

WPLYW REKULTYWACJI NA TROFIĘ JEZIORA ŚRÓDMIEJSKIEGO

Ewa Paturej

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Zooplankton jest bardzo dobrym bioindykatorem warunków fizycznych i chemicznych środowiska wodnego. Analizę struktury zespołu zooplanktonu Jeziora Długiego w Olsztynie oparto na materiałach zebranych w latach 2001–2003 (PAX) oraz w roku 2007 (rok kontrolny). Ustalono, że liczba gatunków oraz liczebność i biomasa zwierząt planktonowych były zróżnicowane i zależne od trofii jeziora oraz od czynników abiotycznych środowiska. Po przeprowadzonej rekultywacji Jeziora Długiego i odcięciu dopływu ścieków następowała powolna przebudowa struktury zooplanktonu w kierunku zwiększenia bogactwa gatunkowego oraz wyraźnego zmniejszenia liczby i liczebności gatunków wskaźnikowych trofii wód. Na podstawie indeksów zooplanktonowych stwierdzono, że wody Jeziora Długiego przed rekultywacją miały charakter eutroficzny ze znamionami politrofii, a po rekultywacji – mezoeutroficzny/mezotroficzny.

Słowa kluczowe: trofia wód, rekultywacja, zooplanktonowe wskaźniki trofii wód

WSTĘP

Industrializacja i urbanizacja niesie ze sobą szereg zagrożeń dla środowiska, w tym nasilenie degradacji ekosystemów wodnych. Sposób zagospodarowania zlewni wpływa na stopień antropopresji na wody powierzchniowe i gruntowe. W zdecydowanie niekorzystnej sytuacji są jeziora śródmiejskie, np. Jezioro Długie w Olsztynie, które było odbiornikiem ścieków bytowo-gospodarczych i deszczówki już w latach 70. XX wieku. Dopływ związków azotu i fosforu spowodował okresowe załamanie produkcji pierwotnej i przewagę procesów destrukcji nad procesami produkcji [Gawrońska i in. 2005, Paturej i Bowszys 2005]. Powszechnie uważa się, że jednym z najbardziej efektywnych sposobów obniżenia trofii jeziora jest redukcja dopływu substancji odżywczych ze zlewni. Jezioro Długie taką szansę odnowy otrzymało w 1976 r., ale według Grochowskiej i Gawrońskiej [2004] oraz Gawrońskiej i innych [2005] był to zabieg niewystarczający, lecz konieczny przed przystąpieniem do rekultywacji.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr hab. Ewa Paturej, Katedra Ekologii Stosowanej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 5, 10-957 Olsztyn, e-mail: epaturej@uwm.edu.pl

Podjęte metody rekultywacji – przepłukanie wodą z sąsiedniego Jeziora Ukiel (1982) oraz sztuczne napowietrzanie z destratyfikacją termiczną (1987–2000) – okazały się niewystarczające. Wprawdzie ilość substancji biogennych w wodzie jeziora znacznie się zmniejszyła, jednak ich stężenia nadal były zbyt wysokie, aby stać się czynnikiem ograniczającym produkcję pierwotną. W 2001 r., po raz pierwszy w Polsce, zastosowano tu metodę rekultywacji polegającą na strąceniu fosforu z wody i jego zablokowaniu w osadach dennych (PAX).

Zooplankton jest dobrym bioindykatorem istniejących warunków fizycznych i chemicznych środowiska wodnego, a zasobność w związki biogeniczne działa indukująco na rozwój form właściwych wodom eutroficznym [Hillbricht-Ilkowska 1977, Karabin 1985, Hall i in. 2002].

Podjęte badania miały na celu zweryfikowanie hipotezy, że zarejestrowane zmiany w zespołach *Rotifera*, *Cladocera* i *Copepoda* mogą stanowić podstawę do klasyfikacji wód jeziora śródmiejskiego pod względem stopnia zróżnicowania troficznego.

MATERIAŁ I METODY

Prace badawcze przeprowadzono na materiale biologicznym zebrany w cyklach miesięcznych okresów kwiecień–listopad w latach 2001–2003 oraz w roku 2007 w Jeziorze Długim (20°27,8' N; 53°47,2' E), położonym na wysokości 102,8 m n.p.m. w zachodniej części Olsztyna, w dorzeczu Łyny i Pregocy. Zlewnia Jeziora Długiego jest niewielka (0,54 km²); ok. 40% powierzchni stanowią lasy, a resztę zajmują tereny zurbanizowane i nieużytki.

Misa jeziora dzieli się na trzy części. Największą (13,5 ha) i najgłębszą (17,3 m) częścią jeziora jest płośń środkowa, gdzie znajduje się 67% ogólnej masy wód. Wykazuje ono typowe cechy krążenia bradymiktycznego. Jego zlewnię tworzą od zachodu tereny zabudowane, a od wschodu obszary częściowo pokryte lasem. Część północną jeziora stanowi odrębna, duża zatoka o powierzchni 11 ha i głębokości 5 m, zawierająca 30% masy wód. Wykazuje ona cechy płytkich jezior o ograniczonym mieszanii, a brzegi prawie na całej długości pokrywa las. Najmniejszą (2,5 ha) i najpłytszą (3,5 m) częścią jeziora jest zatoka południowa (3% ogólnej masy wód), w całości otoczona terenami zurbanizowanymi. Wprowadzane przez wiele lat ścieki spowodowały jej wypłylenie wskutek nagromadzenia osadów; obecnie zatoka ta wykazuje cechy zbiorników płytkich i polimiktycznych. Jezioro Długie jest zbiornikiem hydrologicznie zamkniętym [Lossow i in. 2005].

W latach 2001, 2002 i 2003 przeprowadzono rekultywację jeziora polegającą na inaktywacji fosforu przy użyciu koagulantu glinowego. Do wód jeziora wprowadzono wodny roztwór polichloru glinu (PAX), stosując trzykrotnie równe dawki po 20 ton każda. Rokiem kontrolnym po zabiegach rekultywacyjnych był rok 2007.

Próby do badań biologicznych i chemicznych pobierano z trzech stanowisk rozmieszczonych w poszczególnych płościach jeziora. W płości środkowej wykonano przekrój poprzeczny, dzieląc w pionie słup wody na trzy części: 0–5 m, 5–10 m, 10–15 m. Próbkę wody pobierano aparatem Ruttnera, przeprowadzając połowy pionowe od powierzchni do dna. Łącznie z każdego stanowiska pobierano 30 litrów wody. Dane dotyczące para-

metrów fizykochemicznych wody (temperatura, widzialność krążka Secchiego (SDV), zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie) udostępniła Katedra Inżynierii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. W okresie badawczym zebrano 170 prób.

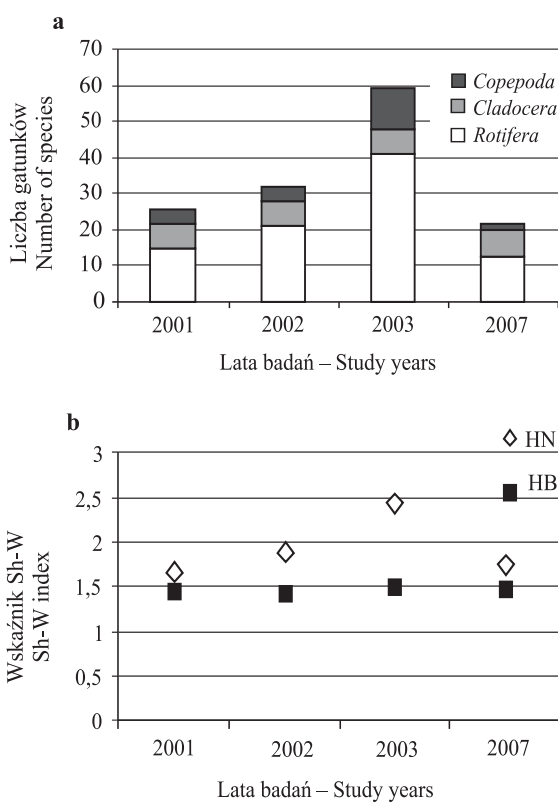
Liczebność organizmów planktonowych (N , osob. \cdot dm⁻³) określono za pomocą reguły Hensena [Starmach 1955], a biomasę wrotków i skorupiaków (B , mg \cdot dm⁻³) oszacowano metodą pośrednią [Bottrell i in. 1976, Ejsmont-Karabin 1998]. Zooplanktonowe indeksy trofii wód przyjęto za Karabinem [1985], a indeks TSI_{SD} za Carlsonem [1977]. Określając strukturę i zróżnicowanie zespołów zooplanktonu, analizowano jego bogactwo gatunkowe (liczba gatunków występujących w próbie) oraz różnorodność gatunkową (wskaźnik Shannona-Weavera; H_N , H_B) [Krebs 1996]. Różnice liczebności i biomasy zooplanktonu (*Rotifera*, *Cladocera* i *Copepoda*), bogactwa gatunkowego i indeksu Shannona-Weavera między latami badań (2001, 2002, 2003, 2007) analizowano, stosując test nieparametryczny U Manna-Whitneya [StatSoft 2006].

WYNIKI

Zmiany liczebności, biomasy i struktury zooplanktonu w środowisku wodnym są konsekwencją wpływu szeregu czynników abiotycznych. Zooplankton Jeziora Długiego w latach 2001–2003 oraz w roku kontrolnym 2007 charakteryzował się zróżnicowanym składem jakościowym, wynikającym ze stanu troficznego jeziora i z podjętych działań rekultywacyjnych.

W latach 2001, 2002 i 2003, po zabiegach rekultywacyjnych, zarejestrowano odpowiednio 26, 32 i 59 taksonów oraz 15 gatunków wskaźnikowych trofii wód, podczas gdy w roku kontrolnym 2007 zidentyfikowano 22 taksony i 10 gatunków (rys. 1). Indykatory wysokiej trofii wód, których dominacja i udział w planktonie zwiększa się ze wzrostem stanu troficznego jeziora, stanowią tzw. II grupę ekologiczną. Wśród *Rotifera* ich przedstawicielami w okresie 2001–2003 były *Anuraeopsis fissa*, *Brachionus angularis*, *B. diversicornis*, *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis* f. *tecta*, *K. quadrata*, *Pompholyx sulcata*, *Proales* sp., *Trichocerca cylindrica* i *T. pusilla*, natomiast *Crustacea* reprezentowały *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Mesocyclops leuckarti* i *M. oithonoides*. W zespole wrotków zanotowano więcej gatunków wskaźnikowych niż wśród skorupiaków. W 2007 r. w badanym zooplanktonie już nie zaobserwowano *Brachionus diversicornis*, *Proales* sp. i *Trichocerca cylindrica* ani *Mesocyclops leuckarti* i *M. oithonoides*.

Bogactwo gatunkowe i różnorodność biologiczna zooplanktonu w jeziorze były zróżnicowane w poszczególnych latach badań (statystycznie istotnie; $p < 0,05$; rys. 1). Największą liczbę gatunków stwierdzono w ostatnim roku rekultywacji (2003), co korespondowało z wysoką wartością wskaźnika różnorodności gatunkowej, liczebności i biomasy (H_N , H_B) zooplanktonu oraz lepszymi warunkami środowiska, m.in. większą przezroczystością wody (tab. 1). Po czterech latach od zakończenia rekultywacji zarejestrowano mniejsze wartości wskaźników, co należy tłumaczyć dominacją w faunie planktonowej pojedynczych gatunków, nie będących wskaźnikami trofii wód, przy małym udziale pozostałych taksonów. Powodem takiego stanu była znaczna dominacja gatunku



Rys. 1. Liczba gatunków (a) i wskaźnik Shannona-Weavera (b) wyliczony z liczebności (N) i biomasy (B) zooplanktonu w Jeziorze Długim

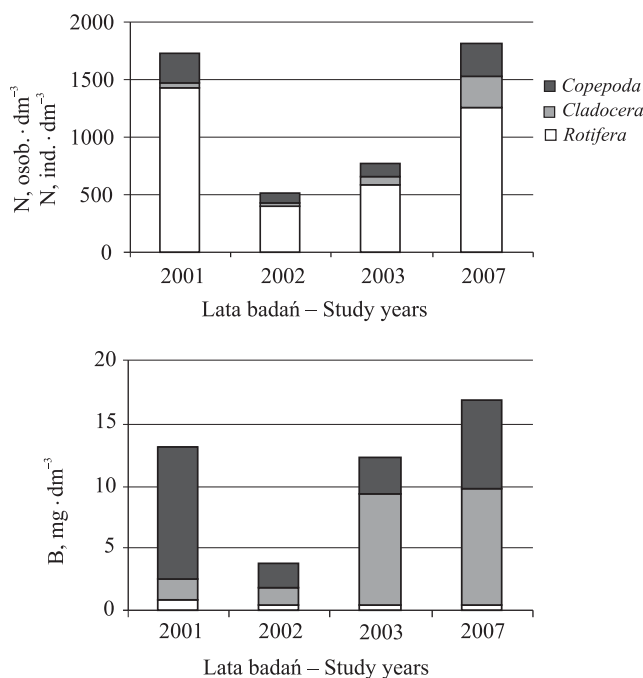
Fig. 1. Number of species (a) and Shannon-Weaver index (b) calculated from abundance (N) and biomass (B) of zooplankton in Lake Długie

Tabela 1. Parametry fizyczno-chemiczne wody w Jeziorze Długim w latach badań
Table 1. Physicochemical parameters of water in Lake Długie in study years

| Parametr – Parameter | Rok – Year | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2007 |
| Temperatura, °C Temperature, °C | 14,0 (6,1÷22,9) | 15,0 (5,3÷21,6) | 12,1 (2,1÷23,1) | 15,7 (4,2÷22,3) |
| Tlen rozpuszczony, mg O ₂ · dm ⁻³ Dissolved oxygen, mg O ₂ · dm ⁻³ | 8,9 (0,9÷13,3) | 9,3 (7,7÷13,9) | 9,6 (7,4÷11,2) | 8,5 (7,3÷10,6) |
| Widzialność krążka Secchiego (SDV), m Secchi disk visibility (SDV), m | 1,2 (0,8÷1,7) | 1,4 (0,8÷2,0) | 2,0 (1,8÷2,6) | 3,4 (3,0÷4,1) |

Keratella cochlearis f. *cochlearis* oraz rodzaju *Daphnia*, co w konsekwencji miało odzwierciedlenie w nierównomiernym rozdziale osobników między pozostałe gatunki.

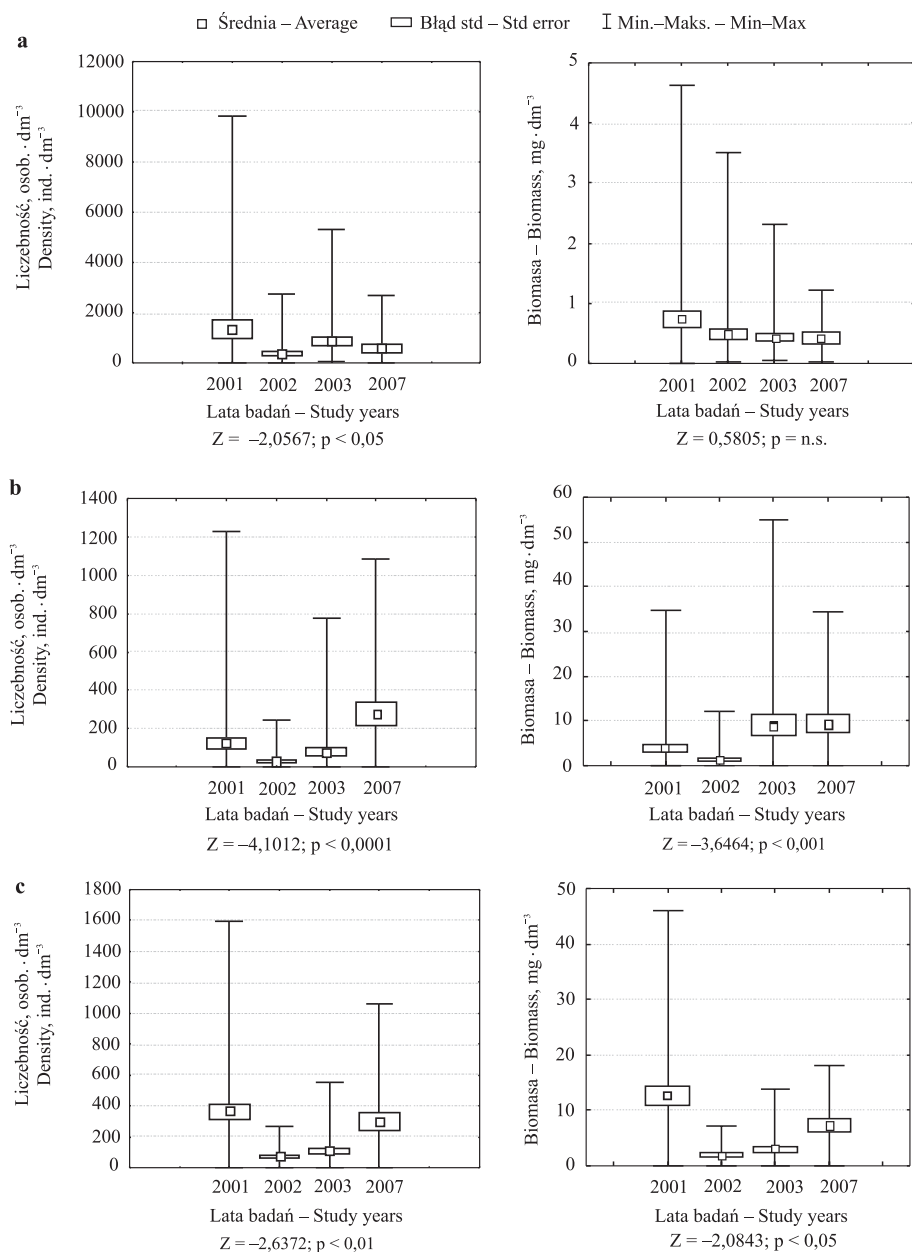
Liczebność i biomasa zooplanktonu w jeziorze w pierwszym roku prowadzonej rekultywacji utrzymywała się na dość wysokim poziomie, ze zdecydowaną dominacją wrotków w liczebności i widłonogów w biomacie (rys. 2). W kolejnych latach 2002 i 2003 zastosowanie PAX-u wyeliminowało z fauny planktonowej gatunki stawowe, co znalazło odzwierciedlenie w strukturze zooplanktonu. W 2007 r. biocenoza jeziora ustabilizowała się; zarejestrowano największą liczebność ($1828 \text{ osob.} \cdot \text{dm}^{-3}$) i biomasę ($16,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) zwierząt planktonowych, przy czym najliczniej reprezentowane były wrotki, a następnie wioślarki, które miały również największy udział wagowy.



Rys. 2. Liczebność (N) i biomasa (B) zooplanktonu w Jeziorze Długim
Fig. 2. Abundance (N) and biomass (B) of zooplankton in Lake Długie

Liczebność i biomasa *Rotifera*, *Cladocera* i *Copepoda* w poszczególnych latach były zróżnicowane (rys. 3). W grupie wioślarek zarejestrowano wysokoistotne statystycznie różnice między latami badań zarówno pod względem liczebności ($p < 0,0001$), jak i biomasy ($p < 0,001$). W przypadku widłonogów odnotowano istotne ($p < 0,01$) różnice liczebności. Różnice pod względem liczebności wrotków oraz biomasy widłonogów były mniej istotne ($p < 0,05$). Zróżnicowanie biomasy wrotków w poszczególnych latach było statystycznie nieistotne.

Analiza charakterystyk strukturalnych zooplanktonu jako bioindykatorów eutrofizacji wód wykazała, że lata 2001, 2002 i 2003 były do siebie podobne pod względem stopnia zeutrofizowania mas wodnych (eutrofia ze znamionami mezoeutrofii, a nawet politrofii),



Rys. 3. Zróżnicowanie liczebności i biomasy *Rotifera*, *Cladocera* i *Copepoda* w Jeziorze Długim; Z – obliczona wartość testu U Manna-Whitneya, p – prawdopodobieństwo wystąpienia hipotezy zerowej

Fig. 3. Differences in abundance and biomass of *Rotifera*, *Cladocera* and *Copepoda* in Lake Długie; Z – calculated value of Mann-Whitney U test, p – probability of occurrence of null hypothesis

a w 2007 r. stan czystości Jeziora Długiego wyraźnie się polepszył (mezoeutrofia/mezotrofia; tab. 2). W okresie rekultywacji indeks stanu troficznego, oparty na widzialności krążka Secchiego (TSI_{SD}), wskazywał na eutroficzny i mezoeutroficzny charakter wód jeziora, podobnie jak udział formy *tecta* w liczebności jednego z najpospolitszych wskaźników trofi *Keratella cochlearis*. Pozostałe indeksy, oparte na charakterystyce strukturalnej skorupiaków, charakteryzowały wody jeziora w początkach rekultywacji jako zdecydowanie eutroficzne, a już pod koniec rekultywacji obserwowano polepszenie jakości wód zbiornika.

Tabela 2. Zooplanktonowe wskaźniki trofi Jeziora Długiego w latach badań
Table 2. Zooplankton-based indices of Lake Długie trophy in study years

| Rok – Year | TSI_{SD} | II gr.- - <i>Rotifera</i> | TECTA | <i>Rotifera</i> N | II gr.- - <i>Crustacea</i> | <i>Cyclopidae</i> - - <i>Crust.</i> | $B_{CY} : B_{CL}$ |
|--------------------------------------|--|------------------------------|-------|----------------------|-------------------------------|--|-------------------|
| Rekultywacja – Restoration | | | | | | | |
| 2001 | e | me | m/e | m/e/p | m | e | e |
| 2002 | e/me | m/me/e | me/e | me/e | m | e | e |
| 2003 | me | me | me/m | e/me | m | e/me/m | me/m |
| Rok kontrolny – Control year | | | | | | | |
| 2007 | m | m | m | e/me | me | me | me |
| Typ troficzny Trophic type | Zakresy wartości dla typów troficznych jezior [Karabin 1985] Ranges of values for trophic types of lakes [Karabin 1985] | | | | | | |
| Mezotrofia Mesotrophy (m) | <45 | <10 | 0–5 | <400 | <25 | <15 | <0,2 |
| Mezoeutrofia Mesoeutrophy (me) | 45–55 | 10–90 | 5–20 | <400 | 25–60 | 15–30 | 0,2–0,8 |
| Eutrofia Eutrophy (e) | 55–65 | >90 | 20–60 | 400–2000 | >60 | >30 | >0,8 |
| Politrofia Polytropy (p) | >65 | >90 | >60 | >2000 | – | – | – |

TSI_{SD} – wskaźnik trofi [Carlson 1977],

II gr.-*Rotifera* – udział II grupy ekologicznej w biomase wskaźnikowego zespołu wrotków (%),

TECTA – udział formy *tecta* w liczebności populacji *Keratella cochlearis* (%),

Rotifera N – liczebność wrotków (osob. · dm⁻³),

II gr.-*Crustacea* – udział II grupy ekologicznej w biomase wskaźnikowego zespołu skorupiaków (%),

Cyclopidae-*Crust.* – udział *Cyclopidae* w biomase *Crustacea* (%),

$B_{CY} : B_{CL}$ stosunek biomasy *Cyclopidae* do biomasy *Cladocera* (mg · dm⁻³)

TSI_{SD} – trophic state index [Carlson 1977],

II gr.-*Rotifera* – proportion of ecological group II in biomass of indicator rotifer community (%),

TECTA – proportion of *tecta* in abundance of *Keratella cochlearis* (%),

Rotifera N – abundance of rotifers (ind. · dm⁻³),

II gr.-*Crustacea* – proportion of ecological group II in biomass of indicator crustacean community (%),

Cyclopidae-*Crust.* – proportion of *Cyclopidae* in biomass of *Crustacea* (%),

$B_{CY} : B_{CL}$ – ratio between *Cyclopidae* biomass and *Cladocera* biomass (mg · dm⁻³)

DYSKUSJA

Występowanie zwierząt planktonowych w warunkach naturalnych wiąże się z określonym zakresem tolerancji (optimum ekologicznym) zależnym od czynników abiotycznych środowiska, a także od interakcji biotycznych między organizmami. W przestrzeni wielowymiarowej (niszy realnej) występowanie organizmów nie zależy tylko od jednego czynnika środowiska – taksony wykazują zakresy tolerancji w stosunku do wielu czynników, zarówno niezależnych od człowieka, jak i będących efektem antropopresji [Shurin i in. 2000]. Wiele gatunków wrotków i skorupiaków wykazuje dużą tolerancję na zmiany zachodzące w środowisku i może stanowić wskaźnik stanu troficznego wód [Radwan 1976, Hillbricht-Ilkowska 1977, Karabin 1985, Hall i in. 2002].

Prezentowane badania wykazały, że fauna planktonowa w Jeziorze Długim w początkowym okresie rekultywacji charakteryzowała się stosunkowo niewielkim bogactwem gatunkowym, przy czym najwięcej reprezentantów miały *Rotifera*, a ich udział w zagęszczeniu planktonu był bardzo duży. Jednocześnie stosunkowo niskie wartości wskaźnika różnorodności gatunkowej Shannona-Weavera wskazywały na zdecydowaną dominację pojedynczych gatunków przy niskim udziale pozostałych taksonów, co jest charakterystyczne dla wód zeutrofizowanych. Hipotezę uproszczenia struktury zespołu ze wzrostem trofii potwierdził również Rogozin [2000], badając wybrane cechy struktury zooplanktonu w jeziorach różniących się statusem troficznym, oraz Karabin [1985], stwierdzając, że zagęszczenie wrotków zwiększa się wraz ze wzrostem trofii jezior, a zagęszczenie skorupiaków wzrasta tylko w zakresie od mezotrofii do mezoeutrofii (I–III grupa ekologiczna). W Jeziorze Długim wytworzyły się wyspecjalizowane zespoły wykazujące, z jednej strony, charakterystyczne zubożenie jakościowe, a z drugiej – niezwykle dynamiczny rozwój ilościowy gatunków o dużej tolerancji. Największe zagęszczenie wrotków, zaobserwowane w 2001 r., było 10-krotnie mniejsze niż notowane w latach 70. XX wieku, kiedy to do jeziora odprowadzano ścieki bytowo-gospodarcze [Widuto 1979]. Według wielu autorów, w jeziorach zeutrofizowanych, szczególnie śródmiejskich, takich jak np. Jezioro Zamkowe [Patalas 1956], jeziora szczycieńskie [Bittel 1974] czy Jezioro Głębokie w Szczecinie [Szlauer 1996], wrotki osiągają wysokie zagęszczenie, a wiele z nich jest wskaźnikami trofii wód. Potwierdzają to badania przeprowadzone na Jeziorze Długim [Paturej i Bowszys 2005]. Zespół wrotków planktonowych charakteryzował się większym bogactwem gatunkowym niż zespół skorupiaków. Podobną prawidłowość stwierdzili Cerbin i Kokociński [1998], badając zbiorowiska planktonu zwierzęcego w Jeziorze Kaliszańskim Dużym, Bielańska-Grajner i Pilarczyk [1996] w Jeziorze Rybnik oraz Radwan i inni [2003], badając ekosystemy wodne Polesia.

Zarejestrowany na końcowym etapie rekultywacji spadek liczebności wrotków i skorupiaków oraz wzrost bogactwa gatunkowego i różnorodności zooplanktonu pozwala sądzić, że nastąpiły korzystne zmiany warunków środowiska w jeziorze (tab. 1). O zmianie statusu troficznego jeziora świadczyło podwyższenie wartości stosunku N:P – od spotykanych w ściekach bytowo-gospodarczych (4–6) do obserwowanych w jeziorach mezotroficznym (> 25) [Gawrońska i in. 2005]. Znacznie się poszerzył skład gatunkowy badanych zespołów, pojawiły się taksony charakterystyczne dla wód słabo zeutrofizowanych, np. *Daphnia cristata*, a ustąpiły gatunki typowe dla stawów i małych zbiorników, takie jak *Filinia brachiata*, *Brachionus urceolaris*, *Pedalia mira*. W 2007 r., a więc cztery lata po zakoń-

czonym procesie odnowy zbiornika, stwierdzono dalsze korzystne zmiany biocenotyczne w zespole zooplanktonu. Zmniejszyła się liczba gatunków wskaźnikowych trofi wód i nie tworzyły one silnych liczebnie populacji, wartość wskaźnika Shannona-Weavera wskazywała na mniej więcej równomierny udział każdego z taksonów w całkowitej liczebności i biomacie zooplanktonu, uległa zmianie struktura zespołu na korzyść większego udziału liczbowego i wagowego wioślarek (gatunki z rodzaju *Daphnia*). Zooplanktonowe indeksy trofi wód oparte na wrotkach i skorupiakach także wskazywały na polepszenie jakości wody zbiornika (tab. 2). Znaczna heterogenność poszczególnych plos Jeziora Długiego prawdopodobnie stwarzała dogodne warunki dla rozwoju fauny planktonowej [Kuczyńska-Kippen i Nagengast 2003]. Uzyskano stan czystości jeziora pozwalający sugerować, że zbiornik znajduje się w fazie przejściowej od mezoeutrofii do mezotrofii.

PODSUMOWANIE

W wyniku badań zooplanktonowych stwierdzono, że stan Jeziora Długiego po wieloletnim okresie rekultywacji należy uznać za zadowalający, zwłaszcza że w latach 70. XX w. jezioro zaliczano do zbiorników saprotroficznych. Jak wskazują wartości indeksów zooplanktonowych, wody jeziora przed rekultywacją miały charakter eutroficzny ze znamionami politrofii, natomiast po rekultywacji przeprowadzonej przy użyciu koagulantu glinowego PAX czystość osiągnęła stan na pograniczu mezoeutrofii i mezotrofii. Trwałość uzyskanego polepszenia będzie zależała od ładunku zanieczyszczeń wprowadzanych do zbiornika. Obecnie największym zagrożeniem dla Jeziora Długiego jest odprowadzanie do niego nadmiaru wód z Jeziora Ukiel oraz stosowanie zanęt przez wędkarzy.

PIŚMIENNICTWO

- Bottrell H.H., Duncan A., Gliwicz Z.M., Grygierek E., Herzing A., Hillbricht-Ilkowska A., Kurasawa H., Larsson P., Węgłęńska T., 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Norw. J. Zool.* 24, 419–456.
- Biełańska-Grajner I., Pilarczyk K., 1996. Zooplankton of heated water of Rybnik reservoir in the years 1987–1988. *Acta. Biol. Sil.* 28, 170–186.
- Bittel L., 1974. Pelagiczny plankton zwierzęcy jezior szczycieńskich. *Zesz. Nauk. ART Olszt., Ochr. Wód Ryb. Śródląd.* 3, 81–94.
- Carlson R.E., 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22, 361–369.
- Cerbin S., Kokociński M., 1998. Zbiorowiska planktonu roślinnego i zwierzęcego Jeziora Kaliszańskiego Dużego – ocena stanu biologicznego i istniejących zagrożeń. *Bad. Fizjogr. Pol. Zach.* 47, 245–256.
- Ejsmont-Karabin J., 1998. Empirical equations for biomass calculation of planktonic rotifers. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 45, 513–522.
- Gawrońska H., Lossow K., Grochowska J., 2005. Rekultywacja Jeziora Długiego w Olsztynie. *Wyd. „Edycja” Olsztyn.*
- Grochowska J., Gawrońska H., 2004. Restoration effectiveness of a degraded lake using multi-year artificial aeration. *Pol. J. Environm. Stud.* 13(6), 671–681.
- Hall J., Catherine J.B., Carolyn W., 2002. Environmental gradients and zooplankton distribution in a shallow tidal lake. *Arch. Hydrobiol.* 154(3), 485–497.

- Hillbricht-Ilkowska A., 1977. Trophic relations and energy flow in pelagic plankton. *Pol. Ecol. Stud.* 3(1), 3–98.
- Karabin A., 1985. Pelagic zooplankton (*Rotatoria* + *Crustacea*) variation in the process of lake eutrophication. I. Structural and quantitative features. *Ekol. Pol.* 33(4), 567–616.
- Krebs Ch.J., 1996. *Ekologia*. Wyd. Nauk. PWN Warszawa.
- Kuczyńska-Kippen N., Nagengast B., 2003. The impact of the spatial structure of hydromacrophytes on the similarity of *Rotifera* communities (Budzyńskie Lake, Poland). *Hydrobiol.* 506–509, 1–3, 333–338.
- Lossow K., Gawrońska H., Mientki Cz., Łopata M., Wiśniewski G., 2005. Jeziora Olsztyna – stan troficzny, zagrożenia. Wyd. „Edycja” Olsztyn.
- Patalas K., 1956. Sezonowe zmiany w zespole skorupiaków pelagicznych w J. Zamkowym na tle stosunków termiczno-tlenowych. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 3(16), 203–251.
- Paturej E., Bowszys M., 2005. Changes in the zooplankton of the restored Lake Długie. *Pol. J. Nat. Sci.* 19(2), 321–334.
- Radwan S., 1976. Planktonic rotifers as indicators of lake trophy. *Ann. UMCS, Sect. C*, 31, 227–235.
- Radwan S., Płaska W., Sender J., Wolski W., Wojciechowska W., 2003. Structure of the biocenosis in three Polesie Lubelskie region (Eastern Poland) shallow lakes of different trophy. *Acta Agroph.* 1(3), 501–512.
- Rogozin A.G., 2000. Specific structural features of zooplankton in lakes differing in trophic status: Species populations. *Ekologija* 6, 438–443.
- Shurin J.B., Havel J.H., Leibold M.A., Pinel-Alloul B., 2000. Local and regional zooplankton species richness: a scale-independent test for saturation. *Ecology* 81, 3062–3073.
- Starmach K., 1955. *Metody badań planktonu*. PWRiL Warszawa.
- StatSoft, 2006. STATISTICA (data analysis software system), version 8. www.statsoft.com
- Szlauer B., 1996. Zooplankton Jeziora Głębokiego w Szczecinie jako wskaźnik trofii tego zbiornika. *Zesz. Nauk. AR Szczec.* 171(22), 19–34.
- Widuto J., 1979. Zooplankton Jeziora Długiego w Olsztynie zanieczyszczonego ściekami gospodarczo-bytowymi. *Zesz. Nauk. ART. Olszt.* 9, 93–103.

EFFECT OF RESTORATION ON THE TROPHIC STATE OF AN URBAN LAKE

Abstract. Zooplankton can be used as a reliable bioindicator of the physical and chemical conditions in the aquatic environment. An analysis of the structure of the zooplankton community in Lake Długie was based on the material collected in the years 2001–2003 (after restoration using PAX) and in 2007 (control year). It was found that the number of zooplankton species, their abundance and biomass varied greatly and depended on lake trophy and abiotic environmental factors. The cutoff of sewage inflow and the restoration of the lake resulted in gradual changes in the structure of the zooplankton community, consisting in an increase in species diversity and a marked decrease in the number and abundance of the indicator species of high trophy levels. As shown by the values of zooplankton-based indices, the waters of Lake Długie before restoration were eutrophic with some features of polytrophy, while after restoration they were mesoeutrophic/mesotrophic.

Key words: water trophy, restoration, zooplankton-based indices of trophic state

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 3.09.2008