

1. WPROWADZENIE

Zbiorniki antropogeniczne, nazywane również sztucznymi jeziorami lub jeziorami antropogenicznymi, powstają w wyniku bezpośredniej działalności człowieka. Istnieje wiele klasyfikacji tych zbiorników, jedna z nich opiera się na kryterium powstania misy zbiornikowej. Według niej wyróżnia się następujące typy zbiorników: zbiorniki zaporowe, zbiorniki poeksploatacyjne inaczej zbiorniki wyrobiskowe, zbiorniki zapadliskowe, zbiorniki groblowe, sadzawki, baseny, fontanny, fosy i inne (Rzętała 2008). Zazwyczaj pełnią one wiele funkcji i zadań, ich użytkowanie zależy od ich wielkości, usytuowania i retencji wody. Najczęściej spotykanymi funkcjami zbiorników są: przyrodnicza, krajobrazowa, przeciwpowodziowa, hodowlana, zaopatrzenie w wodę, energetyczna, turystyczno-rekreacyjna, przeciwpożarowa, militarna, obronna i inne (Rzętała 2008).

„*Różnorodność biologiczna*” jest pojęciem ogólnym i szerokim, charakteryzuje się niepowtarzalnością, obejmuje zarówno bogactwo elementów przyrody jak i częstość występowania na każdym z ich poziomów (Radwan i in. 2004). Z tego względu wyróżnia się wiele jej

rodzajów. W tym opracowaniu zajęliśmy się różnorodnością gatunkową przez którą rozumiemy bogactwo gatunków, ich występowanie i wymagania ekologiczne.

W Polsce zbiorniki antropogeniczne pomimo, że w ich powstanie ingerował człowiek, zachowały dużo cech zbiorników naturalnych. Świadczy o tym możliwość wykształcenia bogatego jakościowo i ilościowo świata organizmów żywych. W ekosystemach wodnych Polski stwierdzono spośród wrotków 600 gatunków, a skorupiaków 400 gatunków (Hilbricht-Ilkowska 1998; Andrzejewski i Weigle 2003; Radwan i in. 2004). Największym zagrożeniem dla zachowania różnorodności gatunkowej w ekosystemach wodnych są: zanieczyszczenie wód, eutrofizacja i pojawienie się gatunków obcych.

W każdym z badanych zbiorników antropogenicznych występowały zespoły wrotków i skorupiaków planktonowych. Na ich strukturę gatunkową i zagęszczenie wpływały nie tylko właściwości parametrów fizykochemicznych wody, morfometria czy pochodzenie danego zbiornika, ale również takie zjawiska jak eutrofizacja wód.

1.1. ZARYS I ZNACZENIE PROBLEMU BADAWCZEGO

Problematyka proponowanych badań wpisuje się w główny nurt badań naukowych skupiających się na zagadnieniach różnorodności biologicznej. Rok 2010, ogłoszony Międzynarodowym Rokiem Bioróżnorodności - International Biodiversity Year 2010, był inspiracją dla Polskich naukowców, którzy rozpoczęli prace badawcze w tym zakresie w skali całego kraju. Podjęte badania miały na celu:

a) określenie zmian jakim podlegały zespoły wrotków i skorupiaków planktonowych w antropogenicznych zbiornikach wodnych pochodzących z różnych regionów Polski (aspekt geograficzny) oraz zbiornikach różnego typu: zbiorniki zaporowe, wyrobiska czy zbiorniki miejskie (fontanny, fosy, sadzawki itp.) w sezonach wiosna-lato i jesień-zima;

b) ocenę zmian różnorodności zespołów ba-

danych organizmów i ich charakteru w odniesieniu do oceny antropogenicznej presji w zależności od typów zbiorników.

c) ocenę podobieństwa antropogenicznych ekosystemów wodnych, w regionach i pomiędzy regionami.

Zwierzęta planktonowe charakteryzują się krótkimi cyklami życiowymi, wrażliwością na zanieczyszczenia oraz szybką adaptacją do zmian środowiska. Ze względu na te cechy są doskonałymi wskaźnikami zmian środowiska i nadają się do badań porównawczych oraz prognoz stanu środowiska (Boix i in. 2008; Rusak i in. 1999, 2002).

Zubożenie różnorodności w zespołach zooplanktonu może implikować czy pociągać za sobą zmiany funkcjonalne w ekosystemach wodnych i zmiany charakteru zakresu tzw.

świadczeń ekosystemalnych – i tylko część z tych zmian funkcjonalnych może mieć status świadczeń. Do zmian funkcjonalnych należy zmiana PP, R, obiegu pierwiastków biogennych. Uzyskane dane mogą być przydatne dla celów aplikacyjnych na potrzeby ośrodków realizujących zadania związane z ochroną środowiska, a w szczególności z ochroną siedlisk wodnych (Natura 2000).

Zebrane z różnych regionów Polski materiały w przyszłości mogą być użyteczne dla opracowania syntetycznych modeli pozwalających na prognozowanie zmian strukturalnych, jakim podlegają zespoły zooplanktonowe w różnych rodzajach zbiorników z uwzględnieniem różnych czynników oddziaływujących na biocenozę i ekosystemy, takich jak biogeograficzny (zasięgi występowania gatunków), ekologiczne, antropogeniczne (m.in. zanieczyszczenia) i inne.

Globalne i wielkoskalowe zmiany środowiska przyrodniczego na terenie Polski (zmienność wieloletnia oraz wewnątrz- i międzyregionalna), na zespoły zooplanktonu, które są istotnym czynnikiem odpowiedzialnym za kontrolę rozwoju biomasy glonów i mechanizmy samooczyszczania się zbiorników, zostały jak dotąd słabo poznane. Ich wszechstronne i wieloaspektowe opracowanie będzie miało

wymierną korzyść dla ośrodków i osób zajmujących się monitoringiem, zarządzaniem zasobami, ochroną i kształtowaniem środowiska przyrodniczego.

W badaniach założono, że rozwój fauny planktonowej powinien przebiegać podobnie we wszystkich zbiornikach antropogenicznych (stosownie do typu zbiornika) w różnych rejonach Polski, a na zróżnicowanie zespołów planktonowych będzie mieć wpływ niejednorodna presja środowiskowa, szczególnie antropogeniczna. Zespoły podlegają obecnie drastycznym przemianom i w związku z tym są dobrym wskaźnikiem i miernikiem degradacji środowiska; zmiany dotyczą nie tylko zubożenia różnorodności, lecz także postępujących za nią zmian funkcjonalnych ekosystemu wodnego.

Przeprowadzone badania mają szczególne znaczenie dla obszaru Polski ze względu na obserwowaną globalną degradację środowiska oraz zmiany klimatu.

W przyszłości podobne badania mogłyby być podjęte przez sieć instytutów (jeśli zostanie powołana do życia), zajmujących się tego typu tematyką badawczą, tak jak to miało miejsce w przypadku badań sinic jeziornych – European Multi-Lake Survey (35 krajów, w tym Polska).

1.2. STAN BADAŃ ZOOPLANKTONU ZBIORNIKÓW ANTROPOGENICZNYCH

Badania nad fauną planktonową Polski są prowadzone od kilkadziesiąt lat, jednakże ograniczają się głównie do pojedynczych rodzajów zbiorników (np. zooplankton jeziora/jezior, zooplankton zbiornika zaporowego). Tylko nieliczne prace zajmują się zooplanktonem różnego typu zbiorników wodnych, ale zawsze z określonego regionu. Przedstawiona praca, dotycząca oceny różnorodności biologicznej wrotków i skorupiaków planktonowych, obejmuje wybrane zbiorniki antropogeniczne, rozmieszczone w różnych regionach Polski.

W Polsce, w ostatnich latach, badania zooplanktonu zbiorników pochodzenia antro-

pogenicznego obejmowały głównie zbiorniki zaporowe. Koncentrowały się nie tylko na składzie gatunkowym zooplanktonu w sztucznych zbiornikach (np. Błędzki 1989; Ejsmont-Karabin, Węgleńska 1990; Górniak, Karpowicz 2014; Krzanowski 1971, 1986, 1987; Krzyżanek, Kasza, Krzanowski 1986; Fleituch, Pociecha 2000; Paluch i in. 1975; Pociecha, Heese 2007; Napiórkowski i in. 2006; Starzykowska 1972), ale również na rodzaju czynników mających wpływ na skład gatunkowy i rozmieszczenie zwierząt (np. Wiśniewski, Błędzki 1989; Pociecha 2002; Pociecha, Wilk-Woźniak 2007; Żurek 1998; Wilk-Woźniak, Pociecha 2007), czy traktujące o cyklach ży-

ciowych zooplanktonu oraz wzajemnych relacjach pomiędzy zooplanktonem a fitoplanktonem i rybami (np. Bowszys 2004; Galicka, Lesiak, Rzerzycha 1992; Pocięcha, Amirowicz 2003; Pocięcha, Wilk-Woźniak 2003, 2006, 2007; Grabowska, Ejsmont-Karabin, Karpowicz 2013; Świerżowski, Godlewska, Półtorak 2000; Wojtal i in. 2004) oraz zajmujące się wpływem wezbrań wody czy bilansu wodnego na m. in. strukturę i zagęszczenie zooplanktonu (np. Pocięcha 2002; Godlewska i in. 2003; Wilk-Woźniak i in. 2015).

W literaturze polskiej mniej prac odnosi się do zooplanktonu zbiorników powyrobiskowych różnego typu (zob. Półtorak 1982; Ejsmont-Karabin 1995, Ślusarczyk 2003; Kuczyńska-Kippen i in. 2004; Wilk-Woźniak, Żurek 2006; Żurek 2006; Szelaż-Wasilewska i in. 2006; Gołdyn i in. 2006; Kuczyńska-Kippen, Nagengast, Celewicz-Goldyn 2006; Bielańska-Grajner i in. 2008), sztucznych zbiorników występujących na terenach aglomeracji miejskich (Ejsmont-Karabin, Kuczyńska-Kippen 2001; Bielańska-Grajner, Prudel, Skawińska 2006; Bielańska-Grajner, Gruszka 2008), jak również stawów hodowlanych (np. Lewko-

wicz 1971; Szumiec i in. 2001, Wilk-Woźniak i in. 2011). W ostatnich latach zauważa się wzrost zainteresowania zwłaszcza zbiornikami aglomeracji miejskich (Kuczyńska-Kippen, Basińska, Świdnicki 2013; Kuczyńska-Kippen, Basińska 2014; Basińska, Świdnicki, Kuczyńska-Kippen 2014; Pocięcha i in. 2015), jak również zbiornikami powyrobiskowymi (Bielańska-Grajner, Gładysz 2010; Sienkiewicz, Gąsiorowski 2015).

Badania międzyregionalne zooplanktonu jezior amerykańskich prowadzone przez Rusa i in. (2002) pokazują, jak ważne są badania wielkoskalowe do określenia zmienności zooplanktonu skorupiakowego (zmienność przestrzenno-czasowa na dużych obszarach). Natomiast ostatnie badania 5000 jezior przeprowadzone w 20 europejskich państwach, nie uwzględniały zooplanktonu (Moe i in. 2008). Nadal brakuje tego typu badań przeprowadzonych na różnego rodzaju zbiornikach antropogenicznych. Z powyższych względów, rezultaty uzyskane w trakcie realizacji badań, pozwoliły na wniesienie istotnej, choć częściowej, wiedzy do światowego dorobku nauki.

1.3. CEL I ZAKRES BADAŃ

Głównym celem badań było poznanie i porównanie różnorodności biologicznej zespołów wrotków i skorupiaków planktonowych w różnego typu zbiornikach antropogenicznych (zbiorniki zaporowe, powyrobiskowe, miejskie) zarówno w obrębie jak i pomiędzy 5 regionami Polski wyróżnionych wg Kondrackiego (2000).

Różnorodność wrotków i skorupiaków planktonowych starano się przedstawić w różnych skalach przestrzennych:

1) ocena zmian różnorodności biologicznej wrotków i skorupiaków planktonowych w wybranych antropogenicznych zbiornikach wodnych w różnych regionach Polski,

2) ocena podobieństwa zespołów zooplanktonowych różnych ekosystemów wodnych, w regionach i pomiędzy regionami, gdzie zostały pobrane materiały porównawcze dotyczące wrotków i skorupiaków planktonowych repre-

zentujących różnorodne środowiska (zbiorniki zaporowe, zbiorniki powyrobiskowe, zapadliskowe, miejskie), w celu porównania różnorodności wrotków i skorupiaków planktonowych w podobnych typach zbiorników wodnych wraz z określeniem uwarunkowań różnorodności (m. in. różnic geograficznych, zanieczyszczeń, stopnia degradacji).

Wiele z tych zbiorników w ciągu ostatnich lat nie było wcześniej badanych, lub jedynie wrywkowo. Badania te pozwolą też na ocenę i porównanie antropopresji różnych regionów Polski.

Realizowane cele projektu pozwoliły również na uzyskanie danych (w szczególności danych dotyczących rozmieszczenia i różnorodności biologicznej wrotków i skorupiaków), które mogą stanowić podstawę do przyszłego monitorowania przemian środowiskowych w wyniku działalności człowieka i ich wpływu

na różnorodność biologiczną ekosystemów wodnych, co jest ważnym zadaniem w dobie globalnych przemian ekosystemów lądowych oraz w planowaniu działań mających na celu ochronę środowisk wodnych, do czego Polska

jest zobligowana przez Unię Europejską.

Przeprowadzone badania dają pewną ocenę presji antropogenicznej, stopnia zubożenia różnorodności biologicznej i degradacji zespołów.

1.4. OBSZAR BADAŃ

Przy wyborze do badań zbiorników pochodzenia antropogenicznego wzięto pod uwagę sposób ich powstania. Zgodnie z tym kryterium wyróżniono: zbiorniki zaporowe, zbiorniki poeksploatacyjne (powyrobiskowe różnego pochodzenia) oraz sztuczne zbiorniki miejskie. W przypadku sztucznych zbiorników miejskich uwzględniono zbiorniki różnego rodzaju: zbiorniki typu zaporowego, wyrobiska, fontanny, sadzawki parkowe, stawy przeciwpożarowe i fosy o charakterze obronnym.

Próby do badań pobierano ze zbiorników wodnych rozproszonych w 5 regionach geograficznych wydzielonych na podstawie Kondrackiego (2000):

I Pobrzeża Południowobałtyckie i Wschodniobałtyckie oraz pojezierza pomorskie (Pojezierze Zachodnopomorskie, Wschodniopomorskie i Południowopomorskie);

II Pojezierza Południowobałtyckie (południowa część obejmująca pojezierza wielkopolskie oraz Pojezierze Iławskie i Chełmińsko-Dobrzyńskie) i Wschodniobałtyckie;

III Niziny Środkowopolskie, Wysoczyzny Podlasko-Białoruskie i Polesie;

IV Wyżyna Śląsko-Krakowska, Wyżyna Małopolska, Wyżyna Lubelsko-Lwowska i Karpaty;

V Sudety i Przedgórze Sudeckie.

W każdym regionie wybrano po jednym lub więcej zbiorników reprezentujących różne kategorie: zaporowe, wyrobiskowe i miejskie.

Szczegółowy wybór zbiorników, ich podział według regionów oraz opisy wraz z mapami przedstawiono obszerniej w rozdziale 2.

1.5. METODYKA BADAŃ

Próby do badań pobierano w ciągu dwóch lat, dwa razy w każdym roku, w okresie wiosenno-letnim (maj–czerwiec, jeszcze przy obecności ustępujących gatunków zimowych) i letnio-jesiennym (sierpień–wrzesień, z obecnymi gatunkami letnimi i zaczynającymi powracać gatunkami zimowymi). Podstawowe właściwości fizykochemiczne wód zbiorników (temperatura, przewodnictwo, zasolenie, koncentracja O_2) badano za pomocą sondy wieloparametrowej YSI 6600V2 *in situ*, pozostałe właściwości wody: aniony (F^- , Cl^- , NO_2^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-}) i kationy (Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) badano na chromatografie jonowym DIONEX ICS 1000. W jednym przypadku, w wodach Kolorowych Jeziorek (wyrobisko pirytu), mierzono zawar-

tość metali ciężkich (Mn, Fe, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, Ni) metodą ICP-MS (Perkin Elmer ELAN 6100). Równocześnie z poborem prób badano widzialność krążka Secchiego.

Próby do badań zooplanktonu pobierano z toni wodnej z powierzchni i w miarę możliwości z głębszych warstw wody (2, 3, 5, 10, 15, 20 m) oraz ze strefy litoralu, jeśli była wykształcona. Próby pobierano za pomocą czerpacza typu Bernatowicza o pojemności 5 L; w zależności od typu zbiornika do analiz pobierano od 5–30 L wody, następnie wodę filtrowano przez siatkę planktonową o wielkości oczek 30 μm . Zooplankton oglądano zarówno „na żywo” jak i po utrwaleniu 4% formaldehydem w mikroskopie świetlnym, pod powiększeniem 40-1000x, w komorze o pojemności

0,5 ml. Użyto mikroskop typu: *Eclipse 50i Nikon* i kamerę typu: *DS-U1 Digital Sight Nikon* oraz program do analizy obrazu *NIS – Elements* ver. 3.1.

Dla każdego gatunku sporządzono cyfrową dokumentację fotograficzną. W celu identyfikacji taksonomicznej zooplanktonu wykorzystano dostępne klucze i monografie: Benzie 2005; Bielańska-Grajner i in. 2013; De Smet 1997; Dussart 1967, 1969; Dussart i Defaye 2001; Ejsmont-Karabin i in. 2004; Flößner 1972, 2000; Koste 1978; Koste i Shiel 1990; Nogrady, Pourriot i Segers 1995; Nogrady i Segers 2002; Rybak i Błędzki 2005, 2010; Segers 1995).

Do oceny różnorodności biologicznej zebranego materiału badawczego posłużyły wskaźniki różnorodności gatunkowej Brillouina (\hat{H}), Shannona-Wienera (H') oraz Simpsona (I''), wskaźnik równomierności Pielou (J'), wskaźnik Margalefa (indeks bioróżnorodności) oraz wskaźnik podobieństwa Sørensen. Analizy te przeprowadzono przy użyciu programu MVSP 3.22 (Kovach 2015) oraz PAST 3.09 (Hammer i in. 2001). Z kolei analiz statystycznych dokonano po uprzednim przeprowadzeniu nietendancyjnej analizy zgodności (DCA) – sprawdza ona zakres i charakter danych na

podstawie długości gradientu wyrażonego w jednostkach odchylenia standardowego (SD). Następnie wybrano analizę głównych składowych (PCA), do której dane poddano transformacji logarytmicznej [$\log(x+1)$]. W badaniach zastosowano również techniki unimodalne: kanoniczną analizę zgodności (CCA) oraz analizę zgodności (CA). Analiza korelacji Pearsona pozwoliła wyeliminować zmienne silnie korelujące ze sobą. Ocenę istotności statystycznej zmiennych środowiskowych, a także osi kanonicznych dokonano przy zastosowaniu testu permutacyjnego Monte Carlo dla 499 powtórzeń. Analizę CCA wykonano przy użyciu programu CANOCO for Windows 4.5 (Ter Braak i Šmilauer, 2002), krokową analizę dyskryminacji (DFA), a następnie analizę kanoniczną (CA) wykonano przy użyciu programu STATISTICA (StatSoft Inc, 2014).

W badanych zbiornikach antropogenicznych, dla pełnej charakterystyki, zbierano *in situ* informacje na temat występujących makrofitów zarówno zanurzonych jak i wynurzonych oraz, w miarę możliwości, oceniano zespoły fauny i flory występujące i otaczające zbiornik. Informacje te wykorzystano przy opisie badanych zbiorników.