ZYGMUNT MŁYNARCZYK, GRZEGORZ BORKOWSKI
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

**Limnoturystyka w Polsce Zachodniej
na przykładzie Jeziora Zbąszyńskiego**

Wprowadzenie

Obecnie większość jezior w Polsce Zachodniej charakteryzuje się wysokim stanem troficznym, który w okresie letnim doprowadza do masowych zakwitów sinic, okrzemek i zielenic. Zakwity te uniemożliwiają rekreacyjne wykorzystanie wód z kilku istotnych powodów: przekroczenia dopuszczalnych norm jakości wody, określonych dla kąpielisk, powodowanie zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz niekorzystnie odbierane przez rekreantów właściwości organoleptyczne. Podjęmowane próby rekultywacji całych zbiorników wodnych poprzez usuwanie osadu czynnego, koagulację, miedziowanie czy natlenianie (wykorzystywanie aeratorów), nie przynoszą oczekiwanych skutków (Jodłowski 1991), są ogromnie kosztochłonne, a uzyskiwane efekty często krótkotrwałe (miedziowanie). Postępująca eutrofizacja wód powierzchniowych wskutek dopływu zanieczyszczeń biogennych ze zlewni powoduje coraz większe ograniczenia w rekreacyjnym wykorzystywaniu tych wód, co poza problemami natury przyrodniczej, rodzi również problemy ekonomiczne (malejące dochody gmin z turystyki) oraz społeczne (brak odpowiednich kąpielisk i miejsc do letniego wypoczynku). Wiele regionów, w których turystyka stanowi podstawowe źródło dochodów, osiągnęło poziom degradacji środowiska przyrodniczego zniechęcający turystów do przyjazdów i, w efekcie, prowadzący do zaniku turystyki i niszczenia infrastruktury turystycznej (Bohdanowicz 2006). Występowanie jezior lub cieków wodnych znacznie podnosi walory krajobrazowe danego obszaru, decydując najczęściej o miejscu spędzania letniego wypoczynku. Badania naukowe przeprowadzone na Ziemi

Lubuskiej wskazują, iż dla 97% respondentów najważniejszymi walorami przyrodniczo-krajobrazowymi jest obecność właśnie czystych jezior i kompleksów leśnych (Miedzińska 2001). Rozwiązaniem problemu zmniejszającego się ruchu turystycznego związanego z turystyką jeziorną zainteresowane są jednostki administracji samorządowej, które szukają w ten sposób możliwości przywrócenia atrakcyjności turystyczno-rekreacyjnej akwenów znajdujących się w ich granicach administracyjnych.

Do systemów rzeczno-jeziornych Polski Zachodniej, które borykają się z problemem jakości wody, należy rzeka Obra oraz położone w jej dolnym biegu jeziora zbąszyńskie. Badania stanu oraz przydatności turystyczno-rekreacyjnej Obry i jezior, przez które ta rzeka przepływa, są częścią projektu dotyczącego kompleksowych badań doliny rzeki Obry, realizowanego od 2000 r. na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Znaczenie jeziora w podejmowanej aktywności turystycznej stało się podstawą wydzielenia trzech typów turystyki jeziornej (Smith 2003, za: I. Potocka 2008):

- 1) turystyka umotywowana tylko i wyłącznie jeziorem (*lake, 'per se', as the draw*) – jezioro „samo w sobie”, nie to, co zlokalizowane jest wokół niego i nie formy turystyki, które można na nim bądź przy nim uprawiać;
- 2) turystyka bazująca na istnieniu jeziora (*lake as a resource*) – wykorzystująca infrastrukturę, która się wokół niego rozwija;
- 3) turystyka rozwijająca się w pobliżu jeziora (*lake as a desirable backdrop, an added opportunity or scenery*) – gdzie woda jest pożądanym, ale nie niezbędnym elementem systemu rekreacyjnego.

Rozpatrując turystykę związaną z jeziorami trzeba mieć jednak świadomość, że bez dobrej jakości wód powierzchniowych żaden z powyższych typów nie będzie w kręgu zainteresowań ani turysty, ani rekreanta.

Przepływowe Jezioro Zbąszyńskie jest jednym z największych jezior Pojezierza Wielkopolsko-Kujawskiego. W celu określenia kierunku zmian zachodzących w środowisku limnicznym Jeziora Zbąszyńskiego przeprowadzono badania wody oraz osadów tego zbiornika. Równania bilansów: energii, wody i materii stałej pozwalają na określenie relacji jeziora z otoczeniem, jak również stałych lub okresowych nadwyżek energii i masy akumulowanych w jeziorach. Bilans materii stałej traktować można jako syntetyczną metodę oceny zdolności jeziora do gromadzenia osadów dennych, pochodzących z docierającej ze zlewni materii rozpuszczonej, unoszonej i wleczonej, jak również z samoistnie powstającej w środowisku wodnym zbiornika autochtonicznej materii organicznej (Lange 1993).

W badaniach bilansowych zlewni przepływowego Jeziora Zbąszyńskiego wzięto pod uwagę bilans samego jeziora uwzględniając dopływ oraz odpływ materii niesionych wodami rzeki Obry, traktując powyższy układ rzeczno-jeziorny jako podsystem szerszego systemu, jakim jest zlewnia.

1. Charakterystyka obszaru badań

Jezioro Zbąszyńskie położone jest w zachodniej części województwa wielkopolskiego, na pograniczu z województwem lubuskim. Jest to czwarty pod względem wielkości (ok. 700 ha) oraz czternasty pod względem objętości (ok. 22 mln m³) zbiornik na Pojezierzu Wielkopolsko-Kujawskim. Jezioro jest zbiornikiem płytkim, średnia głębokość nie przekracza 3,5 m, natomiast najgłębszy punkt liczy ponad 9 m głębokości. Przez jezioro przepływa rzeka Obra, lewy dopływ Warty, płynąca na tym odcinku w pradolinie Warszawsko-Berlińskiej. Jezioro Zbąszyńskie znajduje się w Bruździe Zbąszyńskiej, która stanowi szerokie obniżenie o powierzchni ok. 1650 km² (Kondracki 2002), przez które przepływa Obra, kierując się na północ. Obniżenie to zajmuje kopalną dolinę, która nie została w całości wypełniona utworami zastoiskowymi i podczas zlodowacenia północno-polskiego stanowiła wielką depresję, w której zalegały olbrzymie pola martwego lodu. Po ociepleniu klimatu bryły martwego lodu ulegały powolnemu topnieniu, co stwarzało możliwości do rozwoju na nich szaty roślinnej, która po obumarciu tworzyła warstewkę torfu lub gytii detrytusowej o miąższości od kilku milimetrów do kilku centymetrów. Warstewka taka często występuje na dnie rynien glacialnych w Polsce (Nowaczyk 1994; Błaszczewicz 1998, 2005). Na opisywanym obszarze zachodziła intensywna akumulacja fluwioglacjalna podczas rozpadu lądolodu bałtyckiego (Bartkowski 1968). Według B. Krygowskiego (1961) szerokość obniżenia wynosi od 7 do 10 km przy dnie, do maksymalnie 30 km przy krawędzi, natomiast długość osiąga 130 km. Obra należy do rzek nizinnych o śnieżno-deszczowym reżimie zasilania, z jednym maksimum w okresie wiosny oraz jednym minimum w lecie. Wiosenne wezbrania wynikają z zasilania rzeki wodami z topniejącego śniegu, natomiast wzrost poziomu wody w Obrze latem związany jest z częstym występowaniem intensywnych opadów deszczu w miesiącu lipcu. Rytm wahań stanów oraz przepływów Obry w cyklu rocznym jest wyrównany. Przejście od stanów i przepływów wysokich do niskich następuje w łagodny sposób w związku z retencyjną funkcją jezior zbąszyńskich leżących powyżej posterunku Zbąszyń. Przyczynia się do tego również występowanie powierzchni sandrowych w dorzeczu Obry oraz znaczna zdolność retencyjna jej doli-

ny (Choiński, Borkowski 2008). Cykle średnich miesięcznych przepływów charakteryzują się umiarkowaną zmiennością. Różnice pomiędzy najniższymi a najwyższymi średnimi miesięcznymi przepływami w latach 1961–2000 wyniosły ok. $5 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ w okresie wiosennym oraz ok. $2 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ latem. Dużo wyższe wartości przyjmują za to wartości skrajne: WWQ wynosi $25,6 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$, natomiast najniższy przepływ jest bliski zeru ($\text{NNQ} = 0,14 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$).

Jezioro Zbąszyńskie jest ostatnim z ciągu 6. tzw. jezior zbąszyńskich, przez które przepływa rzeka Obra. Zlewnia bezpośrednia jeziora wynosi $49,45 \text{ km}^2$ (*Atlas ...* 2005) i obejmuje prawie w całości obszar położony na zachód od zbiornika. Wokół jeziora przebiega dział wodny IV-rzędu oraz fragmentarycznie dział wodny II-rzędu. Jezioro Zbąszyńskie jest wydłużone południkowo – w linii północ-południe jego długość wynosi ponad 7 km. Według B. Krygowskiego (1958) jest to jezioro rynnowe, powstałe jako pozostałość żłobienia koryta przez rzeki podlodowcowe. Sama rynna glacialna Jeziora Zbąszyńskiego ukształtowała się podczas ablacji lądolodu skandynawskiego zlodowacenia północnopolskiego (Młynarczyk, Nowaczyk 2008). Duże rozmiary zbiornika oraz jego kształt sprzyjają powstawaniu fal o znacznych parametrach. Maksymalne średnie długości rozbiegu fal notowane są z kierunku NNE i wynoszą 2,34 km oraz z kierunku N – 2,02 km, natomiast minimalne 0,57 km z zachodu i 0,60 km z kierunku WNW (Skowron 1997). Powyżej Jeziora Zbąszyńskiego znajduje się mniejsze Jezioro Nowowiejskie, którego wody bezpośrednio zasilają Jezioro Zbąszyńskie. W latach 50. XIX w. przy wypływie Obry z Jeziora Zbąszyńskiego zbudowano jaz kozłowy, który podpiętrza zbiornik o ok. 1,5 m. Jezioro Zbąszyńskie znajduje się w granicach obszaru chronionego krajobrazu „Pojezierze Sławskie, Pradolina Obry i Rynna Zbąszyńska” (obszar utworzony mocą rozporządzenia wojewody zielonogórskiego z 10 lipca 1996 r.).

2. Cel i metody badawcze

Celem badań jest poznanie funkcjonowania systemu rzeczno-jeziornego Obry oraz Jeziora Zbąszyńskiego w kontekście możliwości przywrócenia atrakcyjności turystyczno-rekreacyjnej wód powierzchniowych, poprzez scharakteryzowanie wybranych elementów obiegu materii obejmujących:

- natężenie przepływu wody wpływającej z Jeziora Nowowiejskiego do Zbąszyńskiego i wypływającej z Jeziora Zbąszyńskiego rzeką Obrą,
- transport substancji rozpuszczonych oraz zawieszonych przez Jezioro Zbąszyńskie.

Badania terenowe przeprowadzone zostały w okresie od lipca 2003 do stycznia 2009 r. w zlewni Jeziora Zbąszyńskiego. Dla określenia wzajemnego oddziaływania wody płynącej i rumowiska najistotniejsze znaczenie ma znajomość prędkości płynięcia wody w przekroju koryta (Młynarczyk 1996). W celu określenia ilości materii stałej i wody przepływającej przez jezioro wyznaczono dwa przekroje pomiarowe: na południowym krańcu jeziora na wpływie wody z wyżej położonego Jeziora Nowowiejskiego oraz przy wschodnim brzegu na wypływie wody z Jeziora Zbąszyńskiego, przed jazem podpiętrzającym akwen. Pomiary wykonywane były punktowo w przekrojach poprzecznych, co 0,5 m głębokości mierząc od dna, w miesięcznych odstępach czasu. Łącznie pobrano przy pomocy batometru butelkowego 1162 próbki wody do analiz. W czasie wezbrań wiosennych badania terenowe wykonywane były kilka razy w miesiącu (rys. 1)

Rysunek 1. Lokalizacja przekrojów pomiarowych i punktów poboru próbek wody na Jeziorze Zbąszyńskim

Źródło: opracowanie własne.

Podczas opracowywania wyników dla próbek wody analizowanych pod względem wagowej zawartości zawiesiny obliczono wartość mineralizacji ogólnej. Na podstawie pomiarów prędkości przepływu wody w przekrojach pomiarowych obliczono, przy zastosowaniu modelu wielowymiarowej funkcji *spline* (Młynarczyk, Ren-Kurc 1999), objętości wody wpływającej i wypływającej z jeziora oraz tempo wymiany wody w zbiorniku. Na podstawie uzyskanych wartości wagowych substancji zawieszonych w próbkach wody obliczono transport zawiesiny w strefie wpływu i wypływu wody z jeziora, a dzięki znajomości wartości wagowych substancji rozpuszczonej w próbkach wody obliczono transport tych substancji w strefie wpływu i wypływu wody z jeziora.

3. Wyniki badań

3.1. Bilans wodny

W okresie badawczym maksymalne przepływy wystąpiły w czasie wezbrań wiosennych, przy czym w fazie wzrostu większy przepływ występował na wpływie wody do Jeziora Zbąszyńskiego, a w fazie opadania na wypływie (rys. 2). Spowodowane było to dużą zdolnością retencyjną zbiornika, którego pojemność jest regulowana na jazie kozłowym zlokalizowanym przy wypływie Obry z jeziora. Największe przepływy, dochodzące do $8 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ na wpływie i ponad $7 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ na wypływie, odnotowano w roku 2005, natomiast w okresach letnich utrzymywały się stany niżówkowe, charakteryzujące się czasem wartościami prędkości przepływu niemierzalnymi młynkiem hydrometrycznym ($V < 5 \text{ cm} \times \text{s}^{-1}$). Często występujące wiatry północne i północno-zachodnie, przy dużym stopniu odsłonięcia jeziora, powodują podczas niewielkich przepływów powstawanie cofek. Taki stan w czasie badań wystąpił dwukrotnie, gdy woda z Jeziora Zbąszyńskiego wpływała do wyżej położonego Jeziora Nowowiejskiego (sierpień 2005 i lipiec 2006), powodując krótkotrwały, dwustronny odpływ wody z jeziora, przy braku większego zasilania z innych źródeł.

O wielkości poziomej wymiany wody w jeziorze decyduje dopływ i odpływ jeziorny (powierzchniowy i podziemny). Ponieważ w Polsce przeważają jeziora typu przepływowego, w których przypadku zdecydowanie dominuje pozioma wymiana wody, wynosząca ponad 80% sumy bilansowej, a w skrajnych przypadkach nawet 99% (Choiński 1995), do obliczenia tempa wymiany wody w Jeziorze Zbąszyńskim posłużono się danymi z wielkości odpływu wody zmierzonego w przekroju pomiarowym w okresie badawczym, na podstawie których obliczono

roczny odpływ wody oraz obliczoną na podstawie pomiarów batymetrycznych objętość jeziora. W przypadku Jeziora Zbąszyńskiego współczynnik intensywności wymiany poziomej $\alpha = 2,57$, co oznacza, że teoretycznie woda w zbiorniku wymienia się 2,5-krotnie w ciągu roku. Należy jednak wziąć pod uwagę, iż rzeka Obra nie przepływa przez jezioro wzdłuż jego najdłuższej osi, lecz wypływa na wschodnim brzegu w połowie długości akwenu. W związku z powyższym, północna część zbiornika charakteryzuje się niewielkim przepływem, a wymiana wód odbywa się tam zdecydowanie wolniej, warunkując przebieg sedymentacji. Część przepływowa jeziora w czasie maksymalnych przepływów nabiera charakteru rzecznego, co warunkowane jest morfometrią zbiornika. Rozkład wymiany wód w ciągu roku jest bardzo zróżnicowany – blisko połowa objętości wód jeziora wymienia się w ciągu jednego miesiąca, w którym występują stany wyżówkowe, natomiast w miesiącach letnich tempo wymiany jest znikome. Bilans przepływu wody przez Jezioro Zbąszyńskie w roku hydrologicznym 2005 kształtował się następująco: do zbiornika dopłynęło $56\,030\,400\text{ m}^3$ wody z wyżej położonego Jeziora Nowowiejskiego, natomiast wypłynęło rzeką Obrą $566\,784\,400\text{ m}^3$, dając ujemną różnicę bilansową w wielkości $648\,000\text{ m}^3$, pomimo dużego parowania z powierzchni akwenu. Różnica ta świadczyć może o wielkości dopływu podziemnego, a także o dużych wartościach opadu atmosferycznego, który w tym bilansie nie był brany pod uwagę.

Rysunek 2. Zmienność przepływu wody na wpływie i wypływie wody z Jeziora Zbąszyńskiego w okresie od lipca 2004 do sierpnia 2006 roku

Źródło: obliczenia własne.

Jeziora przepływowe jako naturalne zbiorniki retencyjne posiadają zdolność do wyrównywania odpływu rzecznej wody przez retencjonowanie wody w okresach jej nadmiaru i oddawaniu w okresach deficytu (Bajkiewicz-Grabowska 2002). W przypadku Jeziora Zbąszyńskiego zdolność wyrównania odpływu rzecznej wynosi 3,88%, a więc stosunkowo niewiele, jeśli weźmie się pod uwagę objętość akwenu. Trzeba jednak pamiętać, że jezioro to jest szóstym, ostatnim zbiornikiem w ciągu tzw. jezior zbąszyńskich, a jak podaje E. Bajkiewicz-Grabowska (2002), zdolność wyrównawcza jeziora przepływowego zależy od jego położenia na trasie biegu rzeki, a zbiornik będący ostatnim ogniwem w zespole jezior przepływowych najczęściej przepuszcza fale wezbraniowe w postaci niezmienniczej. Fakt, że przy wypływie Obry z jeziora znajduje się jaz koźłowy, nie wpływa znacząco na zdolność retencyjną zbiornika, ponieważ, jak wynika z informacji z Państwowego Gospodarstwa Rybackiego w Zbąszyniu, które obsługuje jaz, regulacje wysokości poziomu wody w jeziorze dokonywane są bardzo rzadko i w niewielkim stopniu oddziałują na przepływ wody przez jezioro.

3.2. Transport materiału rozpuszczonego

Największa część materii organicznej występuje w wodach śródlądowych w postaci rozpuszczonej (Lampert, Sommer 2001). Ilość substancji rozpuszczonych zwiększa się wraz ze wzrostem trofii jeziora. Jako wstępny wskaźnik mineralizacji i zanieczyszczenia wody często stosowane jest oznaczenie przewodności elektrolitycznej, która zależy od zawartości w wodzie rozpuszczonych jonów oraz temperatury (rys. 3) (Chelmiński 2002). Odnotowane podczas pomiarów terenowych wartości przewodności elektrolitycznej wody wynosiły powyżej $600 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$ przez większą część okresu badawczego, osiągając maksimum w sierpniu 2006, kiedy to przewodność wody wyniosła ponad $1500 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$ na wpływie wody do jeziora, jednak była to wartość nie notowana więcej i związana prawdopodobnie z dopływem ścieków komunalnych do akwenu. Najniższe wartości przewodności występowały w okresie letnim ($500\text{--}550 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$), przy bardzo niskim przepływie wody. Wielkość przewodności elektrolitycznej właściwej to parametr charakteryzujący zawartość rozpuszczonych w wodzie soli (Dojlido 1980). Na podstawie wartości przewodności w próbkach wody oraz ich temperatury, obliczono mineralizację ogólną poszczególnych próbek wody stosując formułę Dorochowskiego (Paluch 1973).

Rysunek 3. Zależność pomiędzy przewodnością elektrolityczną wody a mineralizacją ogólną (na podstawie pomiarów wykonanych w sierpniu 2006 r. w Jeziorze Zbąszyńskim)

Źródło: obliczenia własne.

Koncentracja materiału rozpuszczonego w okresie badawczym wahała się od 329 do 1178 $\text{mg} \times \text{dm}^{-3}$ na wpływie i 320 do 921 $\text{mg} \times \text{dm}^{-3}$ na wypływie wody z jeziora, przy czym najniższe wartości odnotowano w okresie wiosenno-lętnim, po ustąpieniu stanów wyżówkowych związanych ze śnieżno-deszczowym reżimem rzeki Obry. Obniżanie zawartości jonów w wodzie związane jest z poborem składników odżywczych przez fitoplankton do produkcji pierwotnej, a także przez sinice i okrzemki, których masowy rozwój powoduje powstawanie zakwitów w wodzie. Należy zwrócić uwagę na podobną koncentrację materiału rozpuszczonego w obu profilach badawczych (wpływ i wypływ), wskazującą na równomiernie zachodzące procesy wzbogacania, czy też zubażania wody w substancje mineralne w całym zbiorniku wodnym (rys. 4). Wyjątek stanowi okres wiosenno-zimowy, w którym wody wpływające do jeziora zawierają o ok. 25% więcej materiału rozpuszczonego od wód wypływających rzeką Obrą, co świadczy o przechwytywaniu tych substancji przez zbiornik.

Rysunek. 4. Zmienność koncentracji materiału rozpuszczonego na wpływie i wypływie wody z Jeziora Zbąszyńskiego w okresie od listopada 2004 do sierpnia 2006 roku

Źródło: obliczenia własne.

Znając ilość wody dopływającej i wypływającej z systemu jeziornego, można obliczyć ładunek substancji rozpuszczonych zasilających jezioro oraz porównać go z ilością materii rozpuszczonej wypływającej z jeziora (rys. 5), a także oszacować roczne wielkości transportu tych substancji. Natomiast dokładniejszych informacji o kształcie zależności pomiędzy ładunkiem a przepływem przedstawia zjawisko histerezy, wywołane różną ilością substancji obecnych w wodzie podczas podnoszenia i opadania stanów wody (Froehlich 1982). Mniejsze ładunki materii rozpuszczonej, występujące wiosną 2006 r., w porównaniu z analogicznym okresem wyżówkowym roku 2005, spowodowane są wystąpieniem całkowitego zlodzenia jeziora w miesiącach styczeń–kwiecień 2006 podczas wyjątkowo mroźnej zimy, ograniczeniem natężenia procesów denudacji chemicznej oraz mniejszymi przepływami wody.

Rysunek 5. Wykresy zależności pomiędzy ładunkiem substancji rozpuszczonych a przepływem wody (z liniami trendu) na wpływie wody z Jeziora Nowowiejskiego do Zbąszyńskiego i na wypływie Obry

Źródło: obliczenia własne.

W okresie zimowo-wiosennym ładunki materii rozpuszczonej osiągają wyższe wartości od miesięcy letnich. Związane jest to prawdopodobnie z intensywnym wymywaniem minerałów ze zlewni oraz przede wszystkim ze znacznie większymi przepływami, jakie występują w tym czasie. Rozpatrując w cyklu rocznym wartości koncentracji materiału rozpuszczonego widać, iż zbliżając się do maksymalnych przepływów koncentracja maleje (rys. 6A–D), a ilość substancji

rozpuszczonych sukcesywnie zmniejsza się, aż do osiągnięcia ok. $400 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$ podczas najniższych przepływów w okresie letnim. Podczas wezbrań roztopowych po wystąpieniu zlodzenia jeziora, zmniejszenie koncentracji materiału rozpuszczonego spowodowane jest pochodzeniem wody z topniejącego lodu (Froehlich 1982) oraz śniegu. Woda związana w lodzie ma bowiem znacznie mniejszą koncentrację substancji rozpuszczonych od wody płynącej. Widać to zwłaszcza na rys. 6B i 6D, gdyż zimą 2006 roku wystąpiło całkowite zlodzenie jezior zbąszyńskich i częściowe rzeki Obry. Ponadto zależność pomiędzy koncentracją substancji rozpuszczonych a przepływem wody tworzy wyraźne pętle histerezy, wywołane różnicą w ilości materiału rozpuszczonego podczas wezbrań i opadania wody (rys. 6). W roku 2005 koncentracja na wpływie była niemal dwukrotnie większa podczas wzrastających przepływów, niż podczas opadania wody (rys. 6A, 6C). Zależność ta widoczna była również w roku następnym, jednak w mniejszych proporcjach.

A – wpływ w okresie od lipca 2004 do czerwca 2005

B – wpływ w okresie od lipca 2005 do maja 2006

C – wpływ w okresie od lipca 2004 do czerwca 2005

D – wpływ w okresie od lipca 2005 do maja 2006

Rysunek 6. Zależność pomiędzy koncentracją substancji rozpuszczonych a przepływem wody przez Jezioro Zbąszyńskie w latach 2004–2006 na wpływie wody do jeziora z wyżej położonego Jeziora Nowowiejskiego (A, B) i na wypływie Obry z jeziora (C, D). Strzałki na wykresie oznaczają kierunek powstawania krzywej

Źródło: obliczenia własne.

Obliczony roczny transport substancji rozpuszczonych w roku hydrologicznym 2005 na podstawie comiesięcznych pomiarów koncentracji materii rozpuszczonej oraz przepływu wody wyniósł $48749,4 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ na wpływie wody do Jeziora Zbąszyńskiego oraz $43526,3 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ na wypływie rzeki Obry z jeziora. Różnica pomiędzy tymi wartościami może wynikać ze zużywania substancji mineralnych w procesach biochemicznych i ich wiązania w materii organicznej, która transportowana jest w formie zawiesiny lub sedymentuje na dno zbiornika. Obliczone wartości spływu jonowego mogą wydawać się duże, jednak mieszczą się w przedziale transportu substancji rozpuszczonych podanych dla rzeki Obry w pobliżu miejscowości Św. Wojciech dla lat hydrologicznych 1981 i 1990, gdzie wyniosły odpowiednio $112\,289 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ i $19\,338 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ (Słowik 2004).

3.3. Transport materiału zawieszonego

Kolejnym elementem bilansu materii i energii w systemie jeziornym jest koncentracja i ładunek zawiesin transportowanych przez wodę. W skład zawiesin wchodzi ziarna kwarcu, minerały ilaste oraz okresowo substancje organiczne (Froehlich 1982). Aby poznać system przepływu energii i masy, konieczna jest znajomość rozkładu czasowego i przestrzennego transportu materiału zawieszonego. Na podstawie uzyskanych wartości wagowych zawiesin w próbkach wody pobranych w przekrojach badawczych obliczono, przy zastosowaniu modelu wielowymiarowej funkcji *spline* (Młynarczyk, Ren-Kurc 1999) transport zawiesiny w strefie wpływu i wypływu wody z Jeziora Zbąszyńskiego w dwuletnim okresie badawczym, przy czym materiał nie był analizowany jakościowo pod względem rodzaju i frakcji unoszonych substancji, a jedynie ilościowo.

Najwyższe koncentracje materiału zawieszonego występują w Jeziorze Zbąszyńskim w okresie letnim (maks. $94 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$) (rys. 7). Związane jest to w dużej mierze z występowaniem masowych zakwitów sinicowo-okrzemkowych w wodach wszystkich sześciu tzw. jezior zbąszyńskich oraz w rzece Obrze. Późnojesienne i zimowe ochłodzenie wody powoduje obumieranie glonów i mineralizację oraz sedymentację materii organicznej w zbiorniku, co skutkuje występowaniem najniższych koncentracji substancji zawieszonych (ok. $2 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$).

Rysunek 7. Zmienność koncentracji materiału zawieszonego na wpływie wody do Jeziora Zbąszyńskiego z wyżej położonego Jeziora Nowowiejskiego i na wypływie Obry z jeziora w okresie od lipca 2004 do sierpnia 2006 roku

Źródło: obliczenia własne.

Wiosną, wraz ze wzrostem objętości przepływu, ilość materiału suspensyjnego również zwiększa się. W początkowej fazie wezbrań następuje szybki wzrost koncentracji zawiesiny, który odpowiada okresowi trwania opadu, a w czasie roztopów intensywnej ablacji pokrywy śnieżnej (Froehlich 1982). Najwyższe koncentracje występują jednakże po przejściu fali kulminacyjnej (rys. 8A–D). Występowanie odwrotnych pętli histerezy może być związane z pewnym opóźnieniem w dostarczaniu materiału pochodzącego ze zlewni związanym z dynamiką spływu powierzchniowego oraz zmianami objętości przepływu (Kostrzewski, Zwoliński 1988).

Rysunek 8. Zależność pomiędzy koncentracją zawiesiny a przepływem wody przez Jezioro Zbąszyńskie w latach 2004-2006 na wpływie wody do jeziora z wyżej położonego Jeziora Nowowiejskiego (A, B) i na wypływie Obry z jeziora (C, D)

Źródło: obliczenia własne.

Na podstawie koncentracji materiału zawieszonego oraz objętości przepływu obliczono jednostkowy transport zawiesin na wpływie i wypływie wody z Jeziora Zbąszyńskiego oraz roczne ilości transportowanego materiału (rys. 9). Najwyższe wartości transportu odnotowano w marcu 2005 roku podczas najsilniejszych przepływów rzędu $7 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$, kiedy to w ciągu 1 sekundy woda przenosiła ponad 400 g zawiesin na wypływie i ponad 200 g na wpływie. Prędkość

płynącej wody z Jeziora Nowowiejskiego wynosiła wówczas w nurcie ponad $0,7 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$, a przy wypływie Obrzy $0,27 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$. Tak duża różnica między ilościami zawieszin transportowanymi na wpływie i wypływie może oznaczać z jednej strony, że woda wpływająca do Jeziora Zbąszyńskiego powoduje przepłukiwanie zbiornika, a z drugiej strony być może silny przepływ połączony z wiosennym mieszaniem wód w akwenie powoduje uruchomienie materiału zdeponowanego na dnie zbiornika i jego odpływ rzeką Obrą. Tę drugą tezę potwierdza zwłaszcza rok pomiarowy 2006, w którym na wpływie wraz z wzrostem przepływu ilość zawieszin malała, a na wypływie sytuacja była odwrotna. Wiosną roku 2006 transport zawieszin był znacznie mniejszy od roku 2005, spowodowany mniejszymi przepływami i niższą koncentracją substancji zawieszonych, pomimo mroźnej zimy i całkowitego zlodzenia jeziora w miesiącach stycznia–marzec, kiedy to w trakcie wezbrań roztopowych zachodzi zwykle intensywne spłukiwanie roztopowe.

Rysunek 9. Transport zawiesziny a natężenie przepływu wody na wpływie wody do Jeziora Zbąszyńskiego z wyżej położonego Jeziora Nowowiejskiego i na wypływie Obrzy z jeziora

Źródło: obliczenia własne.

Całkowity roczny transport zawiesziny w roku hydrologicznym 2005 wyniósł $1273,9 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ na wpływie i $1642,5 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ na wypływie. Duża różnica między tymi wartościami wynikać może z uruchamiania materiału allochtonicznego podczas największych przepływów, który w okresie stagnacji

zimowej jest zdeponowany na dnie zbiornika, jak też z wykorzystywania w okresie letnim substancji rozpuszczonych do produkcji pierwotnej w jeziorze (przez co roczny bilans substancji rozpuszczonych jest ujemny), przy czym przeważająca część rocznego ładunku materiału suspensyjnego wynoszona jest podczas wezbrań wiosennych. Wielkości transportu zawiesiny, tak jak w przypadku substancji rozpuszczonych, mieszczą się w przedziale transportu substancji zawieszonych obliczonych dla rzeki Obry w profilu Św. Wojciech, które wyniosły $8723,4 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ w roku wilgotnym i $434,7 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$ w roku suchym (Słowik 2004). Pomiary ładunku zawiesiny ogólnej, wykonane przez WIOŚ w 2002 roku dla Obry w profilu Zbąszyń wykazały transport tej materii na poziomie $2263 \text{ Mg} \times \text{rok}^{-1}$. Przy obliczeniach nie uwzględniono jednak przepływów zmierzonych podczas badań terenowych, lecz średni roczny przepływ, który według danych IMiGW dla roku 2002 wyniósł $5,98 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$.

Podsumowanie

Wyniki badań bilansu materii w systemie rzeczno-jeziornym rzeki Obry i Jeziora Zbąszyńskiego wykazują, że obecna hipertrofia Jeziora Zbąszyńskiego jest skutkiem zasilania zewnętrznego wodami Obry, które wnoszą do zbiornika ogromne ilości substancji biogennych oraz materiału rozpuszczonego i zawieszonego. Ukształtowanie misy Jeziora Zbąszyńskiego oraz procesy biofizykochemiczne w nim zachodzące sprawiają, że w akwenie zachodzi intensywna sedimentacja materiału auto- i allochtonicznego, a wody wypływające z jeziora charakteryzują się lepszą jakością od wód dopływających z Jeziora Nowowiejskiego.

Koncentracja materiału rozpuszczonego w wodzie zaczyna zmniejszać się wraz z wystąpieniem maksymalnych przepływów wody przez jezioro. Podczas wezbrań roztopowych po wystąpieniu zlodzenia jeziora, zmniejszenie koncentracji materiału rozpuszczonego spowodowane jest pochodzeniem wody z topniejącego lodu (Froehlich 1982). W okresie zimowo-wiosennym ładunki materii rozpuszczonej osiągają wyższe wartości od miesięcy letnich, co jest związane prawdopodobnie z wymywaniem minerałów ze zlewni oraz przede wszystkim ze znacznie większymi przepływami wody przez zbiornik, jakie występują wiosną. Bilans rocznego transportu substancji rozpuszczonych w roku hydrologicznym 2005 był dodatni – z Jeziora Zbąszyńskiego wypłynęło o ponad 5000 Mg materii rozpuszczonej mniej niż dopłynęło. Różnica pomiędzy tymi wartościami może wynikać ze zużywania substancji mineralnych w procesach biochemicznych

i ich wiązania w materii organicznej, która transportowana jest w formie zawiesiny lub sedymentuje na dno zbiornika.

Najwyższe koncentracje materiału zawieszonego występują w Jeziorze Zbąszyńskim w okresie letnim, co związane jest w dużej mierze z występowaniem masowych zakwitów sinicowo-okrzemkowych w wodach wszystkich sześciu tzw. jezior zbąszyńskich oraz w rzece Obrze. Całkowity roczny transport zawiesiny w roku hydrologicznym 2005 był ujemny – z jeziora wypłynęło o 1/3 więcej zawiesin niż do niego dopłynęło. Duża różnica między tymi wartościami wynikać może z uruchamiania materiału allochtonicznego podczas największych przepływów, który w okresie stagnacji zimowej jest zdeponowany na dnie zbiornika, jak też z wykorzystywania w okresie letnim substancji rozpuszczonych do produkcji pierwotnej w jeziorze, przy czym przeważająca część rocznego ładunku materiału suspensyjnego wynoszona jest podczas wezbrań wiosennych.

Jezioro Zbąszyńskie pomimo ogromnego ładunku zanieczyszczeń, które docierają do zbiornika ze zlewni, nie straciło zdolności do samooczyszczania, o czym świadczy lepsza jakość wody wypływającej Obrą z jeziora, w stosunku do wody wpływającej z jezior położonych powyżej akwenu. Szansą do zwiększenia turystycznego i rekreacyjnego wykorzystania tego jeziora oraz podobnych akwenów Polski Zachodniej jest ograniczenie dopływu zanieczyszczeń oraz modernizacja często przestarzałej infrastruktury turystycznej. W związku z nie-wielką skutecznością stosowanych metod rekultywacyjnych oraz ich wymiarem czasowym i finansowym, należy zastanowić się nad możliwością przystosowania choćby fragmentów jezior dla potrzeb turystyki i rekreacji. Próby takie są podejmowane przez autorów w ramach kompleksowych badań doliny Obry i jezior zbąszyńskich, a wyniki tych prac będą przedmiotem oddzielnych publikacji.

Bibliografia

- Atlas podziału hydrograficznego Polski*, praca zbiorowa pod kierunkiem H. Czarneckiej, część 1, Mapy w skali 1:200 000. IMiGW, Warszawa 2005.
- Bajkiewicz-Grabowska E., *Obieg materii systemach rzeczno-jeziornych*, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, UW, Warszawa 2002.
- Bartkowski T., *Podział Polski północno-zachodniej na regiony fizycznogeograficzne*, Praca zbiorowa, UAM, Seria Geografia nr 4, Poznań 1968.
- Błaszkiwicz M., *Dolina Wierzycy, jej geneza oraz rozwój w późnym plejstocenie i wczesnym holocenie*, Polska Akademia Nauk. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Continuo, Warszawa 1998.

- Błaszkiwicz M., *Późnoglacialna i wczesnoholoceńska ewolucja obniżeń jeziornych na Pojezierzu Kociewskim (wschodnia część Pomorza)*, Polska Akademia Nauk. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Warszawa 2005.
- Bohdanowicz P., *Turystyka a świadomość ekologiczna*, Wydawnictwo Adam Marszałek, Toruń 2006.
- Chelmiński W., *Woda. Zasoby, degradacja i ochrona*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- Choiński A., *Zarys limnologii fizycznej Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1995;
- Choiński A., Borkowski G., *Waloryzacja jezior dla potrzeb turystyki i wypoczynku*, w: *Uwarunkowania i plany rozwoju turystyki*. Tom I: *Przyrodnicze zasoby turystyczne i metody ich oceny*, praca zbiorowa pod red. Z. Młynarczyka i A. Zajadacz, 2008.
- Dojlido J. R., *Instrumentalne badania wody i ścieków*, Arkady, Warszawa 1980.
- Froehlich W., *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górnej zlewni fliszowej*, Prace Geograficzne nr 143, IGiPZ, PAN, 1982.
- Jodłowski A., *Usuwanie fitoplanktonu w procesach uzdatniania wód powierzchniowych*, Ochrona Środowiska 1991, nr 1.
- Kondracki J., *Geografia regionalna Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., *Koncentracja i ładunek materiału zawieszonego i rozpuszczonego w zlewniach cząstkowych górnej Parsęty w roku hydrologicznym 1986*, Sprawozdania PTPN nr 105, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Poznań 1988.
- Krygowski B., *Krajobraz Wielkopolski i jego dzieje*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Poznań 1958.
- Krygowski B., *Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej*, część I – *Geomorfologia*. PTPN, Poznań 1961.
- Lampert W., Sommer U., *Ekologia wód śródlądowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- Lange W., *Metody badań fizyczno limnologicznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1993.
- Miedzińska I., *Atrakcyjność turystyczna jako składowa percepcji przestrzeni turystycznej w świetle badań ankietowych na przykładzie Pojezierza Lubuskiego*, w: *Ekologia krajobrazu i ekorozwój*, red. A. Kowalczyk, Akademia Bydgoska, Bydgoszcz 2001.
- Młynarczyk Z., *Transport materiału piaszczystego w korycie rzeki meandrującej i krętej (na przykładzie środkowej Prosny)*, Acta Quaternaria, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1996.
- Młynarczyk Z., Nowaczyk B., *Budowa geologiczna*, w: *Uwarunkowania i plany rozwoju turystyki*, Tom I: *Przyrodnicze zasoby turystyczne i metody ich oceny*, praca zbiorowa pod red. Z. Młynarczyka i A. Zajadacz, Poznań 2008.
- Młynarczyk Z., Ren-Kurc A., *Mathematical modelling of the velocity and intensity of water discharge in a river chanel*, w: *Quaternary studies in Poland*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Poznań 1999.

- Nowaczyk B., *Wiek jezior i problemy zanikania brył pogrzebanego lodu na przykładzie sandru Brdy w okolicy Charzykowy*, Acta Universitatis Nicolai Copernici. Geografia XXVII – Nauki Matematyczno-Przyrodnicze –1994, z. 92.
- Paluch J. (red.). *Mikrobiologia wód*, PWN, Warszawa 1973.
- Potocka I., *Zróżnicowanie przestrzeni turystycznej Rynien Jezior Kórnicko-Zaniemyskich i Jezior Pszczewskich*, CTiR, WNGiG, UAM, Poznań 2008 (maszynopis rozprawy doktorskiej).
- Skowron R., *Czasowo-przestrzenne zróżnicowanie temperatury wody powierzchniowej w jeziorach północnej Polski*, rozprawa doktorska, UMK, Toruń 1997.
- Słowik M., *Procesy kształtujące koryto rzeczne na przykładzie dolnego odcinka Obry*, rozprawa doktorska, UAM, Poznań 2004.

Limnotourism in western Poland: the example of Zbąszyń Lake

Summary

The article presents the problem of the tourist and recreational use of lakes in Western Poland in the context of the growing problems with the quality of surface waters, on the example of Zbąszyń Lake. Knowledge of the matter balance in lake-river system allows to determine the relationship of the reservoir with the environment, as well as interpreting and forecasting changes in the lake. This applies especially to the flow through shallow eutrophic lakes where there is intensive auto- and allochthonous sedimentation process. Such lakes are very sensitive to external power, which determines to a large extent the quality of their water. This paper presents the elements of the balance of the flow through Zbąszyń Lake (Western Poland) including water balance, dissolved and suspended material transport, in terms of quantity, as part of the assessment of the recreational suitability of water.

Translated by: *Grzegorz Borkowski*