

WYDZIAŁ NAUK O ŚRODOWISKU  
KATEDRA INŻYNIERII OCHRONY WÓD

**„EUTROFIZACJA JEZIORA ŚWIĘTEGO W OBRZE:  
STAN EKOLOGICZNY, ZAGROŻENIA,  
MOŻLIWOŚCI OCHRONY I REKULTYWACJI”**

*ETAP 1 - Badania fizyko-chemiczne i biologiczne Jeziora Świętego oraz pomiary hydrologiczne (część pierwsza), opracowanie wyników stanu jakości wód jeziora  
Sprawozdanie z badań monitoringowych wykonanych w roku 2017*

**Zleceniodawca**

Gmina Wolsztyn  
ul. Rynek 1  
64-200 Wolsztyn

**Kierownik badań**

**Autorzy opracowania**

*dr hab. inż. Jolanta Grochowska  
dr hab. Robert Czerniawski, prof. US  
dr inż. Michał Łopata  
dr inż. Renata Tandyrak  
dr inż. Katarzyna Parszuto  
dr inż. Renata Augustyniak  
mgr inż. Marzena Karpienia*

---

## SPIS TREŚCI

<b>CEL I ZAKRES BADAŃ .....</b>	<b>3</b>
<b>MATERIAŁ I METODY .....</b>	<b>3</b>
<b>WYNIKI BADAŃ.....</b>	<b>7</b>
Warunki termiczno-tlenowe.....	7
Hydrochemia.....	14
Wskaźniki biologiczne.....	22
<b>PODSUMOWANIE .....</b>	<b>34</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>35</b>

---

## CEL I ZAKRES BADAŃ

W roku bieżącym, w ramach zawartej umowy nr **11/V/2017/KOS** z dnia 29.06.2017 r. zrealizowano pierwszy etap badań fizyczno-chemicznych i biologicznych wody Jeziora Świętego w Obrze oraz pomiary hydrologiczne i hydrochemiczne cieków dopływających.

Pełen cykl badań, którego zakończenie przewidziano na kwiecień 2018r. będzie stanowił merytoryczną podstawę do opracowania ekspertyzy: „**Eutrofizacja Jeziora Świętego w Obrze: stan ekologiczny, zagrożenia, możliwości ochrony i rekultywacji**”. Konieczność podjęcia działań zmierzających do powstrzymania postępującej degradacji jeziora wynika z obserwowanego w ostatnich latach sukcesywnego pogarszania się właściwości organoleptycznych wód tego akwenu.

## MATERIAŁ I METODY

Badania jeziora przeprowadzono 6-krotnie w następujących terminach: 8 kwietnia, 29 maja, 4 lipca, 3 września, 28 października. W tych samych terminach badano również warunki przepływu i chemizm wód kanału Pintus oraz jego dopływu spod Powodowa jak również Jeziora Berzyńskiego (stanowisko na wypływie).

Do poboru próbek wody z jezior używano 3-litrowego aparatu Ruttnera. Badania fizyczno-chemiczne wód jeziora obejmowały układy termiczno-tlenowe na poszczególnych stanowiskach wykonywane co 1 m głębokości przy użyciu sondy z tlenomierzem optycznym PRO ODO firmy YSI, pomiar przezroczystości wód określony zasięgiem widzialności krążka Secchiego oraz pełną analizę chemiczną wód pobranych z głębokości 1,0 m pod powierzchnią i około 1 m nad dnem. Wykonano następujące oznaczenia:

- ✓ odczyn wody, przewodnictwo elektrolityczne,
- ✓ fosfor mineralny, organiczny i ogólny,
- ✓ azot amonowy, azotanowy, organiczny i ogólny,
- ✓ BZT<sub>5</sub>, ogólny węgiel organiczny, utlenialność,
- ✓ chlorofil „a”, sucha masa sestonu (zawiesina),
- ✓ alkaliczność, twardość ogólna, wapń, magnez,
- ✓ żelazo, mangan.

Wszystkie analizy wód wykonano zgodnie z metodyką stosowaną w badaniach hydrochemicznych podaną przez Hermanowicza i in. (1999).

Fitoplankton i zooplankton oznaczano z próbek zlewanych, z obu stanowisk pomiarowych z wody do głębokości 5m wiosną i jesienią, latem zaś z epilimnionu. Próby pobierano siatką planktonową 30 $\mu$ m, i po zakonserwowaniu płynem Lugola i formaldehydem oznaczano metodą mikroskopową.

Próby makrozoobentosu pobrano we wrześniu 2017 ze strefy litoralowej jeziora metodą „Kick sampling” (1 minuta) z dwóch stanowisk. Następnie próby zakonserwowano alkoholem etylowym i przetransportowano do laboratorium w celu dalszej analizy. Organizmy przebrano pod mikroskopem stereoskopowym i oznaczono do możliwie najniższego poziomu taksonomicznego.

Makrofity i okrzemki peryfitonowe oznaczano we wrześniu 2017, metodą transektów, zgodnie z metodami obowiązującymi i zalecanymi w monitoringu hydrobiologicznym. Próbkę materiału peryfitinowego pobierano z 10 transektów rozmieszczonych równomiernie na całej długości linii brzegowej i po zakonserwowaniu i przetransportowaniu do laboratorium oznaczano pod mikroskopem stereoskopowym.

Badania ichtiofauny Jeziora Świętego przeprowadzono we wrześniu 2017 roku. Ryby odławiano z dziesięciu najbardziej reprezentatywnych miejsc jeziora, w litoralu, przy użyciu elektrycznego urządzenia do połowu ryb IUP-12. U złowionych ryb mierzono całkowitą długość *totalis*, następnie je ważono. Po pomiarach dane wprowadzono do podstawowej analizy statystycznej i do obliczenia wskaźnika kondycji ryb. Po zmierzeniu i zważeniu wszystkie ryby zostały z powrotem wpuszczone do wody. Wszystkie zabiegi przeprowadzono przyżyciowo.

Prędkość wody w ciekach (stanowiska wskazane na rys. 1) mierzono przy użyciu przepływomierza elektromagnetycznego VALEPORT (model 801). Przepływ chwilowy obliczono stosując metodę rachunkową Harlachera (Bajkiewicz-Grabowska i Magnuszewski 2009). Tam gdzie była możliwość uchwycenia całej strugi płynącej wody do naczynia podstawionego do określenia natężenia przepływu stosowano metodę wolumetryczną.

Osady denne pobierano przy użyciu aparatu Kajaka o średnicy 52 mm i długości 0,5 m z sześciu stanowisk (Rys. 2). Jako wodę nadosadową traktowano 10 centymetrową warstwę wody znajdującą się nad osadami. Pobrane, niezaburzone rdzenie osadów dennych o miąższości 10 cm, dzielono na dwie warstwy po 5 cm każda. Wody interstycjalne uzyskiwano przez 20-minutowe odwirowanie próbek osadów dennych przy 3000 obrotów/minutę. Wody nadosadowe i interstycjalne po przesączeniu przez sącdek z bibuły

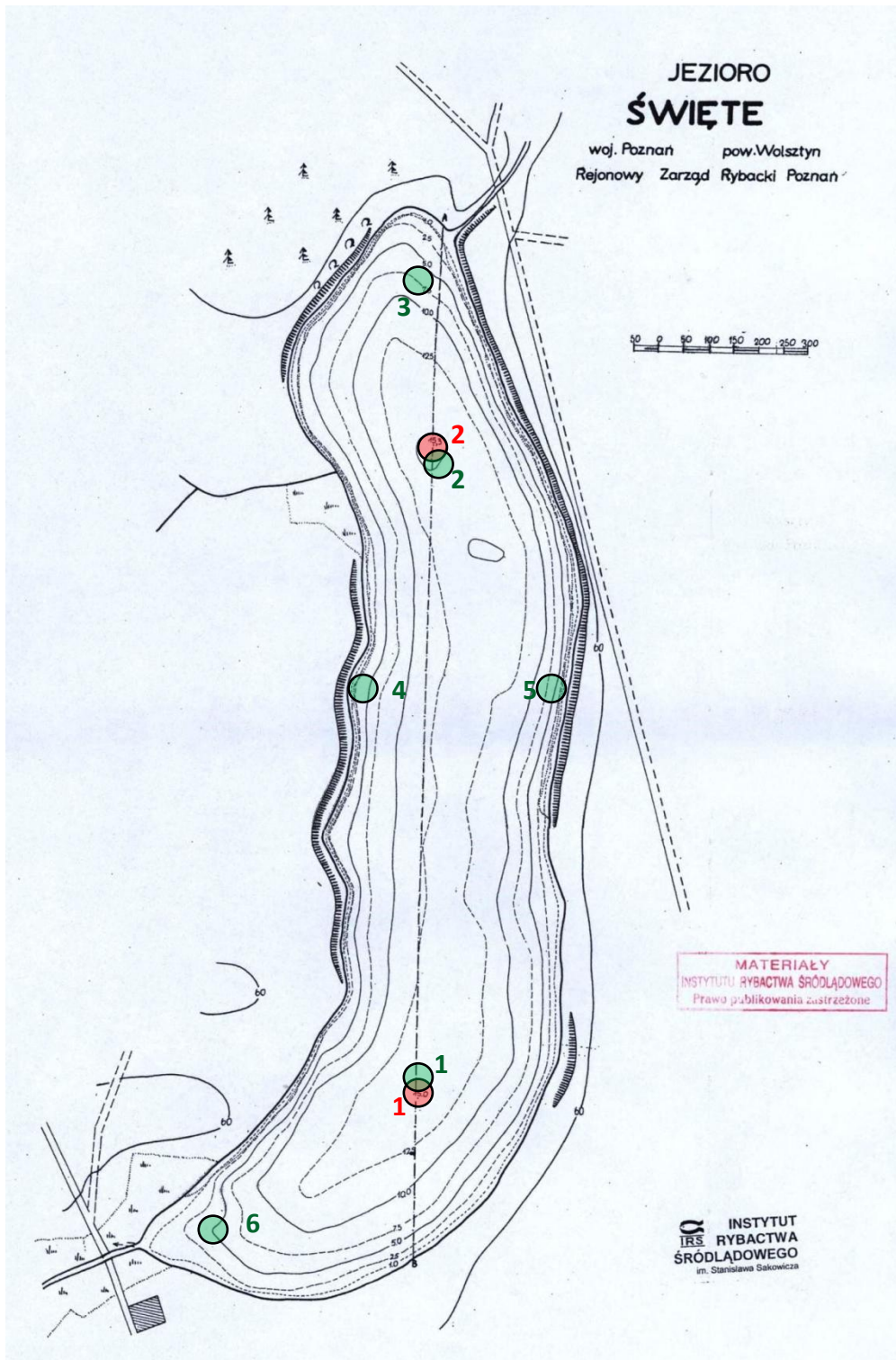
poddawano analizie chemicznej zgodnie z metodyką stosowaną w wodach powierzchniowych. Oznaczano w nich:

- ✓ fosfor mineralny, organiczny i ogólny,
- ✓ azot amonowy, organiczny i ogólny,
- ✓ ogólny węgiel organiczny.

Odwirowane osady dennie po wysuszeniu zostały zabezpieczone w celu dalszych analiz zgodnie z metodyką podaną przez Januszkiewicza (1978) i van Hullebuscha i in. (2003).



Rys. 1. Lokalizacja punktów kontrolnych monitoringu cieków w zlewni.



Rys. 2. Plan batymetryczny Jeziora Świętego (IRŚ 1959). Opublikowano na potrzeby niniejszego opracowania za zgodą Instytutu Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie. Wszelkie prawa do grafiki zastrzeżone. Kolor czerwony – stanowiska poboru wody jeziorowej, kolor zielony – stanowiska poboru osadów dennych.

## WYNIKI BADAŃ

### Warunki termiczno-tlenowe

Badania wykonane na początku kwietnia na obu stanowiskach badawczych wskazywały już początki stratyfikacji termicznej z tworzącym się epilimnionem ogrzanym do 10,5-10,6°C. Wskazuje to na krótkotrwałą i niepełną cyrkulację wód w okresie wiosennym. Badania wykonane w maju, czerwcu i lipcu potwierdziły letnią stagnację wód, z typowym dla tego okresu uwarstwieniem.

Na stanowisku 1 w maju epilimnion obejmował swym zasięgiem wody do głębokości 2 m (20,5-21,9°C) i pogłębiał się do 4 m w lipcu (20,3-21,2 °C) i na początku września (20,2-20,4°C). Termoklina rozpoczynała się maksymalnym dla profilu gradientem termicznym (3,3°C/m w maju, 6,1°C/m w lipcu i 5,1°C/m we wrześniu), sięgała 9 m w maju i lipcu, we wrześniu zaś ograniczyła się do 8 m. Poniżej znajdował się wyrównany termicznie hypolimnion z temperaturą w najgłębszej partii wód wynoszącą 5,4-5,7°C.

Na stanowisku 2 w maju epilimnion sięgał 2 m głębokości, w kolejnych miesiącach pogłębił się do 4 m (podobnie jak na stanowisku 1). Termoklina w lipcu obejmowała warstwę wód do głębokości 8 m, a następnie rozszerzyła się do 9 m głębokości. Maksymalny gradient termiczny we wrześniu wystąpił już w obszarze termokliny (między 5 a 6 m głębokości) i wynosił 4,1 °C/m. Temperatura hypolimnionu była nieco wyższa w porównaniu do stanowiska 1 i wynosiła 5,5-5,9°C.

Badania wykonane w październiku wskazywały na cyrkulację oziębiającą - epilimnion ochłodził się do 12,1-12,2°C i pogłębił do 7-8 m. Temperatura wód w najgłębszych partiach nie wykazywała zmiany w stosunku do pomiarów letnich.

Profile termiczne i tlenowe określone dla stanowiska 1 i 2 różniły się nieznacznie. Wyniki tych pomiarów zestawiono w tabelach 1 i 4 oraz na rysunkach 3 i 5.

Profilom termicznym odpowiadały układy tlenowe. Na żadnym ze stanowisk cyrkulacja wiosenna nie uzupełniła ubytków tlenu z okresu zimy. Podczas wiosennego mieszania wód Jeziora Świętego powierzchniowe warstwy były natlenione do 13,6 mgO<sub>2</sub>/l (co odpowiadało 121,1-122,3 %O<sub>2</sub>). Poniżej 6 m głębokości na obu stanowiskach występował już deficyt tlenu, początkowo niewielki, ale wzrastający wraz z głębokością jeziora. Nad dnem woda zawierała jedynie ślady obecności tlenu (0,9 mg/l, 7,2% O<sub>2</sub>).

W okresie stagnacji letniej również obserwowano przetlenienie wód epilimnionu, zwłaszcza w lipcu (na obu stanowiskach do 127,5% O<sub>2</sub>, co odpowiadało 11,3 mgO<sub>2</sub>/l). Deficyt tlenu występował już na głębokości 5 m w lipcu i 4 m we wrześniu na obu

stanowiskach i doprowadzał do całkowitego odtlenienia wód w warstwach najgłębszych. Zasięg warstwy odtlenionej powiększał się w miarę trwania stagnacji letniej. Na stanowisku 1 zasięg ten znajdował się poniżej 13 m w maju, w lipcu poniżej 10, a we wrześniu poniżej 6 m głębokości. Na stanowisku 2 było podobnie: w maju poniżej 10 m, w lipcu poniżej 9 m, a we wrześniu poniżej 6 m głębokości.

Podczas cyrkulacji jesiennej wykazano deficyt tlenu w całej objętości wód (73-79% O<sub>2</sub>) do głębokości 6 m (8,1-8,3 mg O<sub>2</sub>/l), głębsze warstwy pozostawały odtlenione (tab. 2, 3, 5, 6, rys. 4 i 6). Stwierdzono również obecność toksycznego siarkowodoru. Próbkę pobrane z głębokości 15 m zawierały ten gaz w stężeniach 8,52 mg HS<sup>-</sup>/l i 9,70 mg HS<sup>-</sup>/l (odpowiednio we wrześniu i październiku).

Tabela 1. Stanowisko 1. Profile termiczne – T [°C]

Głębokość [m]	8.04.2017	29.05.2017	4.07.2017	3.09.2017	28.10.2017
0	10,5	21,9	21,2	20,3	12,1
1	10,6	21,5	21,0	20,4	12,1
2	10,6	20,5	21,0	20,4	12,2
3	10,6	16,6	20,7	20,3	12,2
4	8,3	13,3	20,3	20,2	12,2
5	6,9	10,9	14,2	18,6	12,2
6	6,3	10,0	10,9	13,5	12,2
7	5,7	8,4	9,0	10,0	11,7
8	5,6	7,3	7,8	8,1	10,6
9	5,4	6,8	6,7	7,3	8,3
10	5,3	6,0	6,1	6,6	7,0
11	5,3	5,6	6,0	6,2	6,5
12	5,3	5,5	5,6	6,0	6,3
13	5,3	5,4	5,5	5,8	6,0
14	5,2	5,4	5,6	5,7	5,8
15	5,2	14,3 dno	5,6	5,7	5,8



Tabela 2. Stanowisko 1. Profile tlenowe [ $\text{mgO}_2/\text{l}$ ]

Głębokość [m]	8.04.2017	29.05.2017	4.07.2017	3.09.2017	28.10.2017
0	13,5	9,71	11,2	9,46	8,32
1	13,6	8,8	11,2	9,47	8,22
2	13,6	9,85	11,0	9,33	8,08
3	13,6	12,63	11,0	9,3	8,08
4	13,6	13,15	9,6	6,62	8,06
5	12,7	12,21	6,4	0,7	7,96
6	12,2	9,79	5,52	0	7,76
7	11,4	6,86	1,23	0	2,34
8	10,8	4,97	0,3	0	0
9	10,2	3,33	0,3	0	0
10	9,3	1,38	0	0	0
11	8,1	0,3	0	0	0
12	6,7	0,2	0	0	0
13	5,8	0	0	0	0
14	5,1	0	0	0	0
15	0,9	0	0	0	0

Tabela 3. Stanowisko 1. Profile tlenowe [% $\text{O}_2$ ]

Głębokość [m]	8.04.2017	29.05.2017	4.07.2017	3.09.2017	28.10.2017
0	121,4	110,8	126,9	105,1	78,6
1	122,3	111,2	127,5	105,7	74,8
2	122,1	109,3	126,3	103,8	76,3
3	121,1	129,5	123,7	101,8	76
4	114,1	126,1	105,1	73,5	76
5	103,3	110,6	64,1	15,5	74,8
6	97,1	87,4	41,4	5,9	72,9
7	91,1	59,2	10,4	5,5	22,7
8	84,8	41,8	7,2	0	6,7
9	80,6	28,1	6,4	0	0
10	75,1	12,0	6,0	0	0
11	63,4	8,1	5,8	0	0
12	53,5	7,1	5,7	0	0
13	46,1	6,7	5,6	0	0
14	40,3	6,2	6,4	0	0
15	7,2	6,2	5,2	0	0

Tabela 4. Stanowisko 2. Profile termiczne – T [°C]

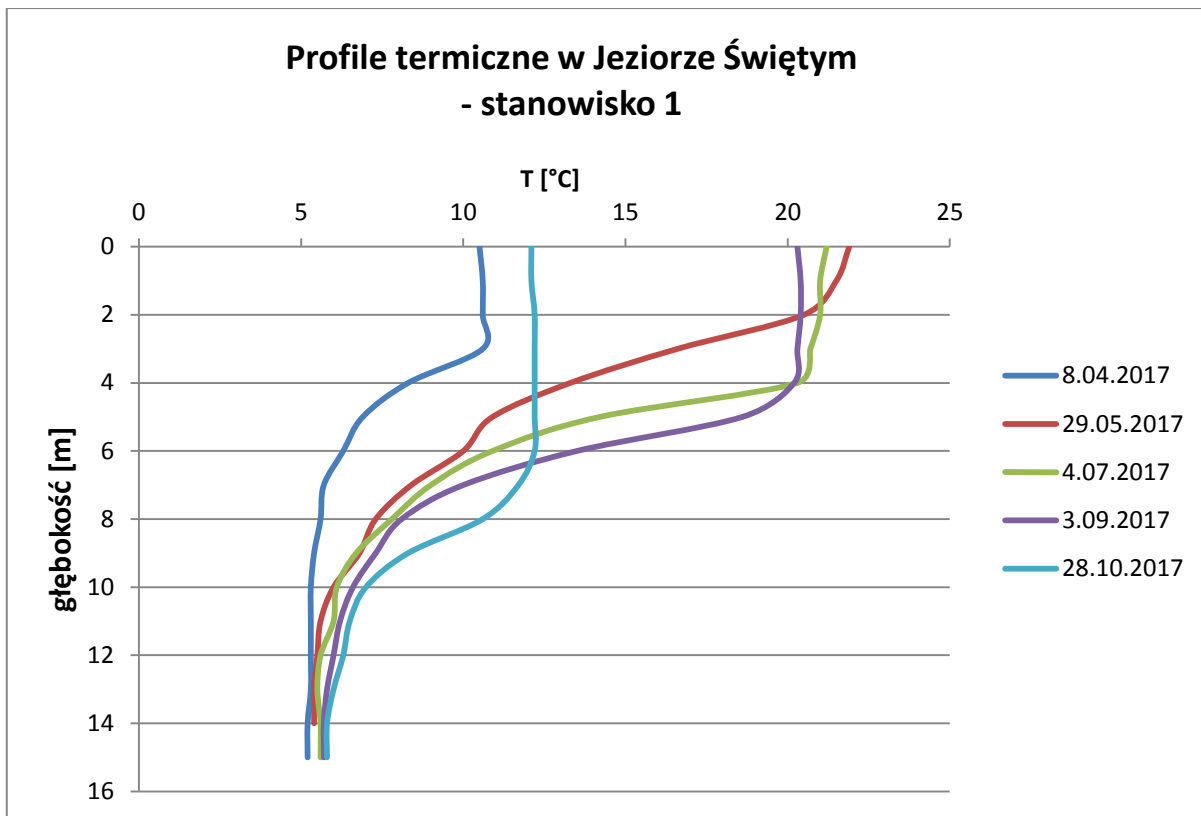
Głębokość [m]	8.04.2017	29.05.2017	4.07.2017	3.09.2017	28.10.2017
0	10,5	22,0	21,4	19,8	12,1
1	10,6	21,3	21,2	20,1	12,1
2	10,6	20,3	21,0	20,2	12,2
3	10,6	16,6	20,7	20,1	12,2
4	8,3	13,4	20,3	20,0	12,2
5	6,9	11,6	14,2	18,1	12,2
6	6,3	9,4	10,9	13,7	12,2
7	5,7	7,4	9,0	10,7	11,7
8	5,6	6,4	7,6	8,6	10,6
9	5,4	5,9	6,5	7,1	8,3
10	5,3	5,9	6,1	6,5	7,0
11	5,3	5,9	6	6,1	6,5
12	5,3	5,9	5,6	5,8	6,3
13	5,3	5,9	5,5	5,7	6,0
14	5,2	5,9	5,6	5,6	5,8
15	5,2	5,9	5,6	5,5	5,8
16	5,2	5,9	5,6	5,5	5,8

Tabela 5. Stanowisko 2. Profile tlenowe [ $\text{mgO}_2/\text{l}$ ]

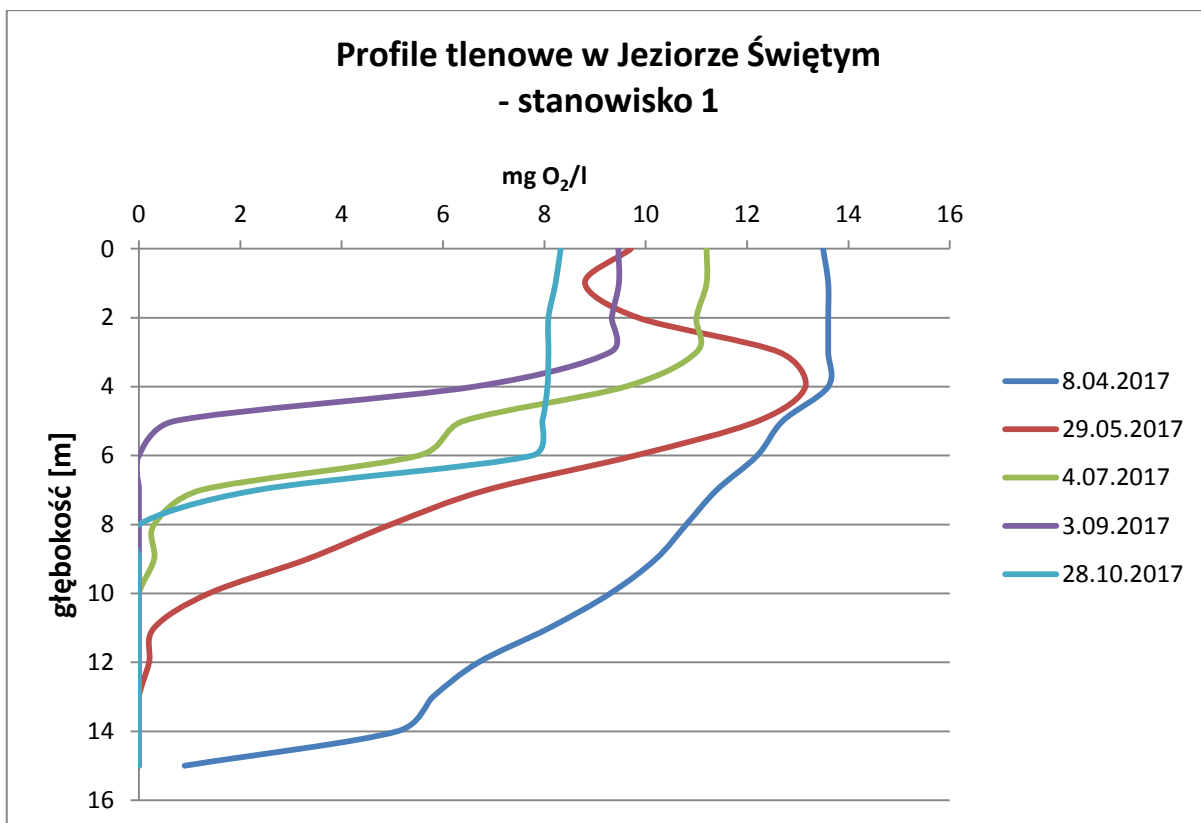
Głębokość [m]	8.04.2017	29.05.2017	4.07.2017	3.09.2017	28.10.2017
0	13,5	9,71	11,2	9,46	8,32
1	13,6	8,8	11,2	9,47	8,22
2	13,6	9,85	11,0	9,33	8,08
3	13,6	12,63	11,0	9,3	8,08
4	13,6	13,15	9,6	6,62	8,06
5	12,7	12,21	6,4	0,7	7,96
6	12,2	9,79	5,52	0	7,76
7	11,4	6,86	1,23	0	2,34
8	10,8	4,97	0,3	0	0
9	10,2	3,33	0,3	0	0
10	9,3	1,38	0	0	0
11	8,1	0,3	0	0	0
12	6,7	0,2	0	0	0
13	5,8	0	0	0	0
14	5,1	0	0	0	0
15	0,9	0	0	0	0
				H <sub>2</sub> S=8,52 mg HS <sup>-</sup> /l	H <sub>2</sub> S=9,7 mg HS <sup>-</sup> /l

Tabela 6. Stanowisko 2. Profile tlenowe [%O<sub>2</sub>]

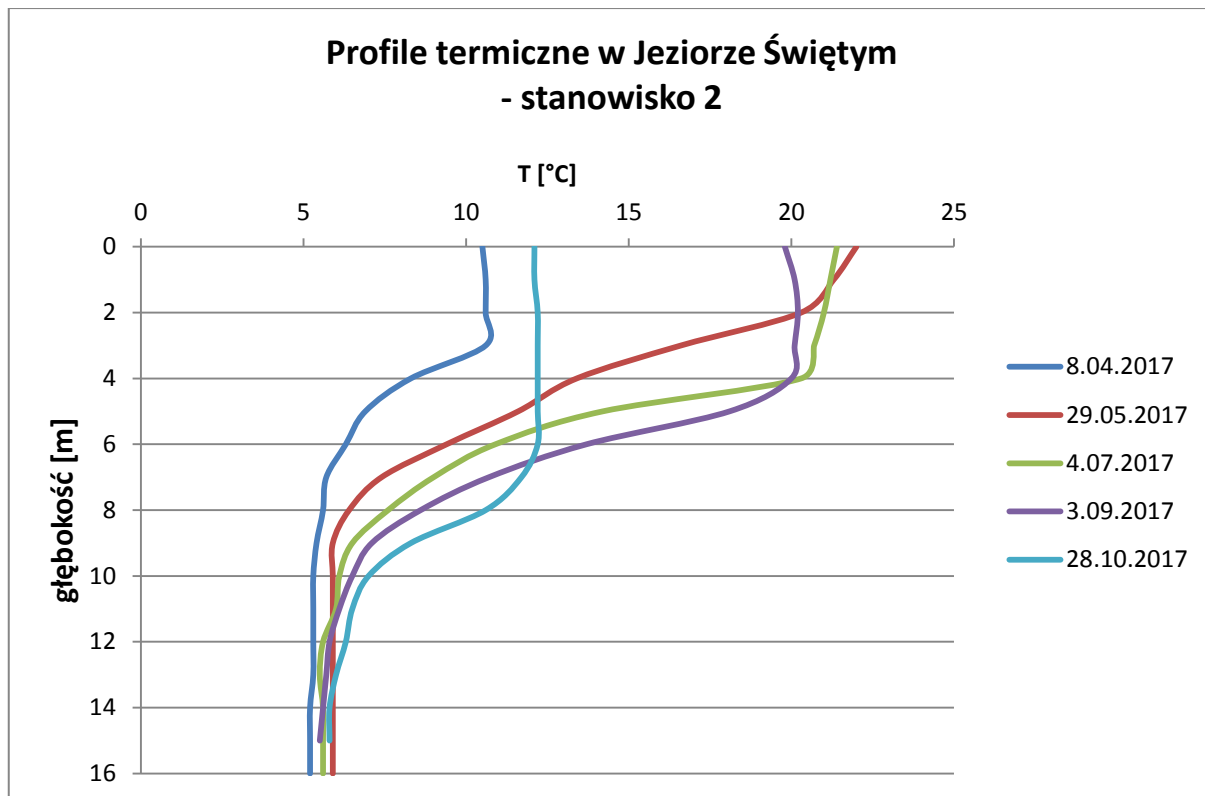
Głębokość [m]	8.04.2017	29.05.2017	4.07.2017	3.09.2017	28.10.2017
0	124,5	111,1	126,9	102,1	79,0
1	122,3	111,9	127,5	101,4	79,0
2	122,1	113,4	126,3	101,3	77,4
3	121,1	128,1	123,7	100,1	76,0
4	114,1	127,9	105,1	92,8	76,0
5	103,3	120,7	64,1	7,1	74,8
6	97,1	78,4	41,4	0	72,9
7	91,1	48,8	10,4	0	22,7
8	84,8	28,2	4,2	0	6,7
9	80,6	8,3	4,2	0	0,0
10	75,1	6,7	0	0	0,0
11	63,4	5,2	0	0	0,0
12	53,5	4,2	0	0	0,0
13	46,1	0	0	0	0,0
14	40,3	0	0	0	0,0
15	7,2	0	0	0	0,0



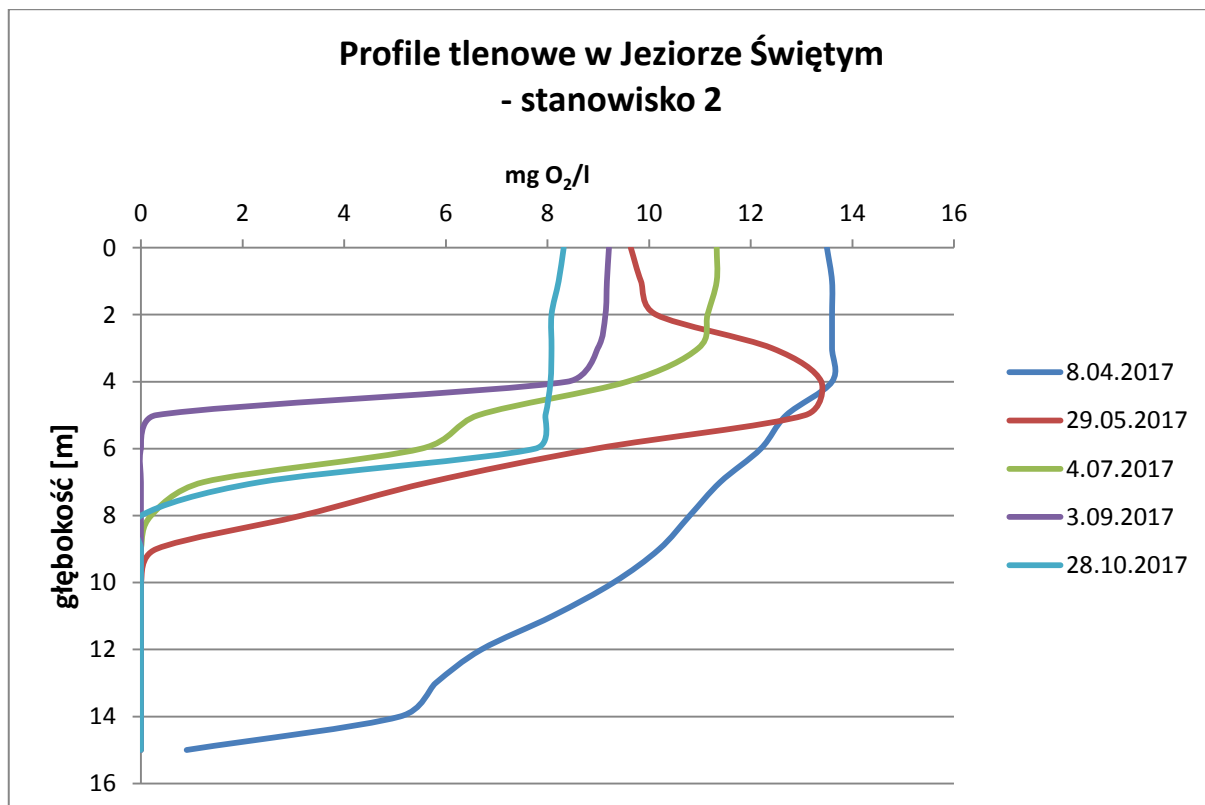
Rys. 3. Profile termiczne na stanowisku 1.



Rys. 4. Profile tlenowe na stanowisku 1.



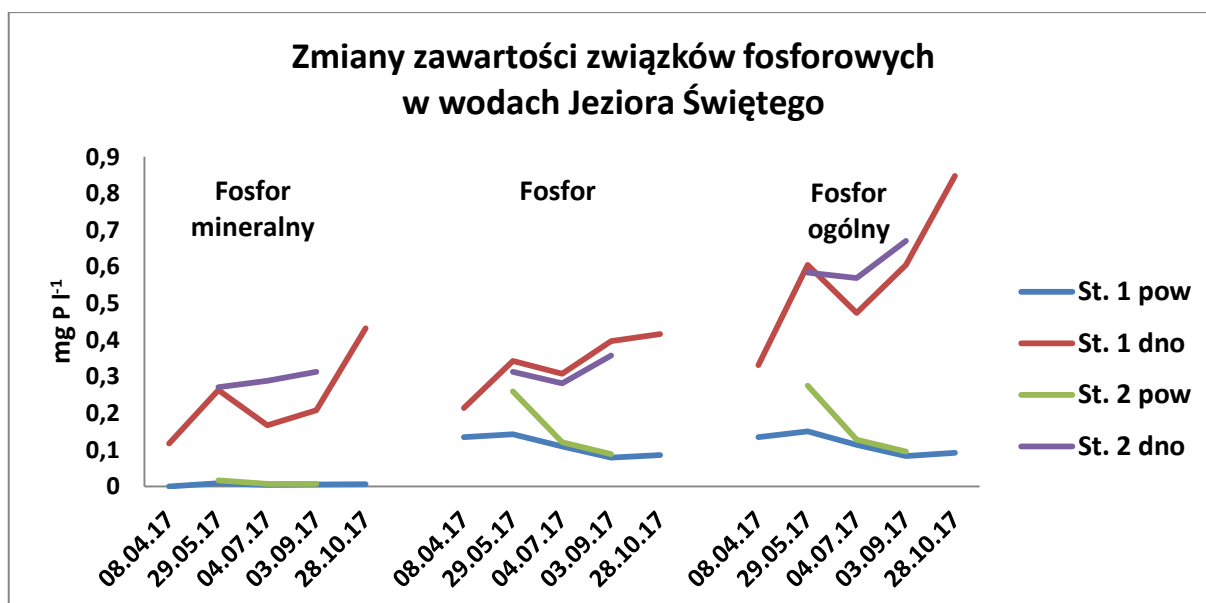
Rys. 5. Profile termiczne na stanowisku 2.



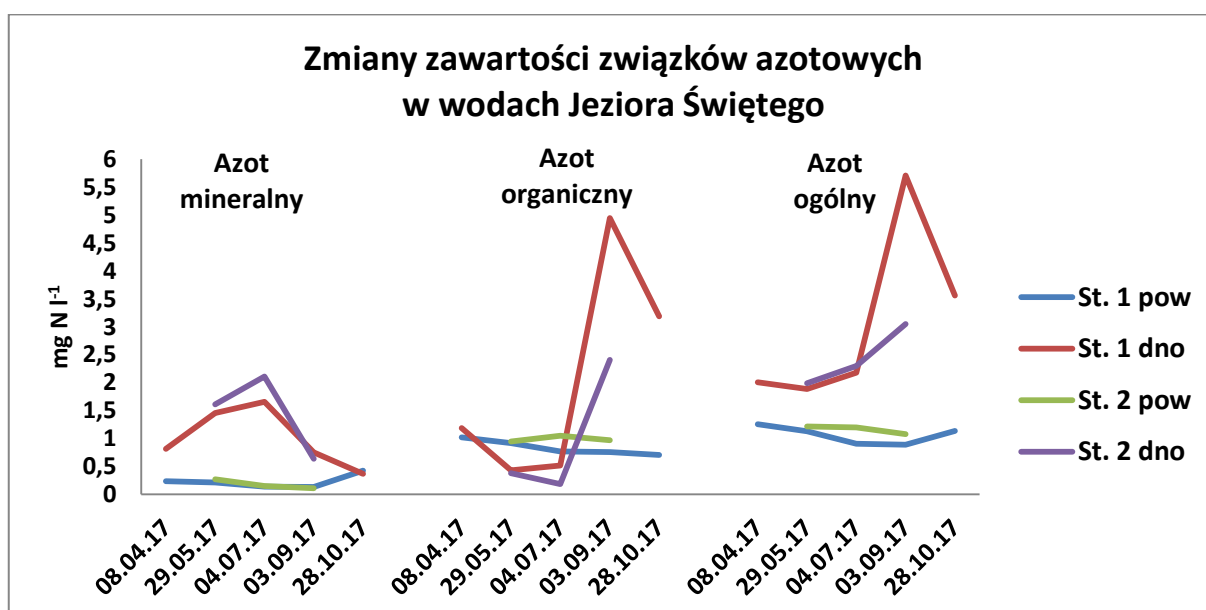
Rys. 6. Profile tlenowe na stanowisku 2.

## Hydrochemia

W wodach Jeziora Świętego ogólna zawartość fosforu zmieniała się 0,091 do 0,848 mg P l<sup>-1</sup> (Rys. 7, Tab. 10 – 12). Są to wartości charakterystyczne dla zbiorników o zaawansowanej trofii. Przez cały okres badawczy w występowaniu wszystkich form tego biogenu obserwowano stratyfikację pionową ze wzrostem stężeń w kierunku dna (Rys. 7). Najwyższe koncentracje związków fosforowych zanotowano pod koniec października. Dominującą formą fosforu w całym jeziorze była frakcja organiczna. Jej udział procentowy w fosforze całkowitym wynosił 63%, co potwierdza eutroficzny charakter wód.



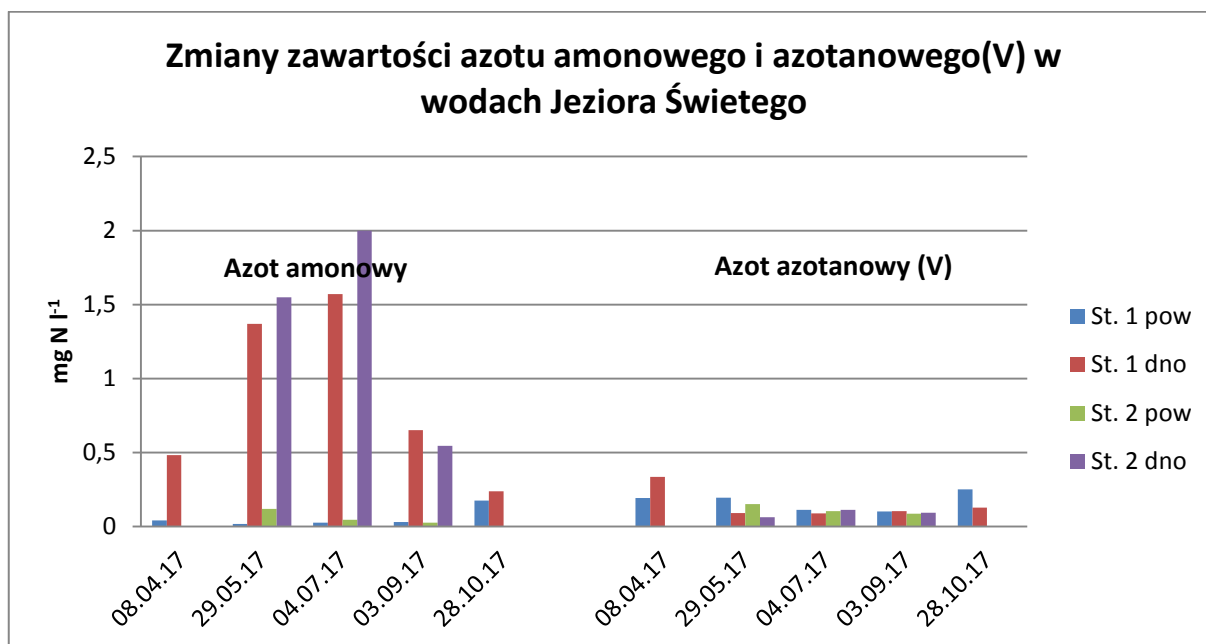
Rys. 7. Zmiany zawartości związków fosforowych w wodach Jeziora Świętego w 2017 roku



Rys. 8. Zmiany zawartości związków azotowych w wodach Jeziora Świętego w 2017 roku

W okresie badań stwierdzono wysokie koncentracje azotu, którego stężenia wahały się od 0,91 do 5,71 mg N l<sup>-1</sup> (Rys. 8). Są to wartości charakterystyczne dla jezior o zaawansowanej trofii. Wyższe ilości azotu występowały w dolnych partiach jeziora. W strukturze azotu przeważała forma organiczna, co potwierdza eutroficzny charakter jego wód.

W naddennych warstwach wód wśród mineralnych form azotu wyraźnie dominował azot amonowy, przy powierzchni zaś azot azotanowy(V) (Rys. 9).



Rys. 9. Zmiany zawartości mineralnych form azotu w wodach Jeziora Świętego w 2017 roku

Stosunek N/P w powierzchniowych warstwach wody jeziora zmieniał się w zakresie: od 4,4 do 12,5, czyli był niższy od 16 zgodnie z tzw. stosunkiem wagowym Redfielda. Pierwsiastkiem limitującym produkcję pierwotną był azot.

Jednym z symptomów nadmiernej żyzności wód jest niska widzialność krążka Secchiego. Przezroczystość wód Jeziora Świętego była dosyć wysoka i wahała się od 1,50 do 3,70, chociaż w klasyfikacji podanej przez Faraś – Ostrowską i Langego (1998) typowa już dla jezior eutroficznych (Tab. 10 - 12). Zdaniem Kajaka (2001) czynnikiem decydującym o przezroczystości wód jest ilość fitoplanktonu, a jego produkcję można określić między innymi jako zawartość chlorofilu a. W analizowanym zbiorniku wartości tego parametru były niewielkie (maksymalnie 6,84 mg m<sup>-3</sup>), co pozwala stwierdzić, że jest to akwen o stosunkowo niskiej produktywności. O wielkości produkcji pierwotnej w zbiorniku świadczy

także ilość suchej masy sestonu, która dla badanego jeziora utrzymywała się na dość niskim poziomie 0,58 – 5,2 mg l<sup>-1</sup>, potwierdzając powyższe przypuszczenia.

Innym wskaźnikiem zawartości materii organicznej autochtonicznej jest BZT<sub>5</sub>, który dla powierzchniowych warstw wód mieścił się w przedziale od 2,3 do 5,2 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>, dla naddennych zaś od 4,0 do 18,9 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> (Tab. 10 - 12).

Olszewski i Paschalski (1959) przeprowadzili badania zasadowości (alkaliczności) wód w jeziorach i wydzielili spośród nich trzy grupy. Uwzględniając powyższą klasyfikację i wartości zasadowości ogólnej w Jeziorze Świętym: od 3,0 do 5,1 mval l<sup>-1</sup> (Tab. 10 - 12). wody tego zbiornika można zaliczyć do III grupy, a więc do wód dobrze zbuforowanych. Twardość ogólna wód tego jeziora zmieniała się od 5,8 do 7,1 mval l<sup>-1</sup> (290,3 – 358,6 mg CaCO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup>) (Tab. 10-12), co wg klasyfikacji Dojlidy (1995) pozwala określić jego wody, jako twarde i bardzo twarde. O twardości wody decydowała głównie zawartość wapnia, którego stężenia wahały się 55,7 do 107,1 mg Ca l<sup>-1</sup> (Tab. 10 - 12) i mieściły się w zakresie wartości uznawanych za typowe dla zbiorników zanieczyszczonych (>35 mg Ca l<sup>-1</sup>).

Przewodność elektrolityczna jest cechą wskazującą na stopień zanieczyszczenia wód związkami mineralnymi. W zbiornikach eutroficznych wartości tego parametru wahają się od 200 do 400 μS cm<sup>-1</sup>. Konduktywność wód Jeziora Świętego zmieniała się w zakresie od 558 do 724 μS cm<sup>-1</sup> (Tab. 10 - 12).

Jony chlorkowe rozpuszczone w wodzie pochodzą z gruntu lub dostają się z dopływem różnego rodzaju zanieczyszczeń. Zgodnie z klasyfikacją Olszewskiego i Paschalskiego (1959) wody nie będące odbiornikami zanieczyszczeń zawierają do 15 mg Cl l<sup>-1</sup>. Zawartość chlorków w wodach badanego jeziora znacznie przekraczała powyższą wartość i zmieniała się od 43,0 do 115,0 mg Cl l<sup>-1</sup> (Tab. 10 - 12).

Uwzględniając najczęściej stosowane wskaźniki trofii jakimi są letnie pomiary stężeń biogenów (całkowity azot i fosfor), chlorofilu i widzialności krążka Secchiego (Nürnberg 2001, OECD 1982) wyliczono wskaźniki stanu troficznego TSI (ang. Trophic State Index) (Carlson 1977, Kratzer i Brezonik 1981).

Analiza skali punktowej TSI wykazała, że Jezioro Święte należy zaliczyć do zbiorników eutroficznych. Żaden z indeksów wyliczonych na podstawie stężeń fosforu i azotu ogólnego oraz widzialności i chlorofilu a nie przekroczył wartości TSI 70 (hypertrofia) (Tab. 7).



Tabela 7. Wartości indeksów troficznych TSI Carlsona (1977) oraz Kratzera i Brezonika (1981) dla Jeziora Świętego

INDEKS		STANOWISKO 1	STANOWISKO 2
TSI <sub>TP</sub>		68	70
TSI <sub>TN</sub>		53	56
TSI <sub>SD</sub>		54	54
TSI <sub>Chl</sub>		42	48
Średnie TSI	<b>54</b>	<b>57</b>	

Oligotrofia TSI<40 Mezotrofia TSI 40-50  
Eutrofia TSI 50-70 Hypertrofia TSI>70

Eutroficzny charakter wód Jeziora Świętego potwierdza również międzynarodowa klasyfikacja OECD (1982) (Tab. 8).

Tabela 8. Wartości wskaźników dla różnych kategorii troficznych według klasyfikacji OECD (1982) na tle wartości mierzonych (średnia z dwóch pomiarów – wczesne i późne lato)

Parametr	oligotrofia	mezotrofia	eutrofia	hypertrofia	JEZIORO ŚWIĘTE		TROFIA
					St. 1	St. 2	
Fosfor ogólny [µg P/dm <sup>3</sup> ]	<10	10-35	35-100	>100	<b>98</b>	<b>111</b>	<b>EUTROFIA HYPERTROFIA</b>
Chlorofil „a” [µg /dm <sup>3</sup> ]	<2,5	2,5-8,0	8-25	>25	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>EUTROFIA</b>
Przezroczystość [m]	>6	<b>6-3</b>	<b>3-1,5</b>	<1,5	<b>1,75</b>	<b>1,7</b>	<b>EUTROFIA</b>

Średnie wiosenne stężenie fosforu ogólnego w Jeziorze Świętym wynosiło 232 mg m<sup>-3</sup>. Według kryteriów Zdanowskiego (1982) (Tab. 9) jezioro jest politroficzne o V stopniu trofii.

Tabela 9. Kryteria oceny troficznej wód oparte na wiosennym stężeniu TP (mg m<sup>-3</sup>)

Typ troficzny	Stan troficzny	Zdanowski (1982)
U - O	I	<10
O - M	I	<10
M - E	II	10 - 30
E - P	III	30 - 100
P	IV	100 - 200
P	V	>200

Jednym z symptomów potwierdzających kumulatywny charakter jeziora w stosunku do napływających ze zlewni zanieczyszczeń były obserwowane późnym latem masowe pojawy bakterii siarkowych. Ich obecność w toni wodnej wiąże się z dostępnością siarki w natlenionych warstwach akwenu. Taka sytuacja ma miejsce w harmonijnych jeziorach bardzo rzadko, ale zdarza się w jeziorach zeutrofizowanych, kiedy to ładunek wewnętrzny siarki pochodzi od siarkowodoru zalegającego w warstwach naddennych zbiornika. Wówczas, zwłaszcza późnym latem lub wczesną jesienią, przy wietrznej pogodzie może dochodzić do głębszego przemieszania wód powierzchniowych z naddennymi, a tym samym siarka uwolniona do strefy trofogenicznej daje podstawę do namnażania się ww. bakterii. Zaistnienie tego zjawiska jest jednym z symptomów zaawansowanej eutrofizacji.



Fot. 1. Kozuch bakteryjny na plaży Jeziora Świętego w dniu 03.09.2017 r. (fot. K Parszuto).

Tabela 10. Wskaźniki fizykochemiczne wód Jeziora Świętego

PARAMETR CHEMICZNY	08.04.17		29.05.17			
	Stanowisko 1		Stanowisko 1		Stanowisko 2	
	Pow.	Dno	Pow.	Dno	Pow.	Dno
ODCZYŃ [pH]	8,41	7,81	8,12	7,06	7,86	7,17
PRZEWODNOŚĆ [ $\mu\text{Scm}^{-1}$ ]	558	724	698	716	705	721
CHLORKI [ $\text{mg Cl l}^{-1}$ ]	51,0	51,0	58,0	60,0	57,0	56,0
BZT <sub>5</sub> [ $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ]	5,2	4,0	2,3	5,2	2,3	5,1
UTLENIALNOŚĆ [ $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ]	-	-	-	14,6	-	14,7
ALKALICZNOŚĆ [ $\text{mval l}^{-1}$ ]	3,2	3,5	3,1	3,5	3,0	3,4
TWARDOŚĆ OGÓLNA [ $\text{mval l}^{-1}$ ]	6,8	7,1	6,7	6,9	6,8	6,8
WAPŃ [ $\text{mg Ca l}^{-1}$ ]	97,8	107,1	103,5	102,8	95,0	102,1
MAGNEZ [ $\text{mg Mg l}^{-1}$ ]	21,6	20,0	17,6	19,4	22,8	19,2
FOSFOR MINERALNY [ $\text{mg P l}^{-1}$ ]	nw	0,117	0,008	0,263	0,016	0,271
FOSFOR ORGANICZNY [ $\text{m P l}^{-1}$ ]	0,134	0,214	0,142	0,342	0,259	0,313
FOSFOR OGÓLNY [ $\text{mg P l}^{-1}$ ]	0,134	0,331	0,150	0,605	0,275	0,584
AZOT AMONOWY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,042	0,482	0,018	1,370	0,119	1,550
AZOT AZOTANOWY(V) [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,193	0,335	0,196	0,091	0,153	0,064
AZOT ORGANICZNY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	1,02	1,19	0,92	0,43	0,95	0,38
AZOT OGÓLNY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	1,26	2,01	1,13	1,89	1,22	1,99
TOC [ $\text{mg C l}^{-1}$ ]	10,27	10,24	10,62	10,31	9,91	10,26
ŻELAZO [ $\text{mg Fe l}^{-1}$ ]	nw	0,01	0,01	0,04	0,01	0,04
MANGAN [ $\text{mg Mn l}^{-1}$ ]	0,07	1,25	0,34	1,37	0,68	1,44
SESTON [ $\text{mg l}^{-1}$ ]	4,20		2,00	4,75	5,20	4,40
CHLOROFIL a [ $\mu\text{g l}^{-1}$ ]	0,53		2,78		3,10	
PRZEZROCZYŚTOŚĆ [m]	1,7		3,15		3,0	

Tabela 11. Wskaźniki fizykochemiczne wód Jeziora Świętego

PARAMETR CHEMICZNY	04.07.17			
	Stanowisko 1		Stanowisko 2	
	Pow.	Dno	Pow.	Dno
ODCZYN [pH]	8,42	7,15	8,33	7,24
PRZEWODNOŚĆ [ $\mu\text{Scm}^{-1}$ ]	650	715	652	722
CHLORKI [ $\text{mg Cl l}^{-1}$ ]	64,0	68,0	57,0	63,0
BZT <sub>5</sub> [ $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ]	2,7	9,2	2,3	10,0
UTLENIALNOŚĆ [ $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ]	12,5	16,5	13,7	17,9
ALKALICZNOŚĆ [ $\text{mval l}^{-1}$ ]	2,8	3,9	2,9	4,0
TWARDOŚĆ OGÓLNA [ $\text{mval l}^{-1}$ ]	5,8	6,9	6,4	6,7
WAPŃ [ $\text{mg Ca l}^{-1}$ ]	59,3	88,5	55,7	86,4
MAGNEZ [ $\text{mg Mg l}^{-1}$ ]	31,6	27,6	40,0	26,4
FOSFOR MINERALNY [ $\text{mg P l}^{-1}$ ]	0,004	0,167	0,007	0,288
FOSFOR ORGANICZNY [ $\text{m P l}^{-1}$ ]	0,109	0,307	0,120	0,281
FOSFOR OGÓLNY [ $\text{mg P l}^{-1}$ ]	0,113	0,474	0,127	0,569
AZOT AMONOWY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,027	1,570	0,045	2,000
AZOT AZOTANOWY(V) [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,113	0,089	0,105	0,114
AZOT ORGANICZNY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,773	0,521	1,050	0,186
AZOT OGÓLNY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,91	2,18	1,20	2,30
TOC [ $\text{mg C l}^{-1}$ ]	10,91	11,42	12,10	10,71
ŻELAZO [ $\text{mg Fe l}^{-1}$ ]	0,04	0,05	0,02	0,15
MANGAN [ $\text{mg Mn l}^{-1}$ ]	0,28	1,31	0,18	1,52
SESTON [ $\text{mg l}^{-1}$ ]	2,80		3,40	
CHLOROFIL a [ $\mu\text{g l}^{-1}$ ]	6,84		3,26	
PRZEZROCYSTOŚĆ [m]	2,0		1,9	

Tabela 12. Wskaźniki fizykochemiczne wód Jeziora Świętego

PARAMETR CHEMICZNY	03.09.17				28.10.17	
	Stanowisko 1		Stanowisko 2		Stanowisko 1	
	Pow.	Dno	Pow.	Dno	Pow.	Dno
ODCZYN [pH]	7,98	7,10	7,99	7,18	7,59	6,95
PRZEWODNOŚĆ [ $\mu\text{Scm}^{-1}$ ]	623	688	626	700	676	705
CHLORKI [ $\text{mg Cl l}^{-1}$ ]	48,0	43,0	48,0	45,0	115,0	45,0
BZT <sub>5</sub> [ $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ]	3,5	18,9	3,7	16,	3,0	13,3
UTLENIALNOŚĆ [ $\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$ ]	18,6	27,4	17,1	26,6	9,1	230
ALKALICZNOŚĆ [ $\text{mval l}^{-1}$ ]	3,0	4,7	3,2	4,5	3,9	5,1
TWARDOŚĆ OGÓLNA [ $\text{mval l}^{-1}$ ]	6,0	6,5	6,1	6,7	7,0	6,9
WAPŃ [ $\text{mg Ca l}^{-1}$ ]	84,2	100,0	82,1	102,1	103,5	103,5
MAGNEZ [ $\text{mg Mg l}^{-1}$ ]	20,4	17,2	22,0	18,4	20,0	19,6
FOSFOR MINERALNY [ $\text{mg P l}^{-1}$ ]	0,005	0,208	0,007	0,313	0,006	0,432
FOSFOR ORGANICZNY [ $\text{m P l}^{-1}$ ]	0,078	0,397	0,088	0,357	0,085	0,416
FOSFOR OGÓLNY [ $\text{mg P l}^{-1}$ ]	0,083	0,605	0,095	0,670	0,091	0,848
AZOT AMONOWY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,031	0,651	0,026	0,546	0,175	0,238
AZOT AZOTANOWY(V) [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,103	0,105	0,087	0,094	0,252	0,129
AZOT ORGANICZNY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,76	4,95	0,97	2,41	0,71	3,19
AZOT OGÓLNY [ $\text{mg N l}^{-1}$ ]	0,89	5,71	1,08	3,05	1,14	3,56
TOC [ $\text{mg C l}^{-1}$ ]	12,51	10,42	12,76	9,77	11,71	9,81
ŻELAZO [ $\text{mg Fe l}^{-1}$ ]	0,04	0,09	0,01	0,11	nw	0,37
MANGAN [ $\text{mg Mn l}^{-1}$ ]	0,17	1,91	0,23	1,95	0,27	2,43
SESTON [ $\text{mg l}^{-1}$ ]	2,13	2,80	4,13	-	1,20	0,50
CHLOROFIL a [ $\mu\text{g l}^{-1}$ ]	3,30		6,14		0,75	
PRZEZROCYSTOŚĆ [m]	1,5		1,5		3,70	

## Wskaźniki biologiczne

### FITOPLANKTON

W okresie wczesnej wiosny w wodach jeziora odnotowano niewielką ilość fitoplanktonu o małej różnorodności gatunkowej. Dominującą grupę stanowiły okrzemki z rodzaju *Cyclotella*, zaś w mniejszych ilościach występowały organizmy należące do *Cyanoprokaryota* oraz *Chlorophyta*.

Zwiększenie różnorodności gatunkowej glonów w kolejnych miesiącach było zauważalne, lecz w dalszym ciągu można je uznać za dość ubogie. Grupami współdominującymi w tym czasie były *Cyanoprokaryota* oraz *Chlorophyta*. Cyjanobakterie, do wczesnego lata, reprezentowane były głównie przez drobne sinice kolonijne, aż do września, kiedy odnotowano przewagę potencjalnie toksycznego gatunku sinic nitkowatych z rzędu Oscillatoriales – *Planktothrix sp.* Sinice te należą do wolno rosnących i długo żyjących, wymagających m.in. dużej żyzności wód. Współobecność dużych form kokalnych zielenic wraz z *Planktothrix sp.* może świadczyć o:

1. wzroście żyzności zbiornika,
2. dość stabilnych warunkach panujących w okresie badawczym w jeziorze,
3. negatywnym wpływie toksyn sinicowych na wzrost i rozwój pozostałego fitoplanktonu,
4. wyjadaniu drobnych gatunków glonów przez zooplankton.

Ponadto, w lipcu, odnotowano obecność bruzdnicy *Ceratium hirundinella*, co mogło być związane z dużą ilością substancji mineralnych w wodach jeziora (gatunek ten rzadko występuje w wodach obfitujących w związki organiczne). W analizowanych próbach oznaczono również organizmy należące do *Cryptophyceae* i *Euglenophyta*.

Wszystkie zaobserwowane glony należały do organizmów żyjących przeważnie w wodach eutroficznych.

Biomasy fitoplanktonu przez cały okres monitoringowy w 2017 roku nie osiągały ilości zakwitowych. Nie stwierdzono również innych form masowego pojawu glonów planktonowych na plaży (smugi, kożuchy).

### MAKROZOOBENTOS

Makrobezkągłowce bentosowe są to organizmy, które przynajmniej w jednym stadium swojego życia związane są z dnem zbiorników wodnych. Organizmy te stanowią ważny element piramidy troficznej w ekosystemach wodnych. Ponadto wiele gatunków

charakteryzuje się specyficznymi wymaganiami środowiskowymi, dzięki czemu skład jakościowy i ilościowy makrozoobentosu na stanowisku może dać obraz stanu jakości wody w badanym zbiorniku. Makrobezkręgowce bentosowe w części litoralowej podlegają wpływom lokalnym, związanym ze sposobem zagospodarowania bezpośredniego sąsiedztwa zlewni jeziora. Dlatego też, na potrzeby Ramowej Dyrektywy Wodnej, został opracowany Multimetriks LMI (Lake Macroinvertebrate Index) wykorzystujący makrozoobentos do oceny stanu jakości wody w jeziorach.

Celem prowadzonych badań makrobezkręgowców dennych było określenie składu jakościowego i ilościowego makrobezkręgowców bentosowych w Jeziorze Świętym dla oceny stanu jakości wody według wytycznych polskiej metody LMI.

W omawianym jeziorze stwierdzono obecność 24 taksonów (Tabela 15) należących do: pierścienic (Annelida), równonogów (Isopoda), obunogów (Amphipoda), owadów (Insecta), małży (Bivalvia), ślimaków (Gastropoda) czy wodopójek (Hydracarina). Najliczniej występowały larwy muchówek należące do rodziny Chironomidae, jak również ośliczka wodna (*Asellus aquaticus*), które są organizmami ubikwistycznymi – dobrze czującymi się we wszystkich warunkach środowiskowych – również tych o pogorszonych parametrach jakości wody. Również licznie występowały jętki *Cloeon dipterum* oraz *Caenis sp.* - jedne z nielicznych przedstawicieli rodziny Ephemeridae - preferujące wody stojące, zarośnięte, znoszące niewielkie pogorszenia klasy jakości wody. Stwierdzono występowanie dwóch larw ważek: *Erythromna najas* oraz *Ortetrum cancellatum*. Są to gatunki spotykane nad wodami stojącymi (stawy, starorzecza), silnie porośniętymi makrofitami. Ponadto w zbiorniku zanotowano występowanie gatunku inwazyjnego – racicznicy zmiennej (*Dreissena polymorpha*), choć w nieznacznym zagęszczeniu.

Multimetriks LMI (Lake Macroinvertebrate Index) wyliczony dla Jeziora Świętego wyniósł 0,547 co wskazało na stan umiarkowany wody (Tabela 13).

Skład jakościowy oraz ilościowy makrobezkręgowców badanego zbiornika wskazuje na gęste porośnięcie zbiornika w strefie litoralowej przez makrofity. Przewaga taksonów ubikwistycznych i brak gatunków wrażliwych na zanieczyszczenia może świadczyć o dużym wpływie antropopresji na badany zbiornik – jest to często obserwowane w przypadku zbiorników położonych w sąsiedztwie aglomeracji. Indeks LMI wskazał na umiarkowany stan jakości wody (Tab. 14), co nie spełnia wymagań nakładanych na Polskę przez Unię Europejską.

Tabela 13. Poszczególne składowe oraz wyniki indeksu LMI.

Wskaźnik	Wartość
EQR ASPT-PL	0,521
EQR Shannon-Wiener-Index	1,000
EQR Diptera [%]	1,000
EQR Log10Trichoptera[%]	0,000
EQR EPT/Diptera	0,283
LMI	0,547

Tabela 14. Klasy jakości wody wg LMI wraz z przypisanymi do nich wartościami.

Stan bardzo dobry	>0,764
Stan dobry	0,763-0,573
Stan umiarkowany	0,572-0,382
Stan słaby	0,381-0,191
Stan zły	<0,191

Tabela 15. Średnia liczebność makrobezkręgowców bentosowych na badanych stanowiskach Jeziora Świętego.

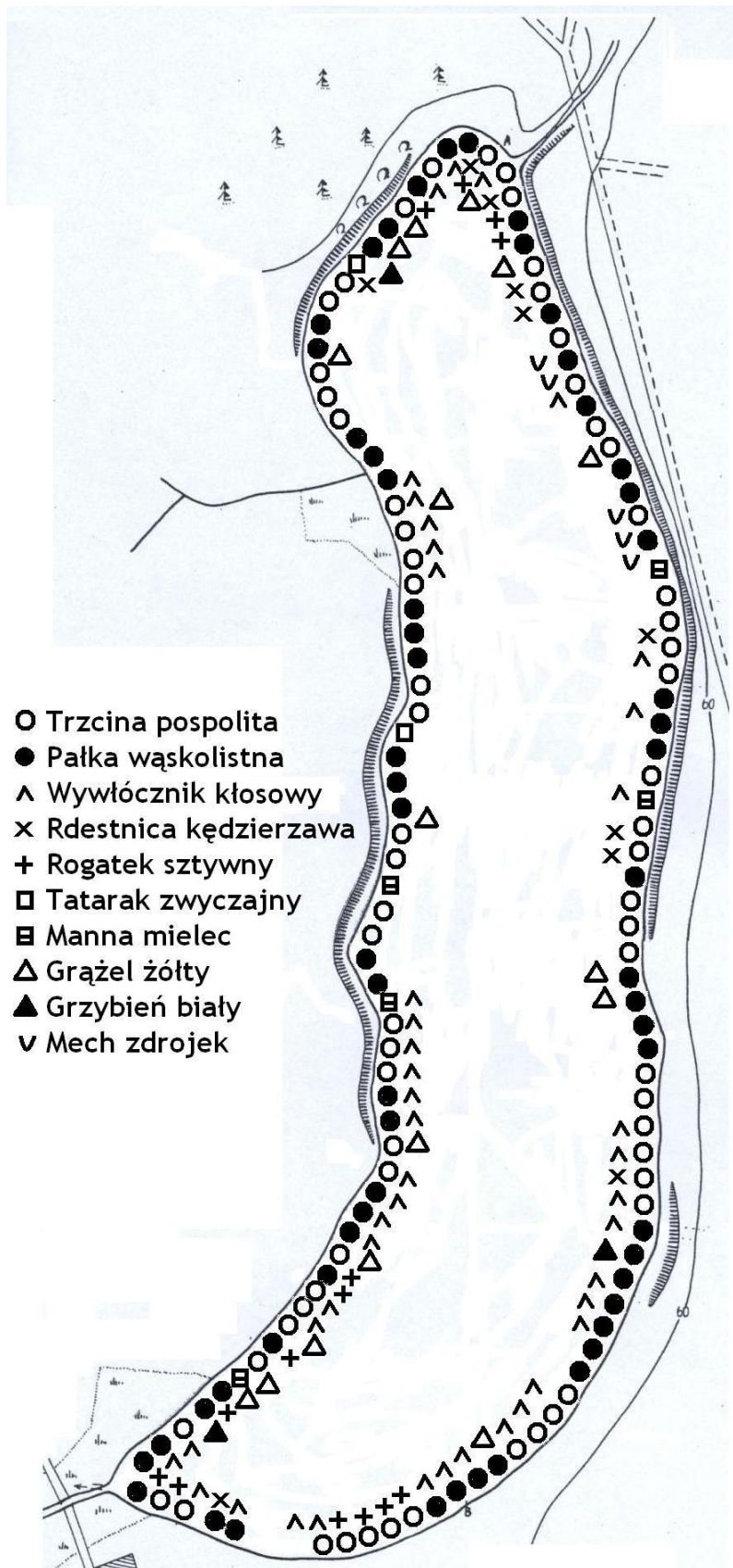
Takson	Liczebność	Takson	Liczebność
<i>Oligochaeta</i>	14	<i>Limnephilidae</i>	11
<i>Erpobdellidae</i>	7,2	<i>Phyragenidae</i>	4
<i>Glossiphoniidae</i>	13	<i>Dytiscidae</i>	4
<i>Piscicolidae</i>	1,2	<i>Ceratopogoniidae</i>	2,2
<i>Asellidae</i>	115,5	<i>Chironomidae</i>	152
<i>Gammaridae</i>	18	<i>Dreissenidae</i>	2
<i>Baetidae</i>	81,4	<i>Unionidae</i>	1
<i>Caenidae</i>	72	<i>Sphaeriidae</i>	22,5
<i>Calopterygidae</i>	5	<i>Bithyniidae</i>	3,5
<i>Coenagrionidae</i>	18,5	<i>Lymnaeidae</i>	0,5
<i>Libellulidae</i>	4,2	<i>Planorbidae</i>	1,5
<i>Corixidae</i>	18	<i>Hydracarina</i>	4



## MAKROFITY

Jeziro Świąte porośnięte jest przez roślinność wodną na 11 % powierzchni dna (Rysunek 10). Największą strefę roślinności wodnej w Jeziorze Świątym stanowi pas helofitów, który kształtowany jest przez trzcinę pospolitą *Phragmites australis* (29% powierzchni zajmowanej przez makrofity) oraz przez pałkę wąskolistną (27% powierzchni). Pośród amfifitów i helofitów spotykane były tatarak zwyczajny *Acorus calamus* porastający 1% powierzchni roślin wodnych oraz manna mielec *Glyceria maxima* (2%). W Jeziorze Świątym wśród nimfeidów stwierdzono występowanie grzybienia białego *Nymphaea alba* (1% powierzchni) i grążela żółtego *Nuphar lutea* (7% powierzchni). Elodeidy reprezentowane były przez rogatka sztywnego *Ceratophyllum demersum* zajmującego 7% powierzchni zajmowanej przez makrofity, wywłócznik kłosowy *Myriophyllum spicatum* (20% powierzchni), rdestnicę kędzierzawą *Potamogeton crispus* (4% powierzchni). Dodatkowo, w jeziorze stwierdzono występowanie nielicznych zbiorowisk mchu zdrojka *Fontinalis antipyretica*, którego powierzchnię pokrycia w ogólnej powierzchni zajmowanej przez makrofity określono na 2%. Struktura gatunkowa i ilościowa makrofitów w 2017 roku nie wskazuje raczej na istotne przeżyźnienie wód zbiornika. Głębokość, do jakiej sięga roślinność jest niewielka, co wiąże się z utrudnionym przenikaniem światła słonecznego do głębszych warstw zbiornika.

Liczne występowanie w jeziorach nimfeidów i elodeidów świadczy o nagromadzeniu w osadach dużych ilości związków organicznych i postępującej eutrofizacji. Biorąc pod uwagę tylko rok 2017 rozwój makrofitów w Jeziorze Świątym, nie wydaje się być zbyt intensywny, prawdopodobnie z uwagi na słaby dostęp światła słonecznego do dna. Na podstawie obserwacji jednorocznych i w porównaniu z innymi podobnymi morfologicznie i środowiskowo jeziorami trudno stwierdzić, czy struktura roślinności naczyniowej w Jeziorze Świątym wskazuje na zachwianie tych procesów. Opierając się na pionowym rozmieszczeniu roślinności wodnej, można stwierdzić, że rozwój makrofitów jest tutaj utrudniony ze względu na tyle dużą mętność wód, aby utrudnić rozwój roślinności na głębokościach większych niż 2,5 m. Należy też zaznaczyć, że pomimo niewielkiej biomasy roślinności, obumierające makrofity każdego roku dostarczają do jeziora znaczny ładunek biogenów. W przypadku Jeziora Świątego jest to tym bardziej istotne, że martwa materia organiczna powstała z rozkładającej się roślinności w warunkach beztlenowych ulega procesom fermentacyjnym, przyczyniając się do wzbogacania wody w pierwiastki biogenne i tym samym do pogarszania jej jakości.

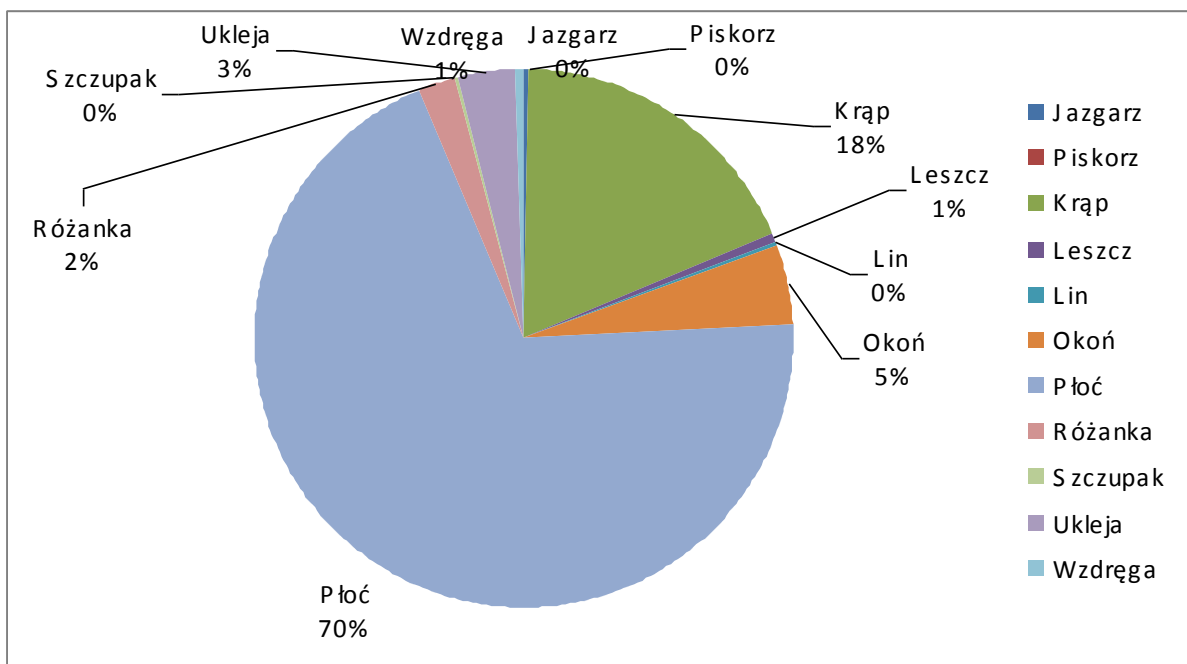


Rys. 10. Mapa rozmieszczenia makrofitów w Jeziorze Świętym

Badania ichtiofauny Jeziora Świętego przeprowadzono we wrześniu 2017 roku. Ryby odławiano z dziesięciu najbardziej reprezentatywnych miejsc jeziora, w litoralu, przy użyciu elektrycznego urządzenia do połowu ryb IUP-12. U złowionych ryb mierzono całkowitą długość *totalis*, następnie je ważono. Po pomiarach dane wprowadzono do podstawowej analizy statystycznej i do obliczenia wskaźnika kondycji ryb. Po zmierzeniu i zważeniu wszystkie ryby zostały z powrotem wpuszczone do wody. Wszystkie zabiegi przeprowadzono przyżyciowo. Łącznie z dziesięciu punktów odłowiono liczbę 775 ryb o biomase 4535 g. W badaniach zanotowano 11 gatunków ryb, z czego 8 należało do ryb karpiowatych (piskorz, krap, leszcz, lin, płoć, różanka, ukleja, wzdręga), 2 do okoniowatych (jazgarz i okoń) oraz 1 do szczupakowatych (szczupak) (Tabela 16).

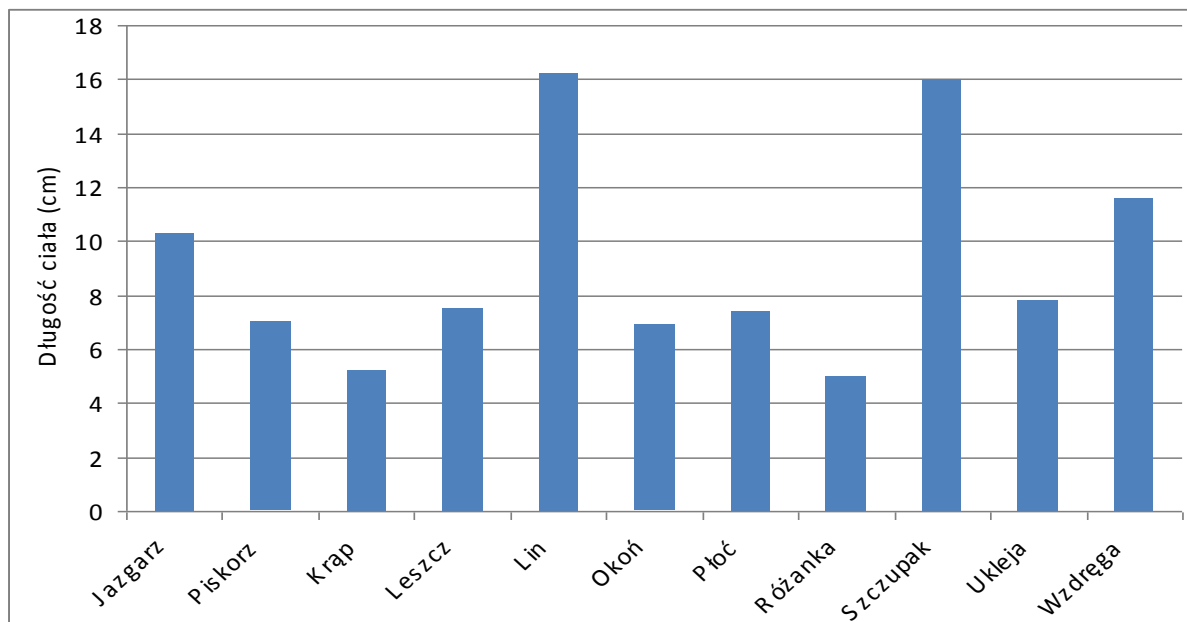
Tabela 16. Liczba złowionych ryb – n, średnia długość ciała *corpolis* – (cm), średnia masa jednostkowa (g), biomasa (łączna masa) (g) i średnia wartość wskaźnika kondycji ryb z Jeziora Świętego w Obrze.

Gatunek	n	Średnia długość ciała	Średnia masa jednostkowa	Biomasa	Średni wskaźnik kondycji
Jazgarz	2	10	12	24	1,09
Piskorz	1	7	4	7	1,17
Krap	141	5	2	338	0,87
Leszcz	4	8	6	39	1,13
Lin	2	16	60	119	1,28
Okoń	37	7	5	180	1,06
Płoć	539	7	7	3589	1,02
Różanka	17	5	1	25	1,13
Szczupak	2	16	27	53	0,63
Ukleja	25	8	5	134	1,02
Wzdręga	5	12	19	27	1,23



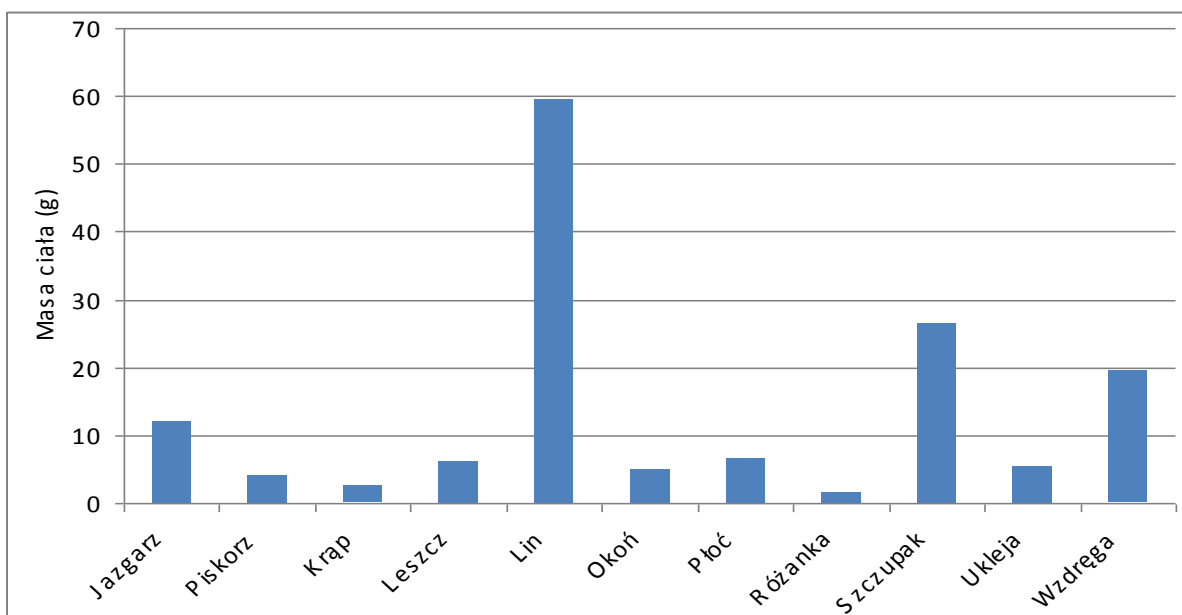
Rys. 11. Udział procentowy poszczególnych gatunków ryb w liczbie złowionych ryb z Jeziora Świętego. Wartość „0” wskazuje na mniejszy udział danego gatunku niż 0,5%.

Dominantem ilościowym wśród złowionych gatunków ryb była płoć, stanowiąc 70% ogółu złowionej liczby ryb. Następnym gatunkiem z udziałem znacznie mniejszym - 18 % był krąp (Rysunek 11). Pozostałe gatunki ryb karpiowatych charakteryzowały się niewielkim udziałem w liczbie złowionych ryb, stanowiąc osobno równo lub mniej niż 3%. Spośród drapieżników, największym, choć nieznacznym udziałem ilościowym cechował się okoń - 5%, natomiast udział szczupaka w liczbie złowionych ryb stanowił mniej niż 0,5%. Zdecydowanymi dominantami ilościowymi w złowionej próbie ryb były gatunki karpiowate (ponad 94% wszystkich złowionych ryb). Gatunki typowo drapieżne (okoń i szczupak) stanowiły tylko nieco ponad 5% liczby wszystkich złowionych ryb. Za gatunek drapieżny można tutaj uznać również jazgarza, w którego pokarmie również spotyka się sporadycznie inne ryby, jednak w całej próbie ryb złowiono tylko 2 osobniki tego gatunku.

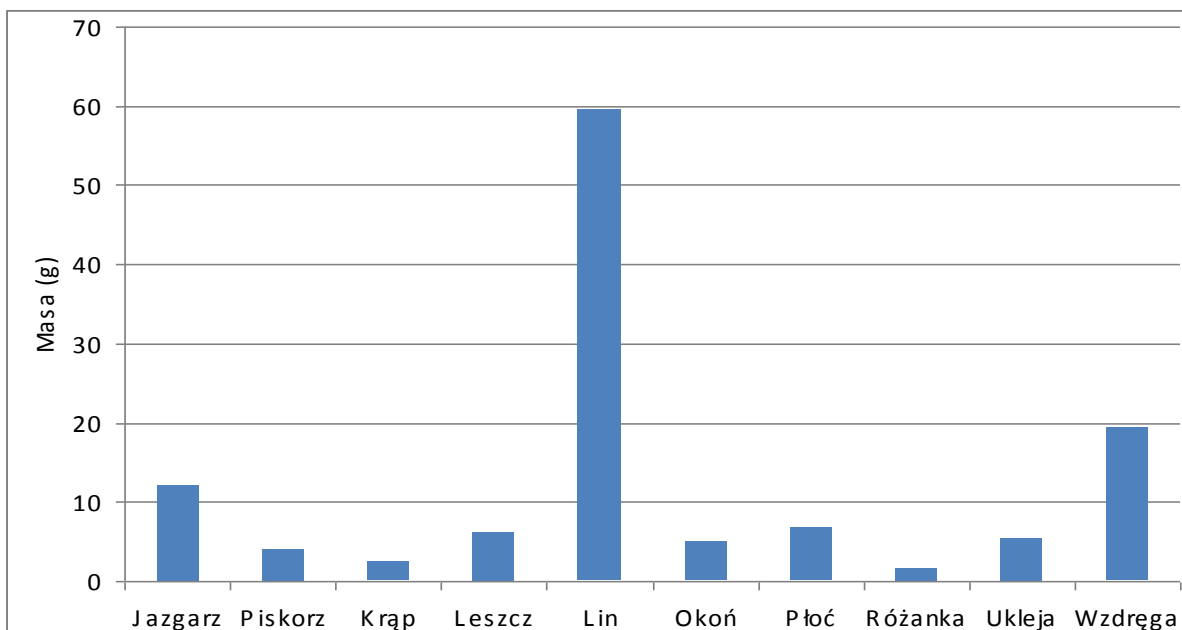


Rys. 12. Średnia długość ciała *totalis* poszczególnych gatunków ryb odłowionych z Jeziora Świętego.

Największą średnią długością ciała w jeziorze charakteryzowały się szczupak i lin. Złowione osobniki szczupaka reprezentowały populację w wieku 0+. Wszystkie pozostałe gatunki cechowały się również małymi wartościami długości ciała. Zdecydowany dominant ilościowy – płoc, uzyskała średnią długość ciała nieco poniżej 8 cm, następny dominant ilościowy – krap charakteryzował się długością ciała w granicach 5 cm. Średnia długość ciała uklei wynosiła prawie 9 cm. Warto zaznaczyć, że w przypadku różanki długość ciała przekraczała 4 cm. Niewielkie rozmiary ciała wszystkich gatunków, poza różanką świadczą o dominacji osobników juwenilnych, niedojrzałych albo skarłowaciałych. Dotyczy to szczególnie dominantów ilościowych, w tym wypadku płoci i krapia. Wynik taki świadczy o rosnącej populacji tych ryb i dobrych warunkach do ich rozmnażania i rozwoju. Wskazuje to na ichtioeutrofizację, czyli bezpośredni wpływ struktury gatunkowej, ilościowej i wielkościowej ryb na przyspieszenie procesów eutrofizacyjnych w jeziorze. W jeziorach poddanych ichtioeutrofizacji obserwuje się karłowacenie ryb. Pozostałe gatunki ryb karpowatych również uzyskały niewielkie rozmiary, chociaż nieco większe niż płoc i krap, ale ich udział procentowy w liczbie złowionych ryb był niewielki. Wyjątkiem wśród ryb karpowatych jest różanka, której rozmiary ciała były charakterystyczne dla tego gatunku i porównywalne z rozmiarami innych dojrzałych osobników obserwowanych w innych jeziorach.



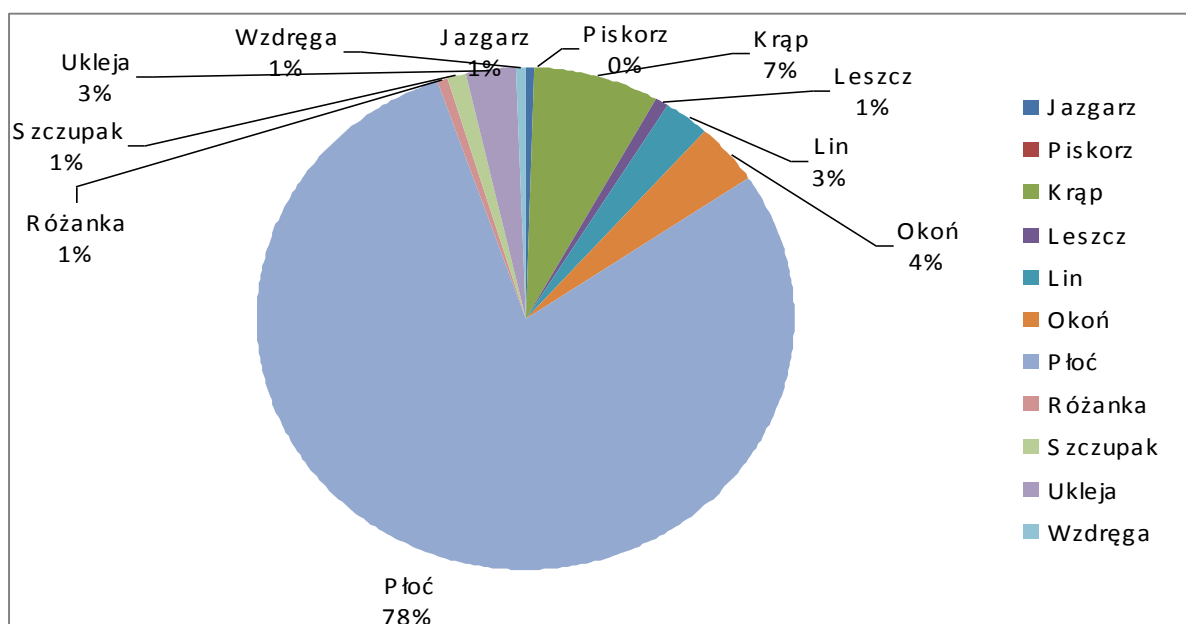
Rys. 13. Średnia masa jednostkowa poszczególnych gatunków ryb odłowionych z Jeziora Świętego.



Rys. 14. Średnia masa jednostkowa poszczególnych gatunków ryb, za wyjątkiem szczupaka) odłowionych z Jeziora Świętego.

Największą średnią wartością jednostkowej masy ciała w jeziorze charakteryzował się lin, odbiegając zdecydowanie od innych gatunków ryb (Rysunek 13). Kolejnym gatunkiem o największej masie jednostkowej był szczupak, co przy największych rozmiarach tego gatunku na tle innych, nie jest niespodzianką. Masa jednostkowa pozostałych ryb była znacznie mniejsza (Rysunek 14). Najważniejsze pod względem dominacji ilościowej płoć i krap uzyskały odpowiednio średnią masę jednostkową 7 g i 2 g. Wskazuje to na zdecydowaną przewagę osobników niedojrzałych, w wieku 0+ nawet wśród dominantów.

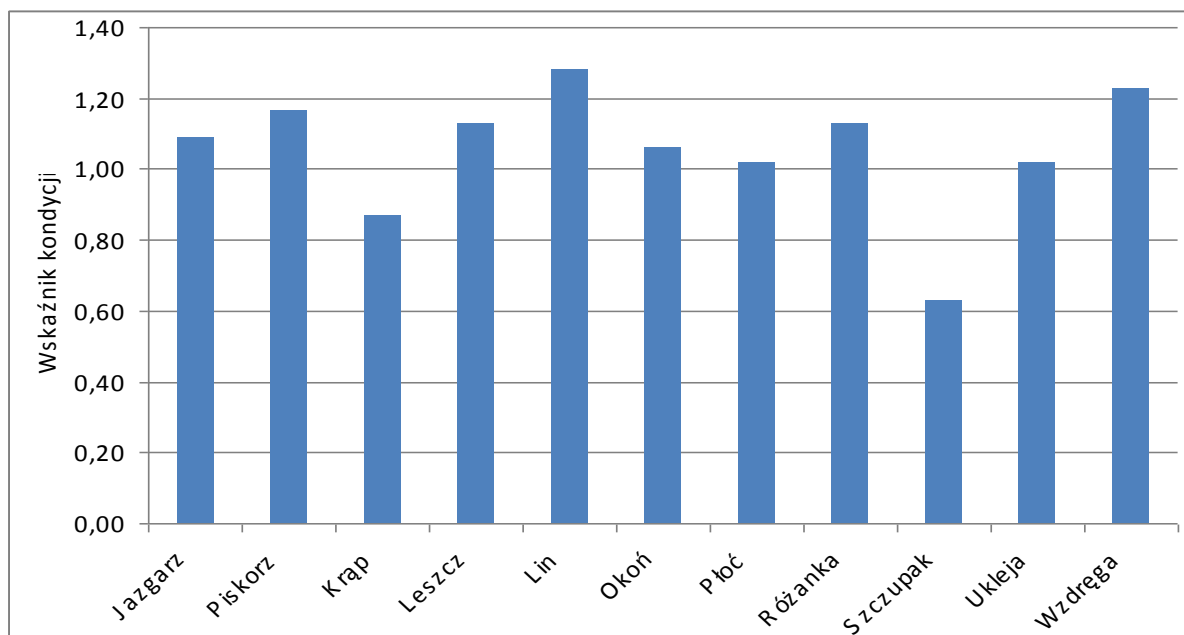
Ponadto, wynik taki może też świadczyć o karłowaceniu populacji ryb karpowatych w jeziorze. Spośród ryb karpowatych największą średnią masą jednostkową odznaczały się mniej licznie obserwowane, wspomniane wyżej lin i wzdreگا. Pozostałe gatunki ryb karpowatych charakteryzowały się niewielką masą jednostkową, z wyjątkiem różanki, której masa, podobnie jak długość ciała, była charakterystyczna dla tego gatunku raczej w wieku dojrzałym i porównywalna z masą innych osobników obserwowanych w innych jeziorach. Okoń cechował się także niewielkimi wartościami masy jednostkowej ciała, średnio zaledwie 5 g.



Rys. 15. Udział procentowy poszczególnych gatunków ryb w biomacie (łącnej masie) ryb odłowionych z Jeziora Świętego. Wartość 0 wskazuje na mniejszy udział danego gatunku niż 0,5%.

Płoc, pomimo niewielkich wartości długości oraz jednostkowej masy ciała okazała się nie tylko dominantem ilościowym, ale również dominantem wagowym (Rysunek 15). Łączna masa płoci odłowionej w jeziorze stanowiła aż 78% biomasy wszystkich odłowionych ryb. Drugi dominant ilościowy – krap, również pomimo niewielkich wartości długości oraz jednostkowej masy ciała, stanowił znacznie mniej, bo 7% biomasy wszystkich ryb. Łączny udział tych dwóch dominantów ilościowych w biomacie ryb stanowił aż 85%. Dodając do tej wartości udział procentowy biomasy innych gatunków karpowatych otrzymamy prawie 93%, co świadczy o dużej biomacie ryb niedrapieżnych, a biorąc pod uwagę strukturę dominacji ilościowej, również ryb charakteryzujących się małymi rozmiarami ciała. Wśród ryb drapieżnych pod względem wagowym biomasy dominował okoń stanowiąc 4% łącznej

masy odłowionych ryb. Można wnioskować, że nie jest to wartość aż tak mała, w odniesieniu do kształtu piramidy troficznej i stosunków wagowych. Okoń jednak jest gatunkiem ubikwistycznym, tzn, występującym w różnych typach troficznych jezior. Jest bardzo popularnym gatunkiem zarówno w jeziorach oligotroficznym, jak i nawet w silnie zeutrofizowanych. Dlatego występowanie okonia w takiej wartości biomasy w Jeziorze Świątym, nie jest niczym nienaturalnym, a raczej zjawiskiem powszechnie spotykanym w wodach eutroficznych. Okoń należy do tych ryb drapieżnych, u których w pokarmie oprócz ryb spotyka się również bezkręgowce wodne, stanowiące w treści pokarmowej znaczny udział wagowy. Niekorzystne środowiskowo są jednak mała liczebność, niewielkie rozmiary, bardzo mała masa jednostkowa i mała biomasa szczupaka, zdecydowanego drapieżnika skutecznie mogącego ograniczyć niekorzystne zmiany troficzne w jeziorze wywołane procesem ichtioeutrofizacji.



Rys. 16. Średnia wartość wskaźnika kondycji poszczególnych gatunków ryb odłowionych z Jeziora Świątym.

Średnie wartości wskaźnika kondycji wszystkich gatunków ryb nie wskazują raczej na niesprzyjające warunki środowiskowe niezbędne do wzrostu i rozwoju osobników wymienionych gatunków ryb o podanych rozmiarach i masie, chociaż niektóre z wartości wskaźników kondycji ryb są niewielkie (Rysunek 16). Niewielka masa jednostkowa tych ryb pozwala wnioskować, że warunki jeziora determinują dalszy wzrost ryb, co typowe jest w jeziorach zeutrofizowanych, a szczególnie w jeziorach śródmiejskich.



Jak wynika z analizy badań ichtiofauny Jeziora Świętego, w wodach jeziora zdecydowanie brakuje ryb drapieżnych, o takich rozmiarach i masie, które zahamowałyby rozwój i wzrost zdecydowanie dominujących drobnych ryb karpiovatych, odżywiających się zooplanktonem filtrującym wodę z komórek roślinnych i detrytus. Badania ichtiofauny, obserwacje własne oraz informacje pozyskane od społeczności lokalnej oraz od wędkarzy użytkujących jezioro Święte właściwie odzwierciedlają warunki środowiskowe panujące w tym zbiorniku. Oprócz zanotowanych w niniejszych badaniach ryb, w jeziorze mogą występować: sandacz (*Sander lucioperca*), ciernik (*Gasterosteus aculeatus*), węgorz (*Anguilla anguilla*), koza (*Cobitis taenia*), sum (*Silurus glanis*) oraz karp (*Cyprinus carpio*). Pozyskane informacje wskazują, na znaczną liczebność ryb karpiovatych również w połowach wędkarskich.

Struktura ichtiofauny zaobserwowana w badaniach, jak i informacje na temat struktury ichtiofauny pozyskane od społeczności lokalnej wskazują na wysoki poziom trofii tego akwenu. Zdecydowaną przewagą ilościową w jeziorze odznaczają się gatunki karpiovate. Większość osobników ichtiofauny zasiedlających podobne jeziora osiąga niewielkie rozmiary, co może być związane ze zjawiskiem karłowacenia ryb. W niekorzystnych warunkach hydrochemicznych obserwuje się to zjawisko, w szczególności wśród ryb karpiovatych. Wraz ze wzrostem trofii (żywności) jezior zmienia się również udział poszczególnych gatunków ryb w strukturze ichtiofauny, szczególnie ryb karpiovatych. W związku ze zmianą struktury ichtiofauny w jeziorach zachodzi efekt ichtioeutrofizacji. Układ ten przejawia się występowaniem dużej biomasy drobnych ryb karpiovatych żerujących na dużych plankterach filtrujących wodę z komórek fitoplanktonu powodującego zakwit.

Opierając się na powyższych wynikach badań i informacjach można wnioskować, że struktura gatunkowa i ilościowa ichtiofauny w Jeziorze Świętym jest typowa dla jezior o dużej żywności, silnie zeutrofizowanych, w których wielkość zasobów ryb karpiovatych jest zdecydowanie wyższa niż ryb drapieżnych. Można przypuszczać, iż przy braku zabiegów biomanipulacyjnych (opartych głównie na zarybieniach rybami drapieżnymi) w przyszłości może wystąpić znacznie intensywniejsze zjawisko „karłowacenia” ryb karpiovatych i tym samym pogorszenie warunków troficznych jeziora. Na podstawie uzyskanych wyników badań ichtiofauny, można stwierdzić, że struktury ichtiofauny Jeziora Świętego w Obrze cechuje się niekorzystnymi wskaźnikami ichtiofaunistycznymi.

## PODSUMOWANIE

Wyniki hydrochemicznego i biologicznego monitoringu Jeziora Świętego w Obrze uzyskane na przestrzeni sezonu wegetacyjnego 2017r. pozwalają na sformułowanie następujących wniosków o warunkach środowiskowych i postępie eutrofizacji badanego akwenu:

- 1) Warunki morfometryczne jeziora pozwalają na wystąpienie trwałych uwarstwień termicznych w okresie letnim. Zasadniczo jeziora uwarstwione eutrofizują się wolniej niż jeziora polimiktyczne. Jednak w przypadku Jeziora Świętego zarówno metalimnion jak i hypolimnion charakteryzują się występowaniem deficytów tlenowych. Powoduje to obciążenie jeziora dodatkową materią (siarkowodór, fosfor mineralny wydzielany z osadów dennych) niekorzystną dla ekosystemu z punktu widzenia równowagi ekologicznej.
- 2) Zasobność wód Jeziora Świętego w główne pierwiastki biogenne wskazuje na jego zaawansowaną eutrofię. O nadmiernej żyzności akwenu przesądza koncentracja fosforu, który przy średnim stężeniu około 0,10-0,12 mg w litrze nie pozwala zakwalifikować jeziora do dobrego stanu ekologicznego.
- 3) Indeksy troficzne Carlsona klasyfikują Jezioro Święte do grupy zbiorników eutroficznych.
- 4) Wyniki monitoringu biologicznego potwierdzają eutroficzny charakter siedliska. Ekosystem Jeziora Świętego zdominowany jest przez gatunki charakterystyczne dla wód żyznych, o zaawansowanej eutrofii, odpowiadającej umiarkowanemu lub słabemu stanowi ekologicznemu. Szczególnie znamienne dla osłabionej kondycji ekologicznej tego zbiornika jest występowanie znacznych populacji drobnych ryb karpowatych, zaburzających możliwość presji dużych form zooplanktonu na fitoplankton.
- 5) O słabym stanie ekologicznym jeziora świadczy obecność bakterii siarkowych. W pierwszych dniach września br. stwierdzono pojawianie się dużych ilości aglomeratów bakterii siarkowych, formujących się w charakterystyczne kłaczki rdzawego koloru, dające się zaobserwować organoleptycznie na brzegach akwenu i w toni wodnej. Jest to zjawisko charakterystyczne dla jezior, których przydenne warstwy latem obfitują w siarkowodór, będący metabolitem beztlenowego rozkładu materii organicznej. Obecność tego związku potwierdzono w hypolimnionie Jeziora Świętego w wyjątkowo dużych koncentracjach – rzędu 8,5 - 10 mg HS<sup>-</sup> l<sup>-1</sup>.

**LITERATURA**

1. Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., 2009. *Przewodnik do ćwiczeń z hydrologii ogólnej*. Wyd. PWN.
2. Carlson R.E. 1977. *A trophic state index for lakes*. Limnol. Oceanogr., 22: 361-369.
3. Dojlido J., 1995. *Chemia wód powierzchniowych*. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
4. Faraś-Ostrowska B., Lange W., 1998. *Przezroczystość wody jako miara nasilenia eutrofizacji jezior. Zagrożenia degradacyjne a ochrona jezior*. Zakład Limnologii UG, Bad. Limnol., 1: 181 – 191.
5. Hullebush E. Van, Auvray F., Deluchat V., Chazal Ph. M., Baudu M. 2003. *Phosphorus fractionation and short-term mobility in the surface sediment of a polymictic shallow lake treated with a low dose of alum (Courtille Lake, France)*, Water, Air and Soil Pollution, 146: 75-91.
6. Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J., 1999. *Fizyczno – chemiczne badanie wody i ścieków*. Arkady, Warszawa.
7. Januszkiewicz T., 1978. *Studium nad metodyką analizy chemicznej składu współczesnych osadów dennych jezior*. Zesz. Nauk. ART. W Olsztynie, 8.
8. Kajak Z., 2001. *Hydrobiologia – limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. PWN Warszawa
9. Kratzer C.R., Brezonik P.L. 1981. *A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes*. Water Resarch Bulletin, 17: 713-715.
10. Nürnberg G. K. 2001. *Eutrophication and Trophic State*. LakeLine 21:29-33.
11. OECD. 1982. *Eutrophication of water, monitoring, assessment and control*. Paris. ss. 150.
12. Olszewski P., Paschalski J., 1959. *Wstępna charakterystyka limnologiczna niektórych jezior Pojezierza Mazurskiego*. Zesz. Nauk. ART. Olsztyn. 4: 1 – 100
13. Zdanowski B., 1982. *Nitrogen, phosphorus contents and lake eutrophication*. Polskie Archiwum Hydrobiologii 29(3-4), 541 - 597

*Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. 2016 poz. 1187).*