

Krystian Obolewski

Wykorzystanie makrozoobentosu do oceny stanu ekologicznego estuariowego jeziora Jamno

Polskie wybrzeże Bałtyku obfituje w wiele form typu estuariowego, począwszy od zatopionych zatok w otwartym morzu (Zatoka Gdańska, Zalew Szczeciński) do jezior o stałym kontakcie z morzem (Łebsko) lub z okresowo zamykanym połączeniem poprzez kanały lub ujściowe odcinki rzek (Jamno) [1]. Proces powstawania zbiorników typu estuariowego związany był z transgresją naturalną, czyli podniesieniem się poziomu wody w Bałtyku w fazie litorynowej [2]. Od tego czasu funkcjonowanie tego typu ekosystemów wodnych jest uwarunkowane dopływem odświeżających wód morskich. Spośród wielu czynników ulegających zmianom w wyniku oddziaływania wód Bałtyku (temperatura, pH, zawartość biogenów i substancji organicznych), fluktuacyjne zmiany zasolenia są naturalnym czynnikiem charakteryzującym te ekosystemy, odróżniającym je od innych zbiorników wodnych. Wyjątkowość ekosystemów estuariowych powoduje, że zostały one wpisane do programu monitoringowego Ramowej Dyrektywy Wodnej [3]. W programie tym głównym elementem wykorzystywanym do oceny stanu ekologicznego stały się organizmy bentosowe, które – ze względu na niewielką ruchliwość – są idealnym obiektem badań krótko- i długoterminowych. Wykorzystanie metod biologicznych pozwala określić toksyczne oddziaływanie zanieczyszczeń na osobniki, populacje czy całe formacje ekologiczne [4].

Spośród wszystkich jezior przymorskich Polski, Jamno wydaje się być najbardziej zagrożonym ekologicznie ekosystemem estuariowym. Fakt ten spowodowany jest prowadzeniem niewłaściwej gospodarki wodno-ściekowej w jego zlewni i deponowaniem w nim znacznych ładunków zanieczyszczeń z Koszalina oraz przylegających do jeziora terenów rolniczych [5,6]. Równocześnie znaczenie turystyczne tego jeziora spowodowało, że jest ono jednym z lepiej poznanych akwenów strefy przybrzeżnej [6–8] oraz doczekało się wielu rozwiązań rekultywacyjnych [8–10]. Ich głównym zadaniem miała być ochrona przed śmiercią ekologiczną Jamna, a w dalszym etapie podniesienie jego walorów krajobrazowo-turystycznych. W każdym z nich zwracano uwagę na potrzebę usunięcia osadów zalegających na jego dnie, np. przez ich wybranie z jeziora lub zagospodarowywanie na obszarze jeziora [12]. Możliwe jest również przywrócenie pierwotnego charakteru tego jeziora, czyli zatoki morskiej, poprzez wymuszanie napływów wód

morskich i odsłonięcie typowego w tych zbiornikach piaszczystego dna [11]. Taki zabieg, mimo że niesie za sobą najbardziej radykalne zmiany środowiskowe, może przeciwdziałać całkowitej katastrofie ekologicznej Jamna, którego funkcjonowanie jest uzależnione od dopływu słonawych wód rozcieńczających zanieczyszczone wody jeziora [10].

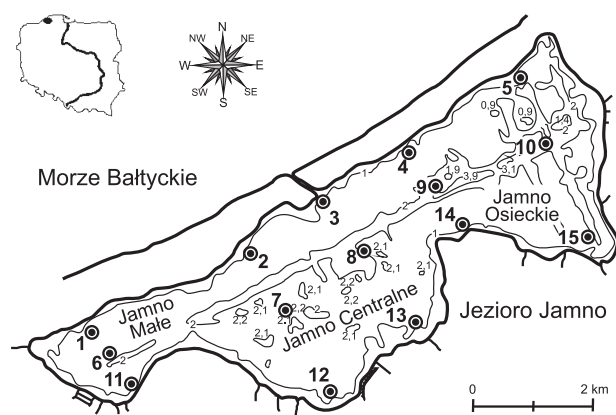
Badania monitoringowe ekosystemów wodnych oparte na metodach biologicznych nie są w Polsce rozpowszechnione. Jednak powoli ten stan rzeczy ulega zmianie w związku z ujednolicaniem oceny stanu środowiska na obszarze Unii Europejskiej [4]. W prezentowanej pracy podjęto próbę określenia stanu ekologicznego estuariowego jeziora Jamno poprzez poznanie struktury jakościowo-ilościowej bezkręgowców dennych. Stan ten oznaczono w poszczególnych płaszczyznach (Jamno Małe, Środkowe i Osieckie) oraz profilach podłużnych umieszczonych przy brzegu północnym jeziora, w środku akwenu i przy brzegu południowym. Jakość wód jeziornych została oceniona z zastosowaniem polskiego indeksu biotycznego – BMWP-PL (Biological Monitoring Working Party), a także wskaźników charakteryzujących przeciętną wrażliwość poszczególnych taksonów – ASPT (Average Score Per Taxon) oraz ogólną jakość wody – OQR (Overall Quality Rating).

Materiał i metoda

Jezioro Jamno jest rozległym zbiornikiem przymorskim o powierzchni 22,4 km², pojemności 31,5 mln m³ i niewielkiej średniej głębokości (1,4 m) [1]. Jamno zasilają trzy rzeki (Strzeżenica, Dzierżęcinka i Unieść) oraz kilka mniejszych cieków (głównie rowy melioracyjne). Połączone jest z morzem przetoką – Nurtem Jamneńskim. Całkowita ilość wód odpływających z jeziora do Bałtyku wynosi rocznie ok. 200 mln m³ ($Q=6,34 \text{ m}^3/\text{s}$) [7]. Jednak ta wymiana wód jest silnie zaburzona w wyniku zasypiania kanału piaskiem, co powoduje zamieranie estuarium jameńskiego [9].

Jezioro ma kształt urozmaicony i jest akwenem krypto-depresyjnym, rozszerzającym się w kierunku wschodnim. Od południa wcinają się w jezioro dwa półwyspy (Podamirowski i Łabuski), dzieląc je na trzy płaszczyzny – zachodnie (Jamno Małe), środkowe (Jamno Centralne) i wschodnie (Jamno Osieckie). Zachodnia część jeziora (okolice Mielna) ma dwie zarastające zatoki. Do jednej z nich spływają wody z przymorskich torfowisk, a do drugiej wpływają wody Strzeżenicy. Środkowa część stanowi basen główny, mający na południu obszerną zatokę, do której wpada Dzierżęcinka. Część wschodnia zbiega się ku stronie południowej tworząc zatokę, do której uchodzi Unieść.

Materiał do badań zebrano w sezonach letnich 2005 r. i 2006 r. na 15 stanowiskach wytypowanych w różnych strefach jeziora Jamno. Punkty pomiarowe wyznaczono wzdłuż brzegu północnego (1–5), w środkowej strefie (6–10) i przy brzegu południowym (11–15) tak, aby charakteryzowały poszczególne płaszczyzny (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych na jeziorze Jamno
Fig. 1. Location of sampling sites at the Jamno Lake

Do poboru próbek bentosu wykorzystano chwytacz dna Petersena o powierzchni chwytnej 225 cm². Z każdego stanowiska pozyskano próbki przez trzykrotny pobór osadów wraz z zasiedlającą je fauną. Równocześnie w tych miejscach zbadano głębokość, przezroczystość wody krążkiem Secchi'ego, a także zasolenie i warunki tlenowe z wykorzystaniem miernika wieloparametrowego HQD 40 (Hach Lange). W laboratorium oznaczono również zawartość azotu i fosforu ogólnego przy użyciu spektrofotometru DR 2800 (Hach Lange).

Po odrzuceniu roślin i innych dużych obiektów, każdą próbkę przepłukano oddzielnie na sicie bentosowym o oczkach 0,5 mm. Zebrane gatunki zostały utrwalone formaliną (4%), ponumerowane i oznaczone z użyciem odpowiednich kluczy za pomocą mikroskopu stereoskopowego. Równocześnie zostały one zważone na wadze analitycznej z dokładnością do 0,1 mg. Uzyskane wartości zagęszczenia i biomasy odniesiono do powierzchni 1 m². Do oceny jakości wody posłużono się indeksem BWMP-PL oraz wskaźnikami ASPT i OQR [13]. Zebrane organizmy posłużyły do oznaczenia podstawowych cech zoocenotycznych, takich jak zagęszczenie, biomasa, frekwencja (F), wskaźnik dominacji zagęszczenia (D_A) i biomasy (D_B), wskaźnik znaczenia ekologicznego (Q) oraz bioróżnorodności gatunkowej Shannona (H').

W analizie statystycznej zastosowano wielowymiarowe drzewa regresyjne MR&CT (Multivariate Regression and Classification Trees) oraz metody ordynacyjne RDA (Redundancy Analysis) w celu określenia wpływu badanych czynników abiotycznych na poszczególne taksony makrozoobentosu. Jest to szeroko stosowana grupa zaawansowanych metod statystycznych, które mają na celu znalezienie zależności pomiędzy środowiskiem a organizmami. Analiza redundancyjna (RDA) jest wielowymiarową analizą, w której zakłada się, że gatunki/taksony w sposób liniowy zależą od gradientów środowiskowych. Ordynacje mają na celu przede wszystkim ukazanie wielowymiarowych zależności na tyle dokładnie, na ile jest to możliwe w przestrzeni o mniejszej liczbie wymiarów. Ten cel jest ważny z następujących przyczyn:

– nie jest możliwa jednoczesna wizualizacja wielu wymiarów,

– pojedyncza analiza wielowymiarowa oszczędza czas, w porównaniu do osobnych analiz jednowymiarowych dotyczących poszczególnych gatunków,

– jeśli wymagane są testy statystyczne, wówczas problem wielokrotnych porównań jest mniejszy, jeżeli od razu bada się cały skład gatunkowy/taksonomiczny,

– na skutek redundancji moc statystyczna analizy jest większa, jeśli jednocześnie poddaje się jej wszystkie gatunki/taksony,

– koncentrując się na tzw. ważnych wymiarach, unika się niewłaściwej interpretacji błędów pomiarowych czy naturalnej losowości w zbiorach danych,

– można określić względną istotność różnych gradientów, co jest niemożliwe w przypadku klasycznej statystyki.

Wyniki badań i dyskusja

Jamno jest jeziorem polimiktycznym, pozbawionym stratyfikacji termiczno-tlenowej, zakwalifikowanym do zbiorników mezopolitroficznych stosunkowo silnie zeutrofizowanych [14,15]. Na wytypowanych stanowiskach średnia głębokość wyniosła 1,5 m, przy czym w ujściu pionowym wzrastała ku części wschodniej, a w ujściu poziomym ku jego południowej części. Szczegółowe dane dotyczące rozkładu głębokości jeziora zamieszczono w tabelach 1 i 2. Zgodnie z danymi literaturowymi, zasięg widzialności w okresie wegetacyjnym rzadko przekracza 50 cm, a często zbliża się do zera [14]. Potwierdzają to również wykonane badania, w czasie których widzialność była niewielka i nie przekraczała 50% głębokości jeziora. Obserwowano za to duże nasycenie wody tlenem, szczególnie w płaszczyźnie zachodniej, co związane było z silnym rozwojem fitoplanktonu i znaczną produkcją pierwotną w Jamnie [16]. W tej strefie jeziora zaobserwowano równocześnie największą zawartość azotu ogólnego, odpowiedzialnego za produktywność ekosystemów wodnych [6]. Ustalono zawartości biogenów były znaczne, charakterystyczne w wodach najniższej klasy czystości, co świadczyło o eutrofizacji tego akwenu. W Jamnie dochodzi do wzrostu trofii zarówno w wyniku dopływu biogenów ze zlewni, jak i ich uwalniania z osadów dennych w wyniku resuspencji [6].

Cechą odróżniającą jeziora przybrzeżne, w tym Jamno, od innych zbiorników są znaczne wahania zawartości jonów chlorkowych. Ścierają się tu wody morskie ze śródlądowymi, co powoduje powstanie nietypowych warunków ekologicznych. Zgodnie z systemem weneckim, wody jezior estuariowych zaliczono do strefy miksooligohalinowej o zasoleniu w granicach 0,5÷5‰ [17]. W miejscach kontaktu wód jeziora z morzem (profil północny) zaobserwowano 3-krotnie większe zasolenie niż w profilu południowym i 2-krotnie większe niż w środkowej części akwenu (tab. 2). Szczególnie duże wartości stwierdzono w okolicach Nurtu Jemneńskiego, gdzie – mimo pewnych ograniczeń – dochodzi do napływu wody z Bałtyku do jeziora. Najmniejsze ilości chlorków zaobserwowano natomiast przy ujściu Dzierżęcinki (stanowisko 12) oraz Unieścia (stanowisko 15). Analiza zasolenia wody w poszczególnych płaszczyznach jeziora Jamno wskazuje na większą zawartość jonów chlorkowych w Jamnie Małym oraz Osieckim niż w Jamnie Centralnym.

Oznaczone na badanych stanowiskach cechy środowiskowe wpływały na zasiedlające je organizmy bentosowe. Strukturę jakościową makrozoobentosu kształtowały organizmy z czterech gromad: Oligochaeta, Hirudinea, Crustacea i Insecta (tab. 1). Do najczęściej spotykanych taksonów

Tabela 1. Charakterystyka stanowisk oraz skład jakościowy taksonów makrozoobentosu w jeziorze Jamno
Table 1. Characteristics of the sampling sites and qualitative composition of macrozoobenthos taxones in the Jamno Lake

Parametr/wskażnik	Profil jeziora Jamno															Średnia w akwencie				
	północny					środkowy					południowy									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
	gm	gm	fs	gm	gm	gm	sm	sm	gm	gm	gm	gm	gm	s	gm					
Typ podłoża*	0,5	1,5	1,0	2,6	1,8	0,7	2,2	1,5	2,0	2,0	0,5	0,7	2,0	0,7	2,6	1,5				
Głębokość, m	827	1000	1049	904	938	431	376	326	276	291	322	142	202	139	177					
Średnie zasolenie, gCl ⁻ /m ³	89	91	87	97	99	08	87	75	79	88	93	78	69	83	78					
Nasyconie tlenem, %	1,67	2,36	1,54	3,98	4,18	3,22	1,14	1,32	2,56	4,11	1,32	1,12	2,54	3,54	0,90					
Azot ogólny, gN/m ³	0,432	0,421	0,265	0,675	0,800	0,543	0,321	0,311	0,501	0,712	0,356	1,540	0,512	0,511	0,112	0,534				
Fosfor ogólny, gP/m ³	0,1	0,4	0,2	0,4	0,5	0,2	0,5	0,4	0,5	0,5	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5					
Widzialność krążka Secchiego, m	Skład jakościowy makrozoobentosu															Fr	D _A	Q		
Oligochaeta	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	79	32	25		
Hirudinea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Helobdella stagnalis L.	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	13	<1	<1		
Crustacea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Asellus aquaticus L.	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	8	<1	<1		
Gammarus fossarum Koch.	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	25	18	4,5		
Insecta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Trichoptera larvae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cynus flavidus McLachlan	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4	<1	<1		
Diptera larvae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Chironomus sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	92	40	37		
Procladius Skuse	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	38	4	1,5		
Cladotanytarsus sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4	<1	<1		
Microchironomus nigrovittatus Molloch	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	<1		
Liczba taksonów	3	2	4	2	3	3	8	5	2	3	3	3	2	0	2	-				
BWMP-PL	5	5	12	5	5	5	23	14	5	5	5	5	5	0	5	<10				
ASPT	1,7	2,5	3,0	2,5	1,7	1,7	2,9	2,8	2,5	1,7	1,7	1,7	2,5	0,0	2,5	2,1				
OQR**	1,5	2,0	3,0	1,5	1,5	1,5	3,0	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	2,0		2,0	2,0				
Wskażnik Shannona (H')	0,30	0,15	0,35	0,27	0,35	0,31	0,46	0,49	0,29	0,37	0,40	0,35	0,12	0,00	0,20	0,29				

*Typ podłoża: gm – szary muł, s – kamienie, sm – muł i piasek, fs – drobny piasek

**Jakość wody: OQR≥5 – doskonała, OQR=4,9+4,0 – dobra, OQR=3,9+3,0 – umiarko wana, OQR=2,9+2,0 – zła, OQR=1,9+1,0 – bardzo zła

Tabela 2. Charakterystyka jakości wody i bentofauny w różnych strefach jeziora Jamno
Table 2. Characteristics of water and benthic fauna quality in particular zones of the Jamno Lake

Parametr/wskaźnik	Strefa jeziora Jamno					
	Jamno Małe	Jamno Centralne	Jamno Osieckie	profil północny	profil środkowy	profil południowy
Liczba stanowisk	3	6	6	5	5	5
Średnia głębokość, m	0,7	1,5	1,9	1,5	1,9	2,0
Zasolenie, gCl ⁻ /m ³	371	280	305	654	345	211
Natlenienie wody, %	96,7	78,3	81,0	87,6	85,4	76,2
Azot ogólny, gN/m ³	2,07	1,67	3,21	2,29	2,47	1,88
Fosfor ogólny, gP/m ³	0,444	0,562	0,552	0,432	0,478	0,606
Liczba taksonów	3	1+8	0+3	2+3	5+8	5
Zakres zagęszczenia, os./m ²	89+1332	7+531	49+360	11+333	3+633	5+344
Dominujący takson zagęszczenia (D _A) – %	Oligochaeta – 73	G. fossarum – 48	Chironomus sp. – 49	Chironomus sp. – 55	Oligochaeta – 35	Chironomus sp. – 40
Zagęszczenie min.–maks., os./m ²	0+1332	7+531	0+360	0+333	0+633	0+344
Średnie zagęszczenie, os./m ²	173	124	104	80	195	57
SD	120	313	198	110	256	112
Średnia biomasa, g/m ²	5,8	10,9	10,1	11,7	10,1	10,3
Dominujący takson biomasy (D _B) – %	Chironomus sp. – 77	Chironomus sp. – 61	Chironomus sp. – 92	Chironomus sp. – 94	Chironomus sp. – 68	Chironomus sp. – 60
CV, %	69,4	252,4	190,4	196,5	131,3	137,5
Mediana	0	26	0	11	25	0
Wskaźnik Shannona (H')	0,308	0,321	0,258	0,193	0,409	0,280
BMWP-PL	5	23	5	12	23	5
ASPT	1,7	2,6	1,8	2,3	2,3	1,7
OQR	1,5	2,4	1,7	1,9	2,2	1,75

w zebranych materiale bentosowym należały larwy Chironomidae oraz Oligochaeta (Tubificidae), które stanowiły grupę eukonstantów (>75%). Ich zdecydowana przewaga w makrozoobentosie już od lat 60. jest dowodem na stale utrzymujący się zły stan ekologiczny badanego jeziora [8,15,18]. Kolejne miejsca pod względem częstości występowania zajmowały larwy *Procladius* Skuse należące do subkonstantów oraz *Gammarus fossarum* Koch. – gatunek akcesoryczny. Pozostałe zidentyfikowane organizmy makrozoobentosu były akcydentami (<15%).

Pod względem zagęszczenia dominującą grupę eudominantów (>10%) stanowiły Oligochaeta, larwy muchówek z rodzaju *Chironomus* oraz skorupiaki *G. fossarum*. Do grupy subdominantów (2,1÷5,0%) zaliczono larwy muchówek z rodzaju *Procladius*, natomiast *Microchironomus nigrovittatus* Molloch do recedentów (1,0÷2,0%). Pozostałe oznaczone taksony fauny dennej żyjące w Jamnie nie miały wpływu na strukturę ilościową makrozoobentosu ($D_A < 1\%$) (tab. 1).

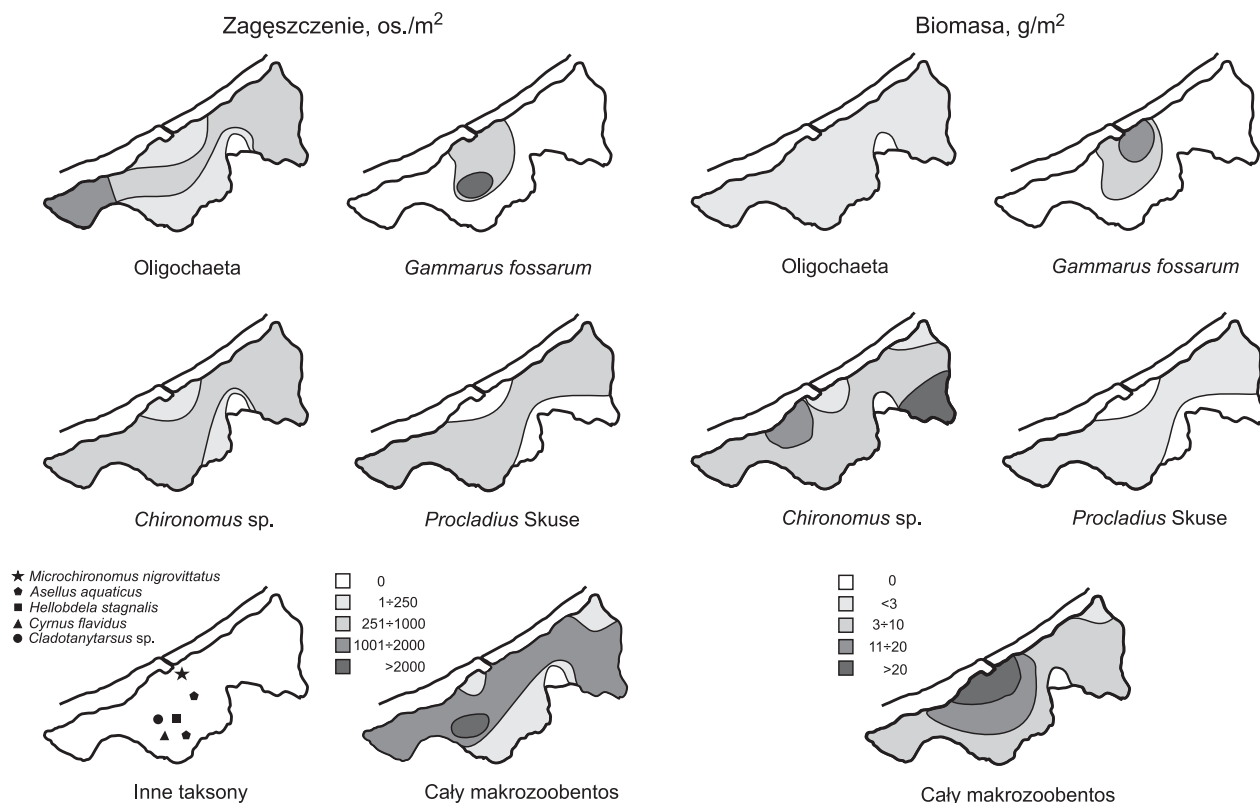
W miejscu ujścia Nurtu Jamneńskiego (st. 3) i na stanowiskach w środkowym profilu (st. 7 i 8), zgodnie z założeniami wskaźnika BMWP-PL, występowały wody lepszej jakości (IV klasa) niż w pozostałych fragmentach jeziora (V klasa). Potwierdziły to obliczone wartości OQR, które w miejscu napływu wód Bałtyku były największe (tab. 1). Punkty pomiarowe o większych wartościach BMWP-PL i OQR miały równocześnie nieco większe wartości wskaźnika bioróżnorodności Shannona, chociaż i tak jego wartości wskazują na niewielką różnorodność biologiczną badanego akwenu (tab. 1).

Porównując strukturę jakościowo-ilościową fauny dennej w Jamnie i w innych jeziorach przymorskich, tj. Łebsko [19] czy Gardno [20] stwierdzono, że formacja ta w akwenu jamnieńskim była 2-krotnie mniej liczna. Jeszcze większe różnice wystąpiły pomiędzy badanym jeziorem

a Zalewem Wiślanym [21] i Zalewem Szczecińskim [22], a największe w estuariach cieplejszych stref klimatycznych, np. Afryki [23].

Oligochaeta występowały na całym obszarze jeziora Jamno, szczególnie obficie na obszarze Jamna Małego, gdzie ich zagęszczenie przekraczało 2000 os./m² (rys. 2). Licznie również występowały w śródzieżerzu, gdzie stanowiły około 80% ogólnej liczby fauny dennej. Miały one duże znaczenie ekologiczne (Q) w badanym akwenu (tab. 1). Znacznym (równomiernym) zagęszczeniem charakteryzowały się larwy *Chironomus* sp., które w śródzieżerzu zasiedlały wszystkie badane stanowiska i charakteryzowały się największą wartością wskaźnika Q (tab. 1). Jedynie w miejscu kontaktu wód jeziornych z morzem i we fragmencie przeciwnego brzegu zauważalne było mniejsze zagęszczenie tego taksonu. Należący również do larw Chironomidae *Procladius* znajdowany był w całym śródzieżerzu, przy czym najliczniej w miejscu ujścia Dzierżęcinki (śr. 177 os./m²). Nie znaleziono tego taksonu na stanowiskach płytkowodnych Jamna Centralnego i Osieckiego, w tym również w pobliżu Nurtu Jamneńskiego (rys. 2). Porównywalny do Jamna skład jakościowy larw Chironomidae zaobserwowano w jeziorach Wicko Małe i Wielkie, których wody są obciążane zanieczyszczeniami komunalnymi z Międzyzdrojów [21].

Na uwagę zasługuje skupiskowe występowanie kielży *G. fossarum* (rys. 2), które nie odgrywają jednak znacznej roli ekologicznej w badanym jeziorze ($Q=4,5$). Mimo to są one cennym pokarmem dla ryb, szczególnie łososiowatych (pstrągów i troci), okoniowatych (okonia, jazgarza i sandacza), karpowatych (płoci, klenia, jazia czy brzany), a także głowaczowatych (głowacza białopłetwego i przępłetwego) oraz inwazyjnych babkowatych (babki szczupłej i babki łysej) [24]. Spośród wymienionych gatunków ryb w Jamnie w ostatnich latach występują płocie, sandacze i okonie, chociaż ich łączna ilość stanowi zaledwie 19%



Rys. 2. Struktura zagęszczenia i mokrej biomasy makrozoobentosu w jeziorze Jamno
Fig. 2. Structure of macrozoobenthos organism concentration in the Jamno Lake

biomasy poławianych ryb [24]. W makrozoobentosie Jamna znaleziono również pijawki z gatunku *Helobdella stagnalis* L. oraz obunogi *Asellus aquaticus* L. w Jamnie Centralnym na stanowiskach o podłożu piaszczysto-mulistym bądź piaszczystym. Największe zagęszczenie makrofauny dennej w Jamnie stwierdzono w obrębie śródzlewia, gdzie średnia liczebność w okresie badań oscylowała w granicach 1000÷2000 os./m², a w okolicach ujścia Dzierżęcinki przekraczała 3000 os./m² (rys. 2), natomiast znacznie mniejsze na stanowiskach przybrzeżnych usytuowanych w różnych częściach jeziora.

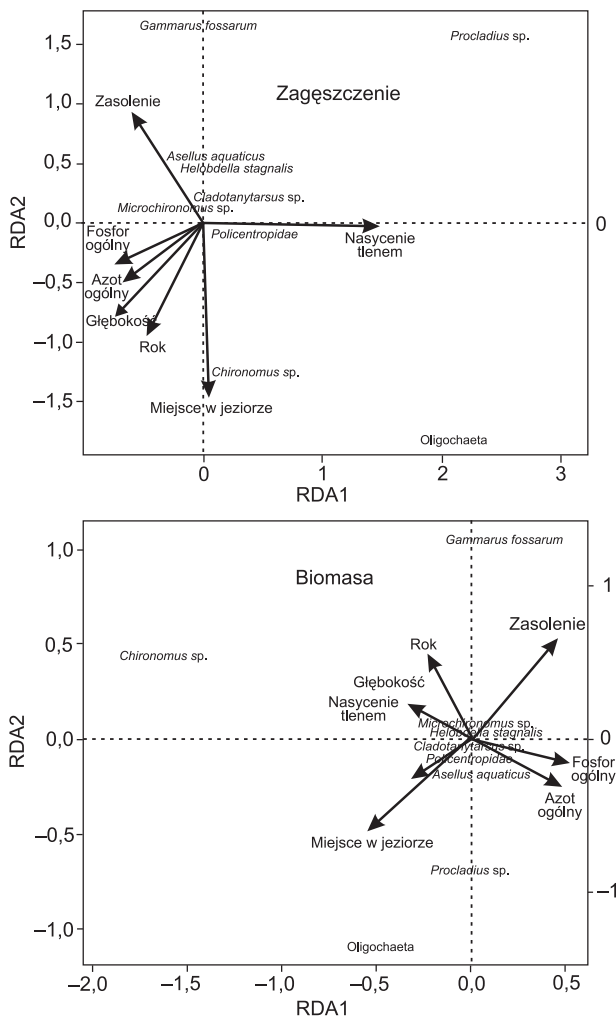
W północnej części jeziora, poddawanej oddziaływaniu morza, stwierdzono średnio 2÷3 taksony, których zagęszczenie wahało się w granicach 11÷333 os./m² (śr. 80 os./m²). Pod względem zagęszczenia dominowały tu larwy Chironomidae (55%), panowała niewielka bioróżnorodność ($H' = 0,308$), przy bardzo dużym wskaźniku zmienności (CV) (tab. 2). Wyliczony wskaźnik BMWP-PL w części północnej akwenu przyjmował wartości charakterystyczne w przypadku wód IV klasy czystości (10÷39). Dodatkowa analiza z wykorzystaniem wskaźnika OQR (<2,0) dowiodła, że ten fragment jeziora Jamno ma jednak wody o bardzo złej jakości (tab. 2). Na profilu środkowym, wraz z dwukrotnym spadkiem zasolenia, wzrastała liczba taksonów i ich zgęszczenia do 3÷633 os./m² (śr. 195 os./m²). Dominującą pozycję przejęły Oligochaeta ($D_A = 35\%$), wzrosła równocześnie bioróżnorodność Shannona oraz wskaźnik zmienności (CV) (tab. 2). Wskaźnik BMWP-PL w profilu środkowego akwenu przyjmował największą zanotowaną wartość, charakterystyczną jednak jedynie w przypadku wód IV klasy czystości. Potwierdził to również wyznaczony wskaźnik OQR, który uzyskał średnią wartość 2,2, charakterystyczną w przypadku wód o złej jakości (tab. 2). Przy południowym brzegu akwenu, o najmniejszym zasoleniu, znajdowano średnio 5 taksonów, których zagęszczenie mieściło się w granicach 5÷344 os./m² (śr. 57 os./m²). W tej części jeziora dominowały larwy Chironomidae, stanowiące blisko połowę oznaczonego makrozoobentosu (tab. 2). Fragment południowy akwenu, poddany działaniu zanieczyszczonych dopływów, miał najmniejszą bioróżnorodność oraz bardzo duży wskaźnik zmienności, a BMWP-PL i OQR osiągnęły najmniejsze wartości charakteryzujące wody najgorszej – V – klasy czystości, czyli o bardzo złej jakości (tab. 2). W poszczególnych płaszczyznach największą liczbę taksonów zaobserwowano w środkowej części (1÷8 taksonów), a najmniejszą w części wschodniej (Jamno Osieckie). Wyliczone wartości wskaźników BMWP-PL i OQR w poszczególnych częściach akwenu przyjmowały największe wartości w Jamnie Centralnym (IV klasa czystości, czyli o złej jakości), natomiast w Jamnie Małym i Osieckim odpowiadały V klasie, a wg klasyfikacji OQR – bardzo złej jakości.

Pod względem zagęszczenia makrozoobentosu najliczniej występował w Jamnie Małym, gdzie dominowały Oligochaeta, stanowiąc 75% całej fauny dennej. W Jamnie Centralnym przeważały obunogi *G. fossarum*, stanowiąc ponad 50% znalezionej makrozoobentosu. Średnie zagęszczenie fauny dennej w strefie środkowej utrzymywało się na podobnym poziomie jak w części zachodniej, co potwierdziła wartość wskaźnika Shannona. Fluktuacje liczebności makrozoobentosu pomiędzy poszczególnymi stanowiskami w środkowym płaszczyźnie były blisko 3-krotnie większe niż w zachodnim. Najmniej korzystna sytuacja panowała w Jamnie Osieckim, gdzie występowały jedynie trzy taksony o niewielkim zagęszczeniu. Ta część jeziora

Jamno została zdominowana przez larwy Chironomidae, stanowiące blisko 50% znalezionej makrozoobentosu (tab. 2).

Pod względem dominacji biomasy grupę eudominantów (>10%) stanowiły Oligochaeta, larwy muchówek z rodzaju *Chironomus* oraz skorupiaki *G. fossarum*. Pozostałe oznaczone taksony fauny dennej nie miały wpływu na zawartość mokrej masy makrozoobentosu ($D_B < 1\%$). Średnia biomasa całej formacji ekologicznej zamieszkującej dno jeziora Jamno utrzymywała się na porównywalnym poziomie (10,65÷10,75 g/m²). O uzyskanych wartościach zdecydowały larwy Chironomidae, które w pierwszym roku stanowiły 86%, a w drugim 68% ogólnej biomasy fauny dennej. Wśród ochotkowatych eudominantem pod względem biomasy był rodzaj *Chironomus* ($D_B = 94\%$), występujący obficie w miejscu ujścia Unieścia do jeziora przy brzegu południowo-wschodnim (rys. 2). W pozostałych fragmentach jeziora zawartość biomasy utrzymywała się w stałej ilości 3÷10 g/m², a jedynie na stanowisku 2 wynosiła 11÷20 g/m². Udział biomasy larw *Procladius* był znacznie mniejszy i wyniósł w czasie badań 2,59% biomasy makrozoobentosu, przy czym masa tego taksonu rozkładała się równomiernie w Jamnie z wyjątkiem strefy przymorskiej i brzegu południowego Jamna Centralnego i Osieckiego (rys. 2). Rozmieszczenie biomasy Oligochaeta charakteryzowała równomierność na obszarze całego jeziora w ilości do 3 g/m². Pozostałe taksony nie miały wpływu na zawartość biomasy fauny dennej. Rozkład biomasy makrozoobentosu na profilach rozmieszczonych horyzontalnie wskazał, że największą zawartość obserwowano w punktach położonych przy brzegu północnym, a najmniejszą w środkowej strefie akwenu, jednak różnice między nimi nie były istotne statystycznie (test t-Studenta, $\alpha = 0,05$). We wszystkich profilach dominującą pozycję osiągnęły larwy z rodzaju *Chironomus*, przy czym w profilu północnym stanowiły 94% ogólnej masy zoobentosu. Udział tego taksonu malał wraz z obniżaniem się zasolenia wód jeziora. Na zawartość biomasy w poszczególnych płaszczyznach wpływały larwy *Chironomus* sp., które prawie całkowicie decydowały o wartości tego wskaźnika w części wschodniej, a w pozostałych dwóch fragmentach ich udział wynosił 60÷80% (tab. 2).

Głównym czynnikiem abiotycznym wpływającym na zagęszczenie bentofauny wg metody MR&CT jest typ podłoża oraz głębokość, której wartość progowa wyniosła 1,95 m. Na dnie zbudowanym z piasku lub szarego mułu o głębokości poniżej 1,95 m gatunkiem wskaźnikowym były pijawki *H. stagnalis* (wartość wskaźnikowa – 0,75). Jest to gatunek odporny na zmiany chemizmu wód i może wskazywać na panujące procesy redukująco-utleniające [25]. Na rozkład biomasy makrozoobentosu główny wpływ miało położenie w akwenu, jednak nie otrzymano gatunków wskaźnikowych. Kanoniczna analiza korespondencji (CCA – Canonical Correspondence Analysis) wykazała, że wszystkie oznaczone parametry (stanowisko, rok, zasolenie, warunki tlenowe) miały współczynniki wif (variance inflation factor) poniżej 10, więc były mało nadmiarowe i uwzględniono je w dalszych analizach. Nietendencyjna analiza korespondencji (DCA – Detrended Correspondence Analysis) zagęszczenia wykazała, że długość pierwszej osi DCA w przypadku większości gatunków wynosiła poniżej 2 odchyleń standardowych, co oznacza monotoniczną odpowiedź na warunki środowiskowe, dlatego użyto następnie techniki RDA. Pierwsza oś wykresu RDA1 wyjaśniała 17,68 % wariancji, a druga oś RDA2 – 13,08% (rys. 3). Pozostałą wariancję wyjaśniają inne czynniki.



Rys. 3. Graficzny obraz zależności ordynacyjnej oddziaływania czynników na zagęszczenie i biomasę makrozoobentosu w jeziorze Jamno (zagęszczenie – RDA1=17,36%, RDA2=13,08%, biomasa – RDA1=22,10%, RDA2=13,30%)
 Fig. 3. Graphic representation of RDA for factors affecting density and biomass of macrozoobenthos representatives in the Jamno Lake (for density: RDA1=17.36%, RDA2=13.08%, and for biomass: RDA1=22.10%, RDA2=13.30%)

Największy dodatni wkład w pierwszą oś (RDA1) miały warunki tlenowe, a ujemny – zasolenie, natomiast w przypadku drugiej osi (RDA2) największy dodatni wkład miało miejsce poboru próbek, zaś dodatni – zasolenie. Pod względem zagęszczenia przedstawiciele rodzaju *Procladius* wybierały miejsca lepiej natlenione i o większym zasoleniu, podobnie jak obunogi z gatunku *G. fossarum*, które są gatunkiem wysoce oksyfilowym [25]. Oligochaeta i *Chironomus* sp. preferowały stanowiska w profilu północnym i o większej zawartości biogenów. Są to taksony preferujące muliste dno o znacznym obciążeniu związkami azotu i fosforu [25]. Analiza redundancyjna biomasy wykazała, że pierwsza oś wykresu wyjaśniała 22,10% wariancji, natomiast oś druga 13,30% wariancji (rys. 3). Największy dodatni wkład w RDA1 miało zasolenie, a ujemny – miejsce w jeziorze i profil, natomiast odwrotna sytuacja miała miejsce w przypadku RDA2. Większa zawartości biomasy przedstawicieli *Chironomus* sp. i Oligochaeta związana była ze wzrostem głębokości, większym natlenieniem wody i wzrostem żyzności wód. Skąposzczety reprezentowane przez Tubificidae są bardzo wytrzymałe na braki tlenowe i osiągają w takich warunkach duże zagęszczenie [25]. Skorupiaki reprezentowane przez *G. fossarum* osiągały większą masę przy większym zasoleniu wody (rys. 3).

Wnioski

♦ Makrofauna denna jeziora Jamno jest obecnie bardzo uboga pod względem jakościowym i składa się tylko z 9 taksonów, wśród których dominują Oligochaeta i larwy Chironomidae reprezentowane głównie przez rodzaje *Chironomus* i *Procladius*.

♦ Według wskaźnika BMWP-PL jakość wód poszczególnych plos jeziora Jamno jest bardzo zła, z wyjątkiem jego strefy centralnej. Wyznaczona wartość wskaźnika OQR (<1,9) wskazuje, że płosa Jamna Małego i Osieckiego mają wody o bardzo złej jakości. W Jamnie Centralnym sytuacja jest nieznacznie lepsza dzięki napływom wód bałtyckich. Część północna i południowa jeziora ma wody bardzo złej jakości a część środkowa jedynie złej.

♦ Największe bogactwo gatunkowe makrozoobentosu stwierdzono w Jamnie Centralnym oraz w profilu środkowym, a najmniejsze w Jamnie Osieckim i profilu północnym. Największym zagęszczeniem osobników cechowało się Jamno Małe i profil środkowy, natomiast najmniejszym Jamno Osieckie i profil południowy. Analiza biomasy wskazała, że największe wartości zanotowano w strefie północnej i płosie Centralnym, a najmniejsze w profilu środkowym i Jamnie Małym.

♦ Ocena jakości wód Jamna z uwzględnieniem fauny dennej w poszczególnych płosach i profilach powinna znaleźć szersze zastosowanie w ocenie wód jezior o urozmaiconej linii brzegowej, gdyż pozwala w pełni ocenić stan ekologiczny takiego ekosystemu.

Badania zostały sfinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, jako projekt badawczy N N305 189635.

LITERATURA

1. E. PATUREJ: Estuaries of the Polish Coastal Zone. *Balt. Coast. Zone* 2006, Vol. 10, pp. 83–96.
2. G. MIOTK-SZPIGANOWICZ, J. ZACHOWICZ, S. UŚCINOWICZ: Nowe spojrzenie na rozwój zbiorników przybrzeżnych południowego Bałtyku. *Stud. Lim. et Tel.* 2007, vol. 1(2), ss. 127–136.
3. Dyrektywa Rady 92/43/EWG z 21 maja 1992 r. o ochronie siedlisk przyrodniczych oraz dziko żyjącej fauny i flory (zmieniona Dyrektywą 97/62/EWG).
4. J. RYBAK, B. UMIŃSKA-WASILUK: Wykorzystanie makrobezkręgowców bentosowych do oceny jakości wód powierzchniowych na przykładzie rzeki Piławy. *Ochrona Środowiska* 2007, vol. 29, nr 2, ss. 55–60.
5. A. CHOŃSKI, GOGOŁEK: Changes in water chemistry of Lake Jamno over the years 1996–2004. *Limnological Review*, 2005, Vol. 5, pp. 27–37.
6. J. TROJANOWSKI, C. TROJANOWSKA, K. KORZENIEWSKI: Trophic state of coastal lakes. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 1991, Vol. 38 (1), pp. 23–34.
7. A. CHOŃSKI, A. SZWICHTENBERG: Jezioro Jamno i jego zlewnia w świetle dotychczasowych badań. Wyższa Szkoła Inżynierska, Koszalin 1986 (praca niepublikowana).
8. J. MALEJ: Produkcja dominatorów zoobentosu Chironomidae w zanieczyszczonej strefie jeziora Jamno. Wyższa Szkoła Inżynierska, Koszalin 1977 (praca niepublikowana).
9. Z. PIESIK, K. OBOLEWSKI, M. WIŚNIEWSKA: Fouling organisms (periphyton) inhabiting common reed *Phragmites australis* in Lake Jamno. *Baltic Coastal Zone* 2003, Vol. 7, pp. 91–100.
10. T. PIECUCH, T. PLESIEWICZ: Analiza studialna możliwości rekultywacji jeziora Jamno. Politechnika Koszalińska, Koszalin 1996 (praca niepublikowana).

11. Z. PIESIK: Możliwość rekultywacji i rozwoju marikultury w jeziorze Jamno poprzez wprowadzenie wód bałtyckich. Mat. konf. „Współczesne problemy gospodarki wodno-ściekowej”. Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie, Kołobrzeg 1997, ss. 23–56.
12. Z. SADECKA, J. WAŚ: Problemy związane z rekultywacją jezior polimiktycznych na przykładzie jeziora Jamno. W: Oczyszczanie ścieków i przeróbka osadów ściekowych [red. Z. SADECKA, S. MYSZOGRAJ], Zielona Góra 2008 ss. 211.
13. H. SOSZKA, D. KUDELSKA, A. KOWNACKI, T. FLEITUCH: Projekt: Metodyka badania makrobezkręgowców bentosowych na potrzeby biologicznej oceny jakości rzek w Polsce. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2001 (praca niepublikowana).
14. J. MALEJ: Fauna denna w zanieczyszczonym estuarium. *Stud. i Mat. MIR* 1974, 15(3), ss. 69–78.
15. K. MICHAŁSKI, T. JANUSZKIEWICZ: Stosunki ekologiczne jeziora Jamno zanieczyszczonego ściekami przemysłowo-miejskimi. Zeszt. Nauk. WSR, Szczecin 1967.
16. Raport o stanie czystości województwa zachodniopomorskiego. PIOŚ, Szczecin 2001.
17. W. MAŃKOWSKI: Przybałtyckie wody słonawe – wprowadzenie. *Stud. Mat. Oceanol.* 1972.
18. GORWA: Makrozoobentos estuariowego jeziora Jamno. Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Słupsk 1989.
19. Z. DOBROWOLSKI: Density, biomass and distribution of benthic invertebrates in the mid-lake zone of the coastal lake Łebsko. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 1999, Vol. 46, pp. 257–275.
20. Z. DOBROWOLSKI: Density, biomass and distribution of benthic invertebrates in the mid-lake zone of the coastal lake Gardno. *Oceanological Studies* 2001, Vol. XXX, 1–2, pp. 39–58.
21. Z. RÓŻAŃSKA, A. CYWIŃSKA: Charakterystyka liczebności i biomasy fauny dennej Zalewu Wiślanego. Ossolineum, Komitet Badań Morza, 1983.
22. R. WOLNOMIEJSKI, J. GRYGIEL: Badania bentosu i pokarmu ryb Zalewu Szczecińskiego. *Stud. i Mat. MIR* 1994, seria B, s. 67.
23. N. WOLNOMIEJSKI, A. WOŹNICZKA: Makrofauna pelofilna jako wskaźnik mezotrofii w małym akwenie estuarium Odry (jezioro Wicko Małe, zalew Szczeciński). *Idee Ekol.* 2003, 15, ser. Szkice, ss. 94–95.
24. M. BRYLIŃSKA: Ryby słodkowodne Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
25. T.A. SCHLACHER, T.H. WOOLDRIDGE: How sieve mesh size affects sample estimates of estuarine benthic macrofauna. *J. Expl. Mar. Biol. Ecol.* 1996, Vol. 201, pp. 159–171.
26. H. KRAUZE, S. WICZKOWSKA: Analiza połowów rybactkich z wybranych jezior pomorskich. Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Słupsk 1998 (praca niepublikowana).
27. L. TUROBOYSKI: Hydrobiologia techniczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1979.

Obolewski, K. Using Macrozoobenthos to Assess the Ecological Condition of the Estuary Lake Jamno. *Ochrona Środowiska* 2009, Vol. 31, No. 2, pp. 17–24.

Abstract: Qualitative and quantitative analyses of the macrozoobenthos structure in the Jamno Lake were conducted in the summer seasons of 2005 and 2006. The sampling sites (15) were chosen so as to enable the determination of the benthic fauna structure in particular basins (Jamno Małe, Jamno Centralne and Jamno Osieckie) and in the horizontal profiles (northern, central and southern), taking into account the influence of saline waters from the Baltic Sea. The results obtained have revealed that the ecological condition of the water region is very bad. The biodiversity of the benthic macrofauna in the Jamno Lake is poor, consisting of nine taxones only, where Oligochaeta and Chironomidae larvae (represented primarily by the genera Chironomus and Procladius) are dominant. According to the BMWP-PL index, the lake water quality is generally very low, except for that in the central zone of the Jamno reservoir. The value of the OQR index obtained (<1.9)

indicates that the basins of the Jamno Małe Lake and Osieckie Lake include waters of very low quality, and that the quality of the Central Jamno Lake water is slightly higher owing to the inflow of saline water from the Baltic. The widest biodiversity of the macrozoobenthos was found to occur in the Central Jamno Lake, as well as in the central horizontal profile, and the poorest biodiversity in the Jamno Osieckie Lake and the northern profile. The highest concentration of macrozoobenthos organisms was detected in the Jamno Małe Lake and the central profile, and the lowest in the Jamno Osieckie Lake and the southern profile. Biomass analysis has revealed the highest values in the northern zone and the Central Jamno Lake, and the lowest ones in the central profile and the Jamno Małe Lake. It is recommended that the application of any revitalization methods should be preceded by detailed hydrobiological studies in order to protect the restoring ecological formations.

Keywords: Lake Jamno, estuary lake, biomonitoring, macrozoobenthos.