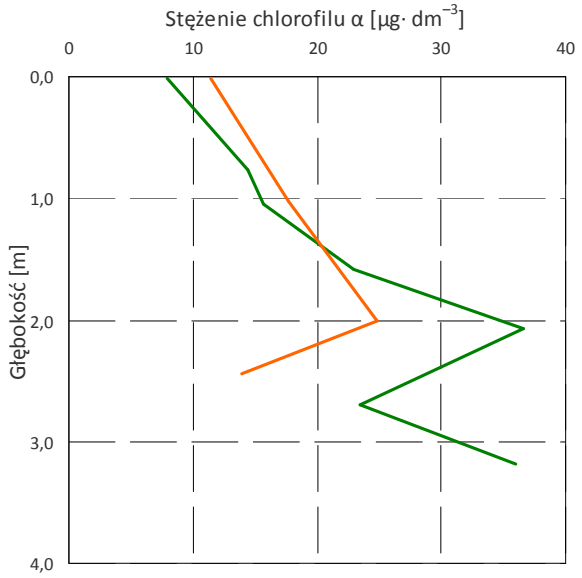
Jezioro Lipno



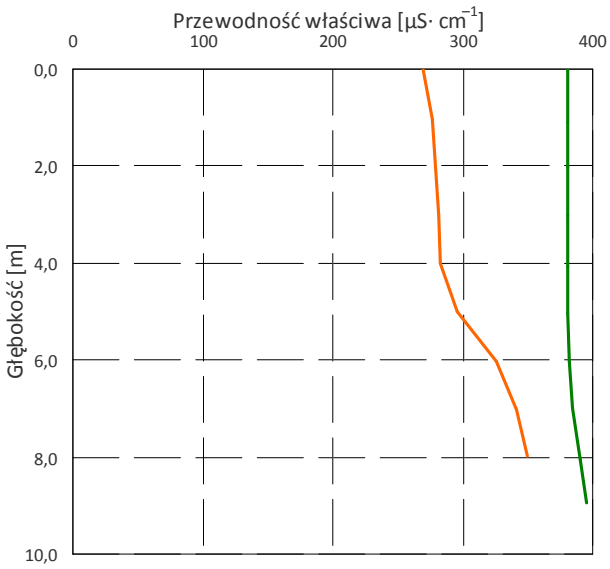


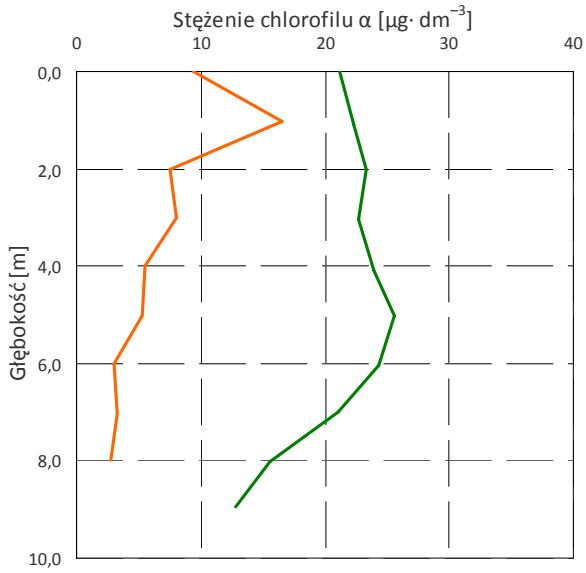
Jezioro Pomarczyn



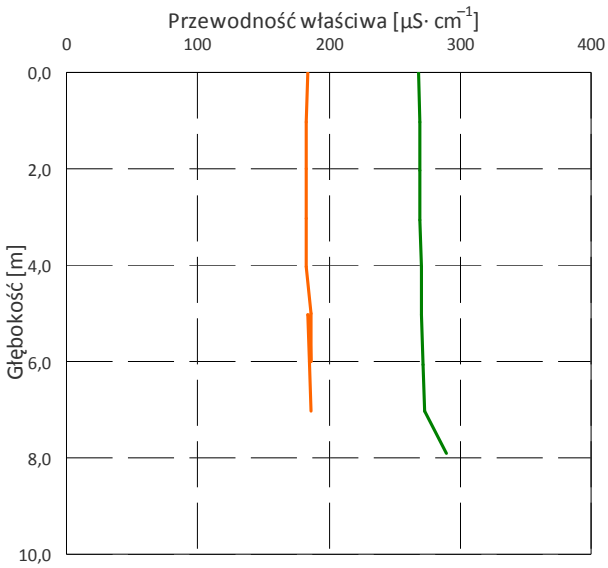


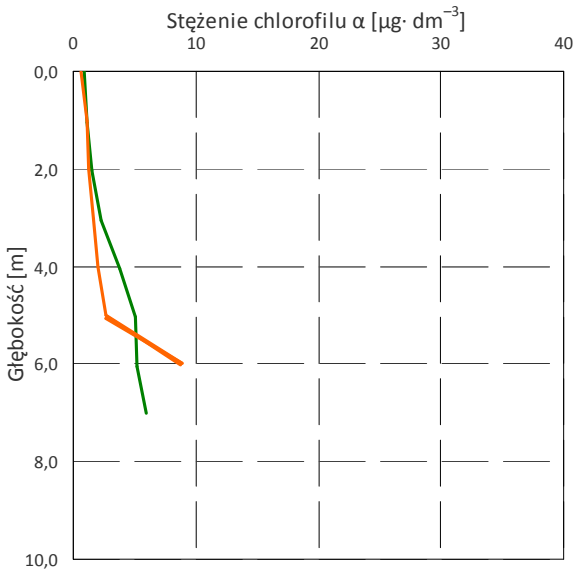
Jezioro Radolne



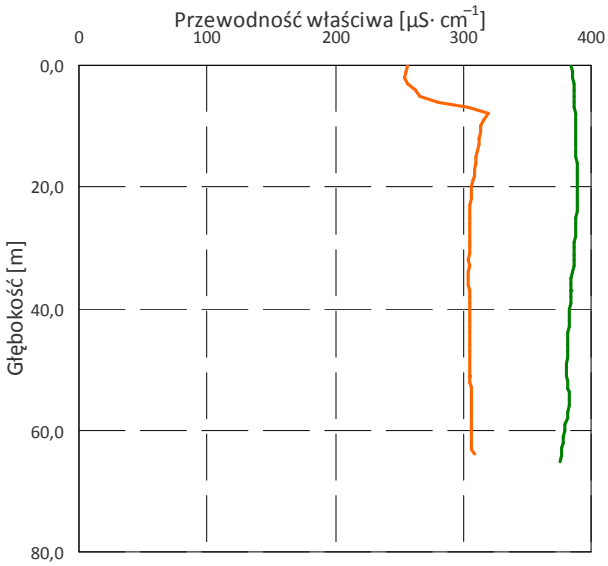


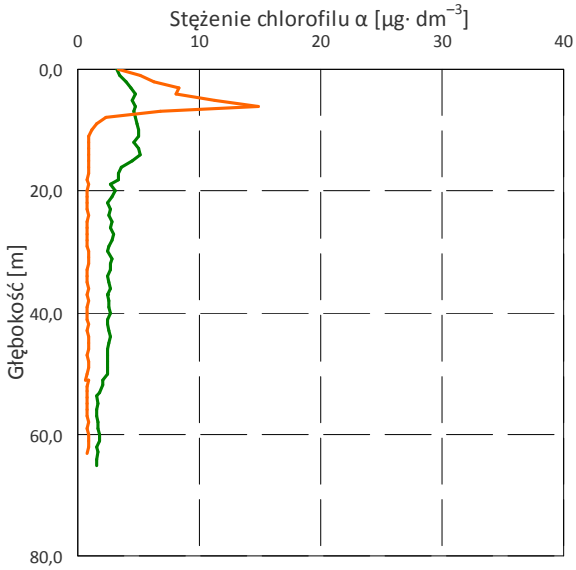
Jezioro Strupino



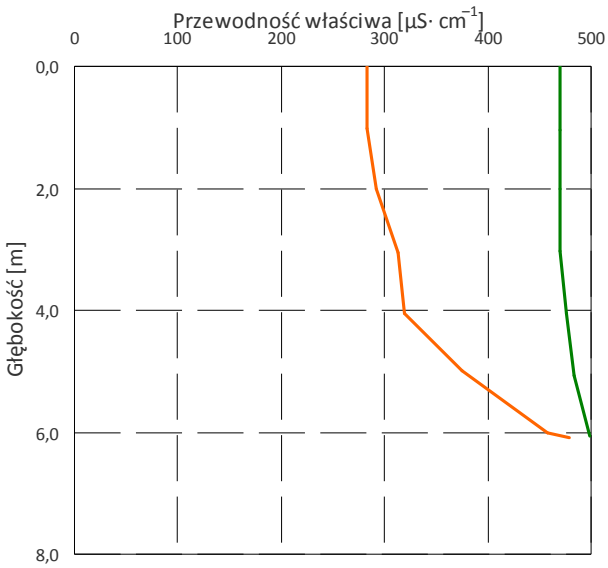


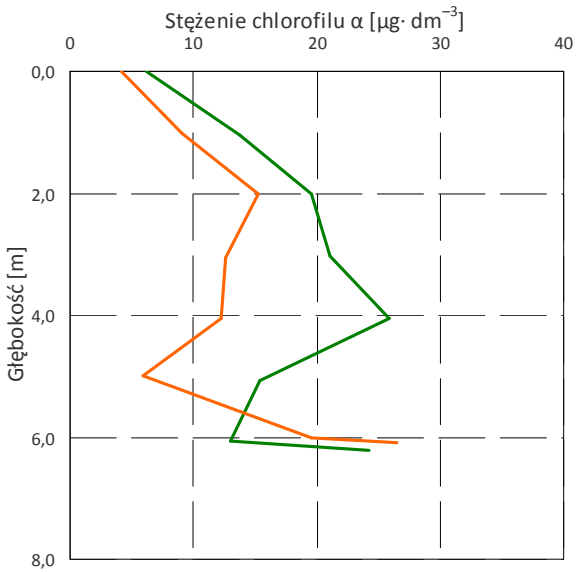
Jezioro Wdzydze Południowe





Jezioro Żołnowo





Załącznik 3

Pionowe rozkłady nasycenia tlenem wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (lipiec 2018)

Białe		**Lipno**		**Pomarczyn**		**Radolne**	
	ODO		ODO		ODO		ODO
m	(%)	m	(%)	m	(%)	m	(%)
0,4	94,3	0,3	85,5	0,4	162,5	0,5	131,8
1,0	94,2	0,6	85,3	1,0	145	1,0	115,1
2,0	93,9	1,0	81,6	2,0	11,1	2,0	103,6
3,0	93,7	1,5	11,7	2,5	3,6	3,0	70,8
4,0	89,5	1,9	3,3			4,0	44,7
5,0	92,1					5,0	6,6
6,0	101,7					6,0	2,2
7,0	63,2					7,0	1,2
8,0	24					8,0	0,9
9,0	6,9					9,0	0,8
10,0	3,3						
10,1	2,9						

Strupino

m	ODO (%)
0,4	91,4
1,0	91,7
2,0	90,5
3,0	91,7
4,0	87,7
5,0	73,4
6,0	69,7
7,0	40,4
8,0	10,4
9,0	6,3

Wdzydze Pd

m	ODO (%)
0,4	125,1
1,0	127,5
2,0	130,0
3,0	125,9
4,1	98,1
5,0	82,8
6,0	38,6
7,0	13,7
8,0	7,8
9,0	14,3
10,0	22,6
11,0	27,8
12,0	32,6
13,0	35,5
14,0	37,9
15,0	39,4
16,0	40,3
17,0	41,7
18,0	42,2
19,0	43,4
20,0	44,9
21,0	45,6
22,0	46,7
23,0	48,5
24,0	49,3
25,0	50,2
26,0	51,3
27,0	52,0
28,0	52,0
29,0	51,6
30,0	51,2
31,0	51,1
32,0	50,9
33,0	50,6
34,0	50,3
35,0	50,0
36,0	49,7
37,0	49,2
38,0	48,8
39,0	48,2
40,0	48,0
41,0	47,4
42,0	47,1
43,0	46,6
44,0	46,3
45,0	46,1
46,0	45,4
47,0	44,9
48,0	44,8
49,0	44,8
50,0	44,3
51,0	43,6
52,0	43,4
53,0	42
54,0	41,6
55,0	40,5
56,0	39,7
57,0	38,9
58,0	38,5
59,0	38,3
60,0	38,1
61,0	37,5
62,0	36,2
63,0	35,6
64,0	35,2
65,0	34,3

Żołnowo

m	ODO (%)
0,4	125,1
1,0	123,1
2,0	101,9
3,0	33
4,0	6,3
5,0	2,1
6,0	1,3
6,1	1,3

Załącznik 4

Pionowe rozkłady odczynu wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (lipiec 2018)

Białe		**Lipno**		**Pomarczyn**		**Radolne**	
m	pH	m	pH	m	pH	m	pH
0,4	8,5	0,3	6,7	0,4	162,5	0,5	8,3
1,0	8,4	0,6	5,9	1,0	145	1,0	8,3
2,0	8,3	1,0	5,6	2,0	11,1	2,0	8,2
3,0	8,3	1,5	5,5	2,5	3,6	3,0	8,1
4,0	8,3	1,9	5,5			4,0	7,9
5,0	8,4					5,0	7,8
6,0	8,6					6,0	7,8
7,0	8,6					7,0	7,7
8,0	8,4					8,0	7,6
9,0	8,1					9,0	7,4
10,0	7,7						
10,1	7,5						

Strupino		Wdzydze Pd				Żołnowo	
m	pH	m	pH	m	pH	m	pH
0,4	8,5	0,4	8,6	41,0	7,3	0,4	8,3
1,0	8,5	1,0	8,6	42,0	7,3	1,0	8,4
2,0	8,3	2,0	8,6	43,0	7,3	2,0	8,3
3,0	8,3	3,0	8,6	44,0	7,3	3,0	8,1
4,0	8,2	4,1	8,5	45,0	7,3	4,0	8,0
5,0	7,8	5,0	8,4	46,0	7,3	5,0	7,7
6,0	7,7	6,0	8,2	47,0	7,3	6,0	7,4
7,0	7,7	7,0	8,3	48,0	7,3	6,1	7,2
8,0	7,7	8,0	8,3	49,0	7,3		
9,0	7,5	9,0	8,3	50,0	7,3		
		10,0	8,2	51,0	7,3		
		11,0	8,1	52,0	7,3		
		12,0	8,0	53,0	7,3		
		13,0	7,8	54,0	7,3		
		14,0	7,8	55,0	7,3		
		15,0	7,7	56,0	7,3		
		16,0	7,7	57,0	7,2		
		17,0	7,7	58,0	7,2		
		18,0	7,6	59,0	7,2		
		19,0	7,6	60,0	7,2		
		20,0	7,6	61,0	7,2		
		21,0	7,6	62,0	7,2		
		22,0	7,5	63,0	7,2		
		23,0	7,5	64,0	7,2		
		24,0	7,5	65,0	7,2		
		25,0	7,5				
		26,0	7,5				
		27,0	7,5				
		28,0	7,5				
		29,0	7,5				
		30,0	7,5				
		31,0	7,4				
		32,0	7,4				
		33,0	7,4				
		34,0	7,4				
		35,0	7,4				
		36,0	7,4				
		37,0	7,4				
		38,0	7,4				
		39,0	7,4				
		40,0	7,3				

Załącznik 5

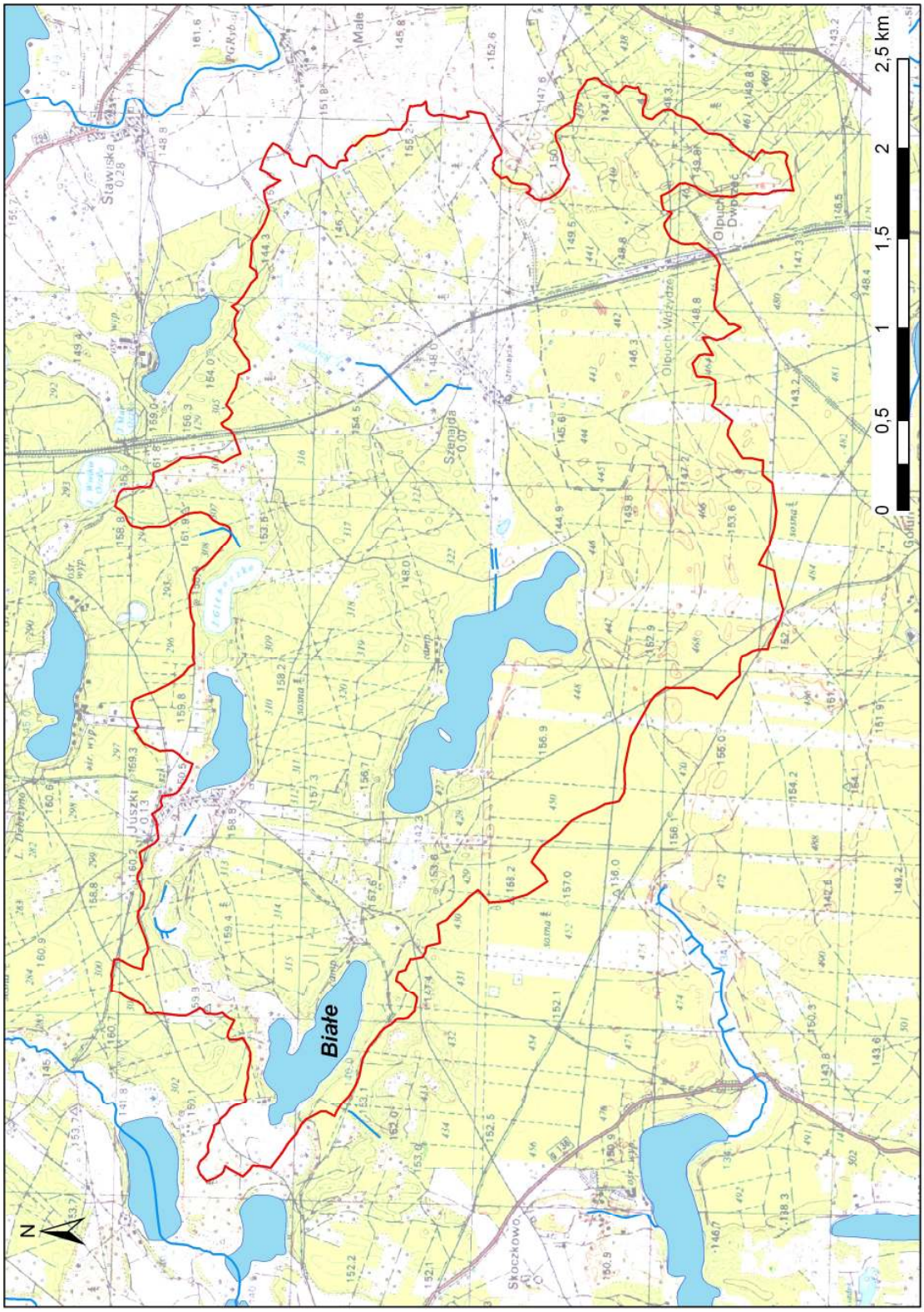
Pionowe rozkłady mętności wód jezior Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego (lipiec 20187)

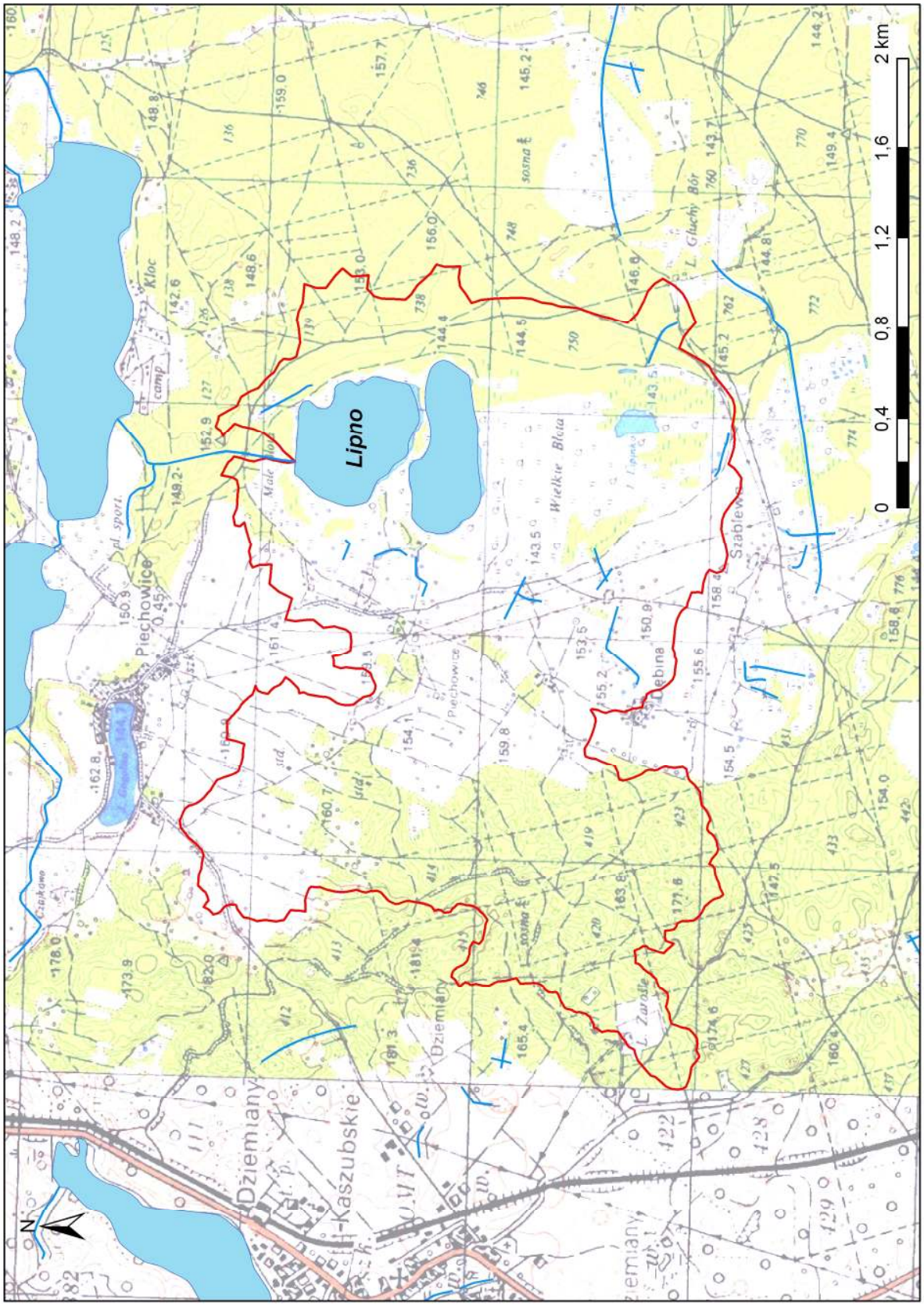
Białe		**Lipno**		**Pomarczyn**		**Radolne**	
m	FNU	m	FNU	m	FNU	m	FNU
0,4	0,50	0,3	0,37	0,4	12,55	0,5	3,68
1,0	0,48	0,6	0,41	1,0	14,17	1,0	3,74
2,0	0,46	1,0	0,38	2,0	9,45	2,0	2,35
3,0	0,46	1,5	2,32	2,5	14,00	3,0	1,71
4,0	0,43					4,0	1,7
5,0	0,39					5,0	1,24
6,0	0,35					6,0	1,93
7,0	0,45					7,0	2,86
8,0	0,43					8,0	2,06
9,0	0,50						

Strupino		Wdzydze Pd				Żołnowo	
m	FNU	m	FNU	m	FNU	m	FNU
0,4	0,50	0,4	3,29	41,0	0,23	0,4	2,92
1,0	0,54	1,0	3,51	42,0	0,26	1,0	3,02
2,0	0,50	2,0	3,83	43,0	0,20	2,0	4,16
3,0	0,47	3,0	4,35	44,0	0,15	3,0	3,03
4,0	0,48	4,1	2,81	45,0	0,18	4,0	9,21
5,0	0,43	5,0	2,74	46,0	0,13	5,0	7,29
6,0	0,27	6,0	2,31	47,0	0,18	6,0	13,09
7,0	0,20	7,0	0,87	48,0	0,04		
8,0	0,08	8,0	0,7	49,0	0,28		
		9,0	0,27	50,0	0,23		
		10,0	0,23	51,0	0,15		
		11,0	0,16	52,0	0,19		
		12,0	0,06	53,0	0,17		
		13,0	0,11	54,0	0,02		
		14,0	0,03	55,0	0,13		
		15,0	0,13	56,0	0,00		
		16,0	0,05	57,0	0,01		
		17,0	0,10	58,0	0,07		
		18,0	0,13	59,0	0,02		
		19,0	0,16	60,0	0,02		
		20,0	0,13	61,0	0,04		
		21,0	0,17	62,0	0,45		
		22,0	0,27	63,0	0,33		
		23,0	0,26	64,0	0,29		
		24,0	0,32				
		25,0	0,27				
		26,0	0,33				
		27,0	0,27				
		28,0	0,30				
		29,0	0,17				
		30,0	0,32				
		31,0	0,28				
		32,0	0,34				
		33,0	0,26				
		34,0	0,34				
		35,0	0,08				
		36,0	0,17				
		37,0	0,23				
		38,0	0,25				
		39,0	0,23				
		40,0	0,23				

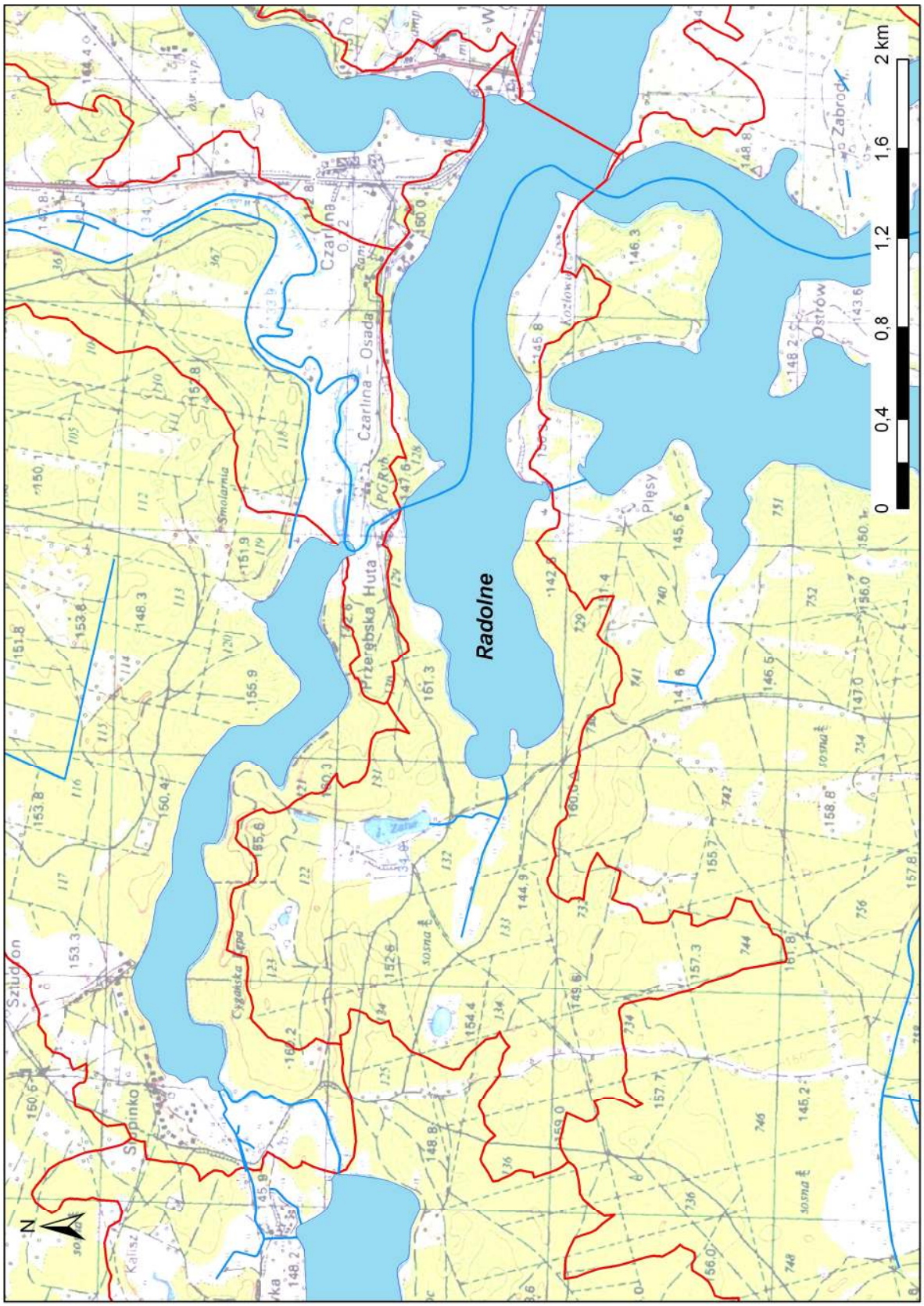
Załącznik 6

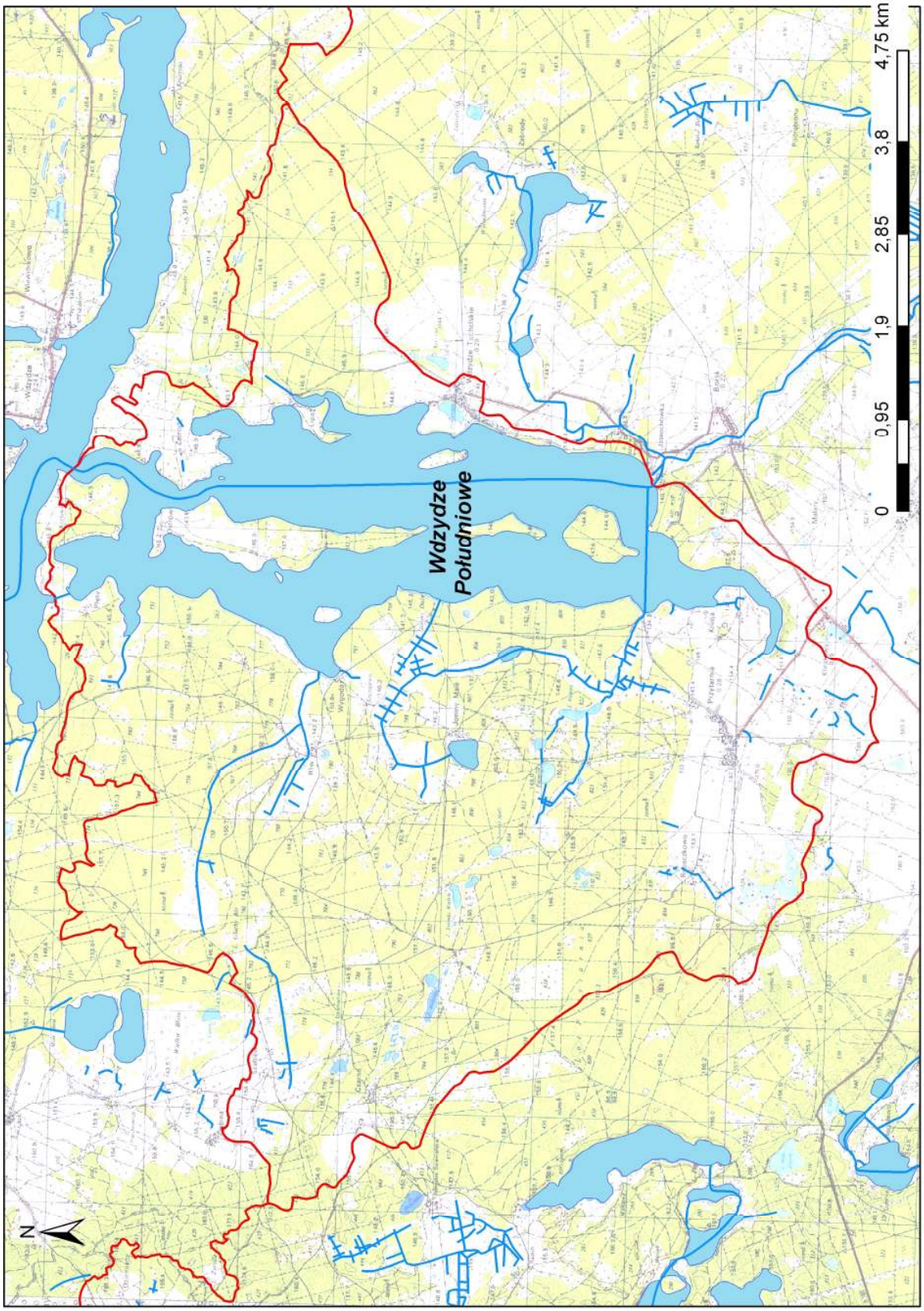
Zlewnie jezior

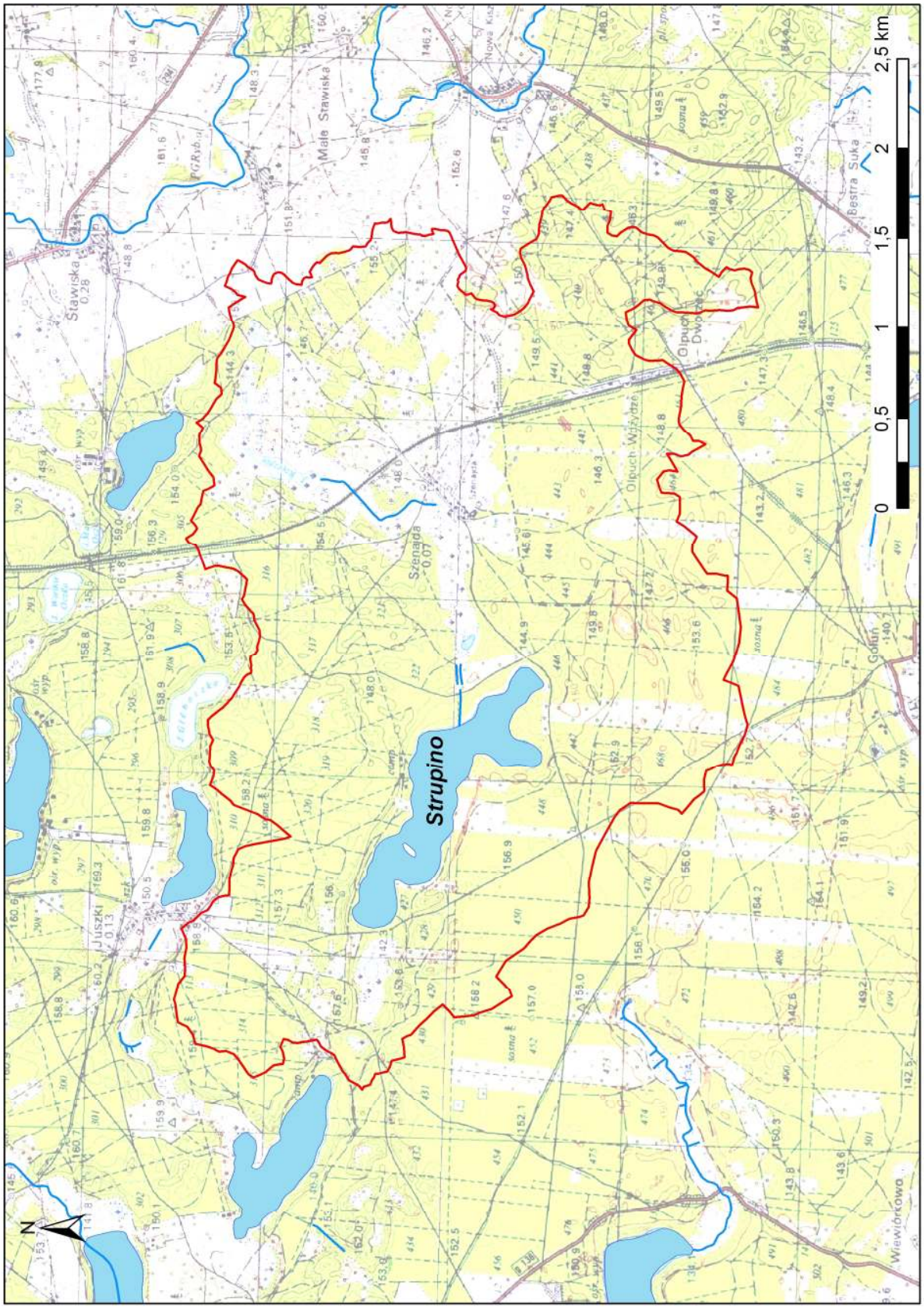



Lipno
Piechowice
Dziemiany
Kaszubskie
Debina
Szablewo
Wielkie Błota
L. Głuchy Bór
Kloc
N
0
0,4
0,8
1,2
1,6
2 km

N
Pomarczyn
Wdzydze Tuc
0,29
144
134,9
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5 km


Radolne
Czarlina
Czarlina – Osada
Przergbska Huta
Plęsy
Ostrów
Zabrodzie
Szlubon
Sypinko
Kalisz
Smolarnia
Cygańska Kępa
N
0
0,4
0,8
1,2
1,6
2 km


Wdzydze
Południowe
N
0
0,95
1,9
2,85
3,8
4,75 km


Strupino
N
0
0,5
1
1,5
2
2,5 km

Żołnowo
N
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1 km